

SUB-EXPLORER : drone sous-marin d'exploration

Projet de fin d'études
Groupe 3S4

M. LONGEFAY
J. POPESCO
F. PIOT

Professeur Référent : Den PALESSONGA

je connais l'avis de
Gauthier

I) Présentation générale

- 1.1 Définition du projet
- 1.2 Cahier des charges
- 1.3 Schéma bloc fonctionnel

III) Développement logiciel

- 3.1 Description fonctionnelle du code
- 3.2 Technologies utilisés
- 3.3 Etudes des programmes

II) Veille technologique

- 2.1 Etudes des composants
- 2.2 Bilan de consommation
- 2.3 Schéma électronique
- 2.4 Structure de la maquette

IV) Bilans

- 4.1 Bilan temporel
- 4.2 Bilan financier

Présentation générale



Présentation générale

Veille technologique

Développement logiciel

Bilans

1.1 Définition du projet



1.2 Cahier des charges

Fonctionnalités principales:

- Mobilité **tridimensionnelle**
- **Télécommunication** stable en milieu sous-marin
- **Dimensions adaptées** aux espaces restreints
- **Autonomie optimale** pour des missions d'exploration
- **Flottabilité neutre**

Fonctionnalités Secondaires:

- **Retour vidéo adapté**
- Intégrations de différents **capteurs/outils scientifiques**
- **Protection** contre les chocs

1.3 Schéma bloc fonctionnel



Radio-Communication

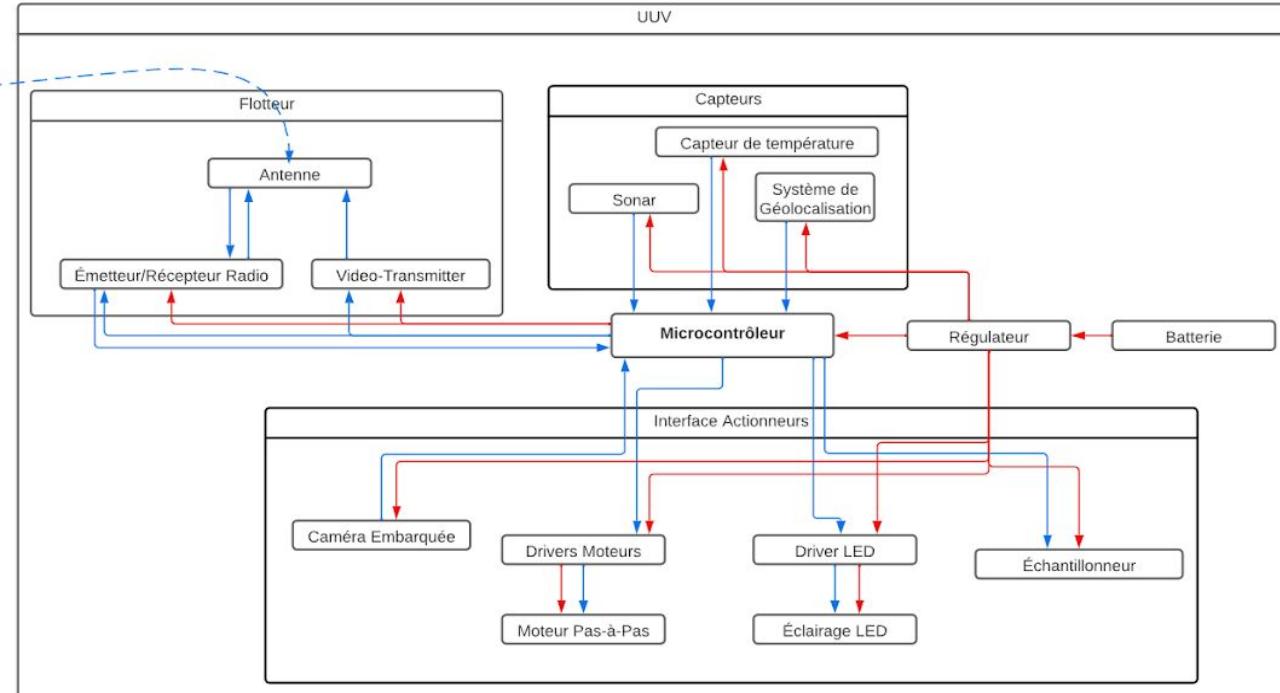


Schéma Bloc de l'UUU

Légende

- Flèches Rouges : Alimentation
- Flèches Bleues Pleines : Flux de données
- Flèches Bleues Pointillées : Flux de données sans fil

Veille technologique

Etude des composants :

Présentation générale



Veille technologique

Développement logiciel

Bilans

2.1.1 : Raspberry Pi 4B - 2Go et Raspberry Pi 3B+ 2Go

Raspberry Pi 4 :

Processeur :

- 1.5GHz quad-core 64-bit ARM Cortex-A53

RAM :

- 2GB de mémoire SDRAM

Consommation :

- 5V/3A DC

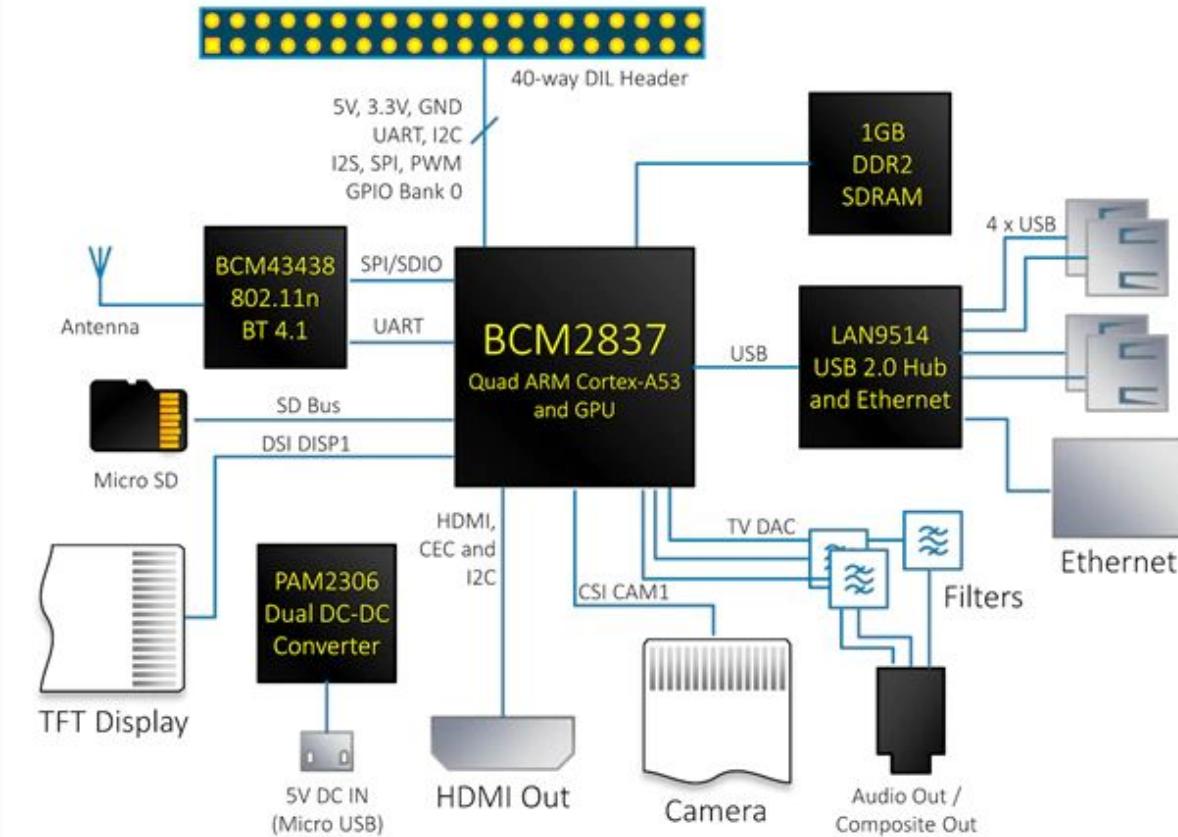
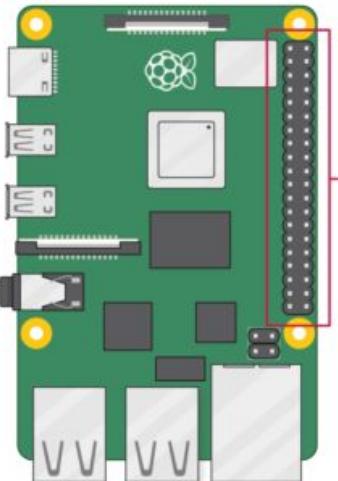


Schéma fonctionnel :

2.1.1 : Raspberry Pi 4B - 2Go et Raspberry Pi 3B+ 2Go



3V3 power	1	2	5V power
GPIO 2 (SDA)	3	4	5V power
GPIO 3 (SCL)	5	6	Ground
GPIO 4 (GPCLK0)	7	8	GPIO 14 (TXD)
Ground	9	10	GPIO 15 (RXD)
GPIO 17	11	12	GPIO 18 (PCM_CLK)
GPIO 27	13	14	Ground
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3V3 power	17	18	GPIO 24
GPIO 10 (MOSI)	19	20	Ground
GPIO 9 (MISO)	21	22	GPIO 25
GPIO 11 (SCLK)	23	24	GPIO 8 (CE0)
Ground	25	26	GPIO 7 (CE1)
GPIO 0 (ID_SD)	27	28	GPIO 1 (ID_SC)
GPIO 5	29	30	Ground
GPIO 6	31	32	GPIO 12 (PWM0)
GPIO 13 (PWM1)	33	34	Ground
GPIO 19 (PCM_FS)	35	36	GPIO 16
GPIO 26	37	38	GPIO 20 (PCM_DIN)
Ground	39	40	GPIO 21 (PCM_DOUT)

Options d'interface différentes :

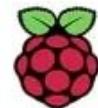
- UART
- I2C (utilisé 2x)
- SIO interface (interface carte SD - utilisé)
- DPI (Parallel RGB Display)
- PCM (pulse code modulation)
- PWM Moteur (utilisé 5x)
- GPCLK outputs (General Purpose Clock)

2.1.1 : Raspberry Pi 4B - 2Go et Raspberry Pi 3B+ 2Go

Raspberry Pi 3B+ VS Raspberry Pi 4B



Raspberry Pi 3B+



Product



Raspberry Pi 4B

Quad core Cortex-A53@1.4GHz

CPU

Quad core Cortex-A72@1.5GHz

VideoCore IV@250-400MHz

GPU

VideoCore IV@500MHz

Support HDMI
Resolution 640x350-1920x1200

Video port

Micro HDMI x 2 Dual-display
4K 60Hz +1080p / 4K 30Hzx2

3.5mm Port HDMI

Audio port

3.5mm Port Micro HDMI

4*USB 2.0

USB

2*USB 2.0, 2*USB 3.0

10/100M Ethernet Interface

Network

1000M Gigabit Ethernet Interface

2.4G/5.0GHz 802.11AC / BT 4.2

Bluetooth/WiFi

2.4G/5.0GHz 802.11b/g/n/ac/BT 5.0

5V/2.5A Micro USB

Power Supply

5V/3A USB-C

Principales différences :

Une plus grande RAM pour la version 4B

Des connexions plus rapides :

- USB
- Bluetooth
- Réseau Ethernet

2.1.2 : Raspberry Camera

Résolution Vidéo :

- 1080 pixels - 30 fps / 720 pixels - 60 fps / 640x480 pixels

Résolution Photo :

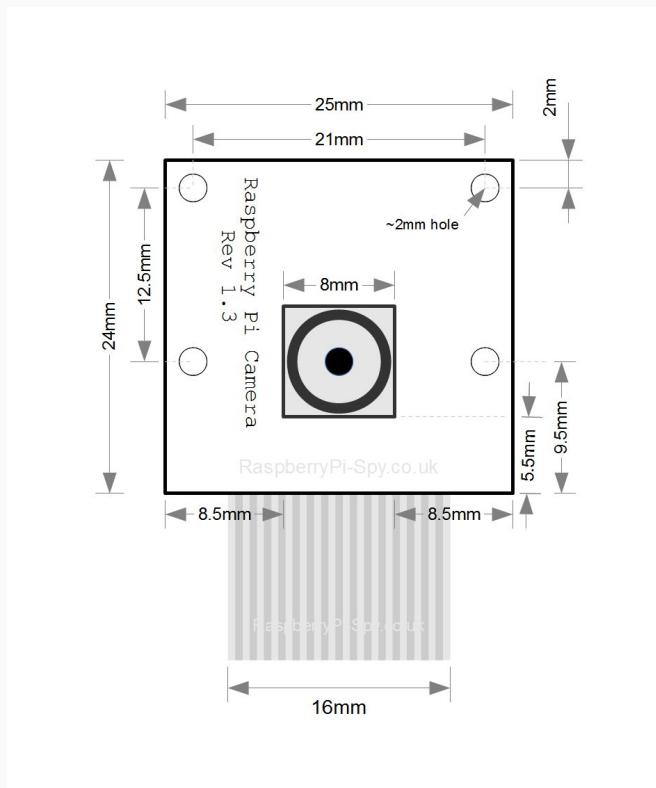
- 3280 x 2464 pixels

Consommation :

- 200-250mA

Branchement **spécifique** aux cartes Raspberry pi

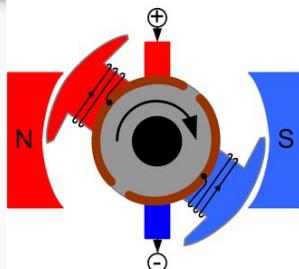
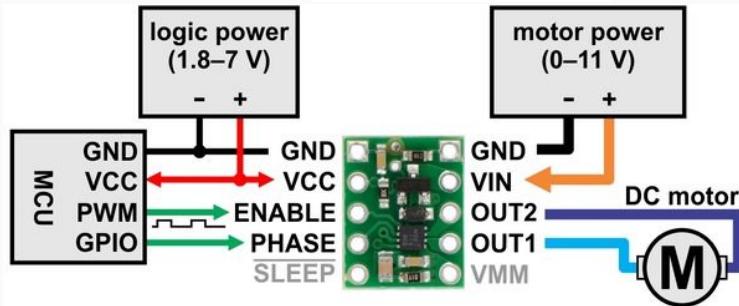
Envoie du flux vidéo via le **module Wi-fi** de la carte



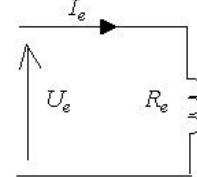
2.1.3 : Moteur à courant continu + driver

Moteur de propulsion :

- Vitesse maximale à vide : 16800 rpm
- Tension de fonctionnement recommandée : 6 à 9V

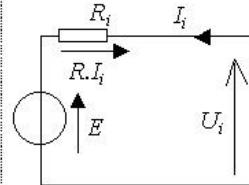


Stator ou inducteur ou excitation



Cette partie n'existe pas dans les moteurs à courant continu à aimants permanents.

Rotor ou induit



Driver DRV8838:

- Courant MAX Transmis = 2A
- Système logique (lié à la carte) commande un pont de transistors

PHASE	ENABLE	SLEEP	OUT1	OUT2	operating mode
0	PWM	1	PWM	L	forward/brake at speed PWM %
1	PWM	1	L	PWM	reverse/brake at speed PWM %
X	0	1	L	L	brake low (outputs shorted to ground)
X	X	0	Z	Z	coast (outputs floating/disconnected)

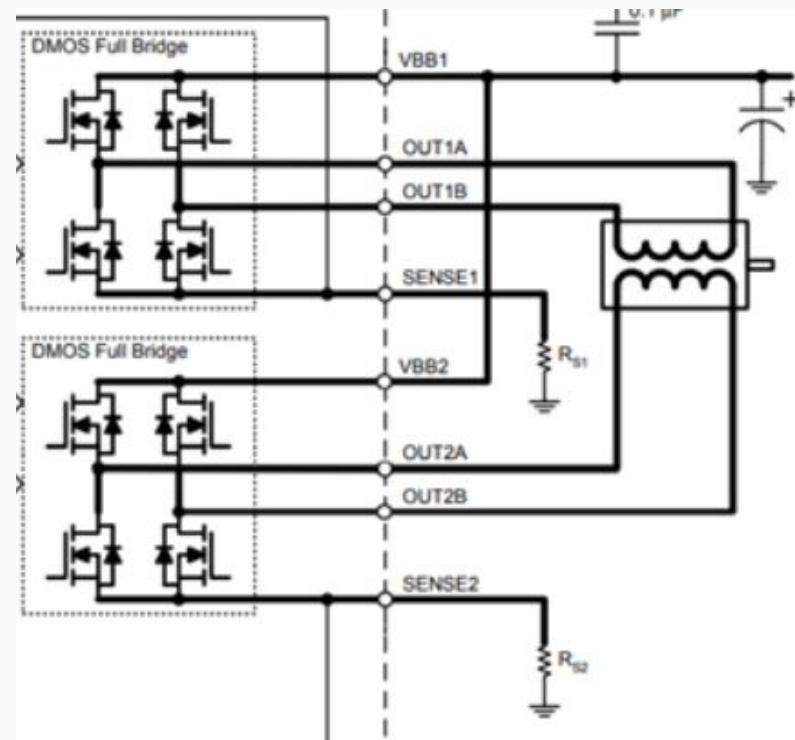
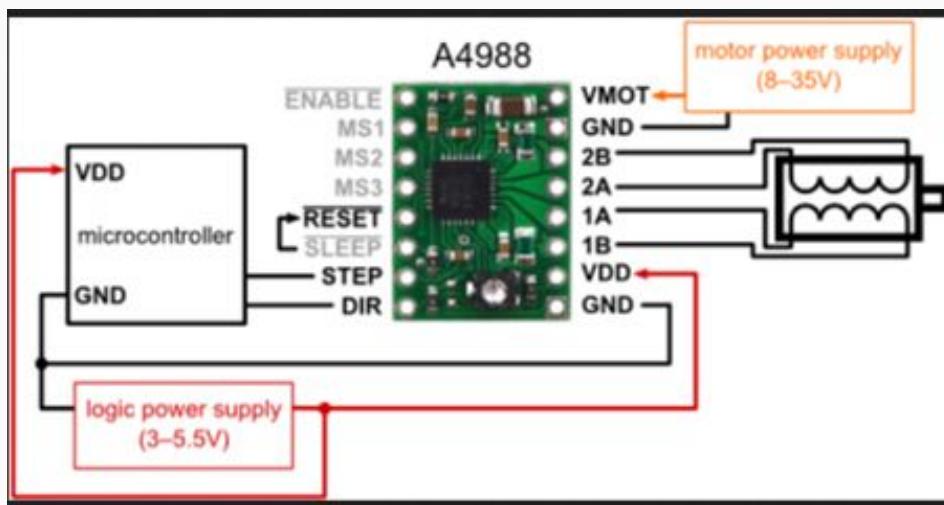
2.1.4 : Moteur Pas à Pas + driver

Moteurs directionnels bipolaires:

Nombre de pas par révolution : 200

Couple moteur : 16 Nm⁻²

Tension de fonctionnement : 3.5 - 5V

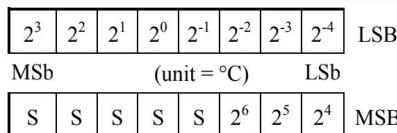


2.1.5 : Capteur de Température

Caractéristiques du capteur :

- Capteur étanche
- Tension de fonctionnement : 3 à 5.5V
- Plage de détection du capteur : de -55°C à 125°C
- Précision du capteur : $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (entre -10°C et 85°C)
- Datas : Broche I/O → Numérique

Table de Relation Temperature/Data :



TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h*
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power on reset register value is +85°C.

Table des instructions du capteur :

INSTRUCTION	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-WIRE BUS AFTER ISSUING PROTOCOL
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS			
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	<read temperature busy status>
MEMORY COMMANDS			
Read Scratchpad	Reads bytes from scratchpad and reads CRC byte.	B Eh	<read data up to 9 bytes>
Write Scratchpad	Writes bytes into scratchpad at addresses 2 through 4 (TH and TL temperature triggers and config).	4 Eh	<write data into 3 bytes at addr. 2 through. 4>
Copy Scratchpad	Copies scratchpad into nonvolatile memory (addresses 2 through 4 only).	48h	<read copy status>
Recall E ²	Recalls values stored in nonvolatile memory into scratchpad (temperature triggers).	B8h	<read temperature busy status>
Read Power Supply	Signals the mode of DS18B20 power supply to the master.	B4h	<read supply status>

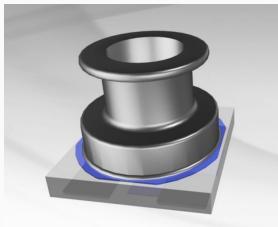
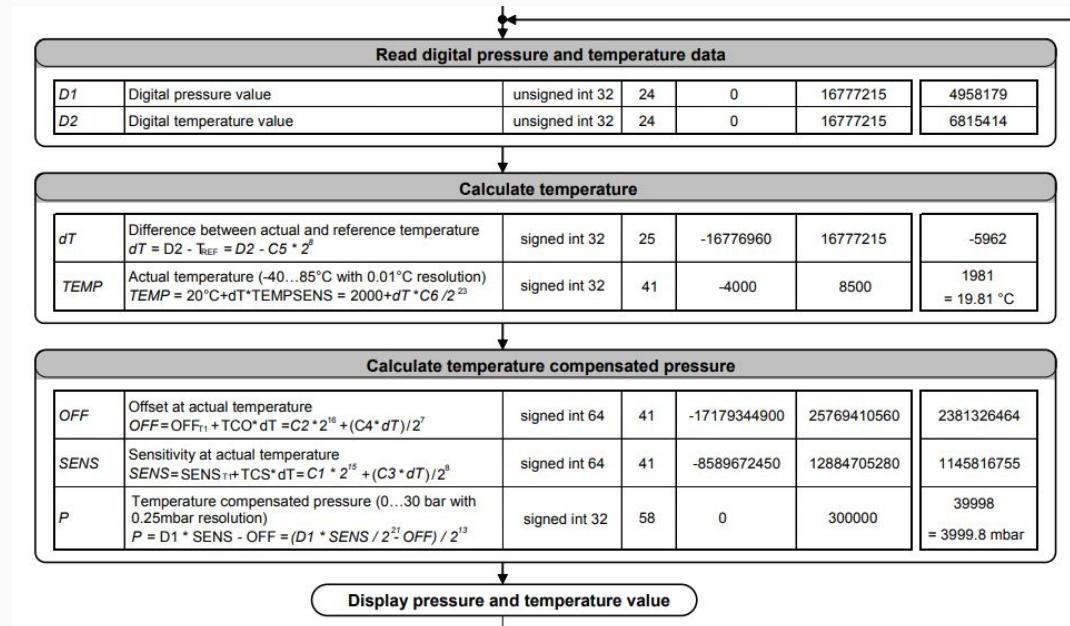
125 °C = 0000 0111 1101 0000

signe

2.1.6 : Capteur de Pression

Caractéristiques du capteur :

- Capteur étanche en I2C
- Tension de fonctionnement : 1.5 à 3.6V
- Courant de consommation :
 - en fonctionnement : 0.6µA
 - au repos : 0.1µA (à 25°C)
- Plage de détection du capteur : 0 à 30 Bar (utilisable entre -20°C et 85°C)
- Précision du capteur : ± 0.2 mBar (soit $\pm 2\text{mm d'altitude}$)
- Utilisation de 0 à -290m

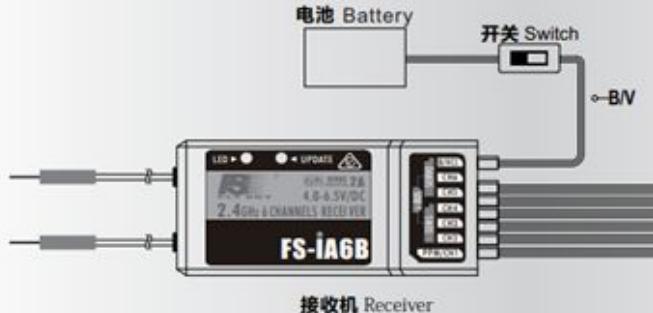


I²C expliqué dans la partie 3.2

2.1.7 : Récepteur Télécommande 2.4GHz

Référence fabricant : FS-iA6B

- Fonctionnement 2.4GHz
 - Plage radio fréquence : 2,408 - 2,475 GHz
- ⇒ Renvois des **signaux PWM** sur 6 canaux



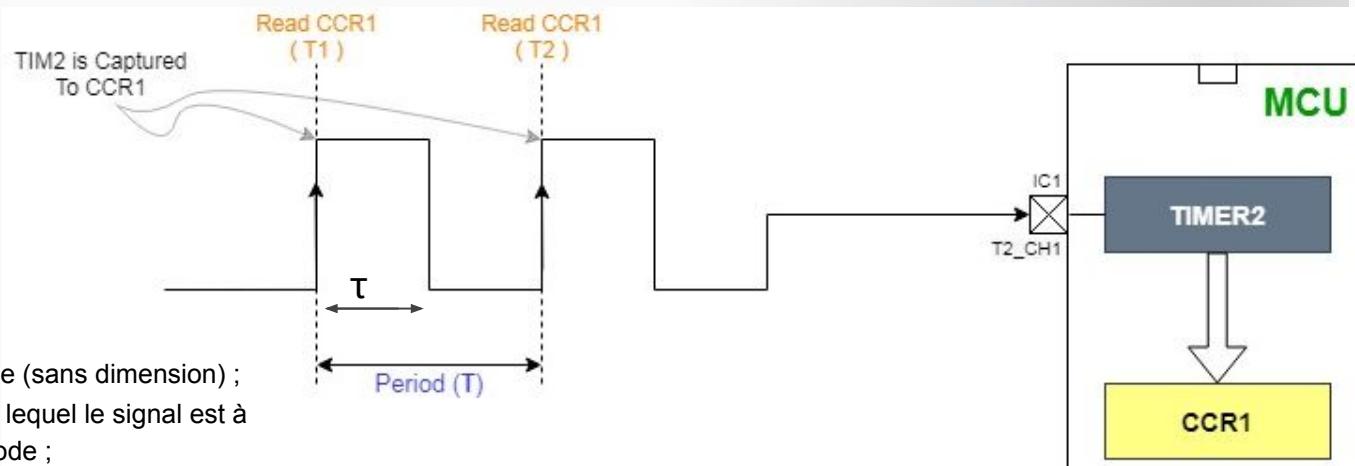
Nous avons créé notre propre
Input capture :

Permet de déterminer le temps
entre deux fronts montants

=> Calcul du **rapport cyclique**

$$\alpha = \frac{\tau}{T}$$

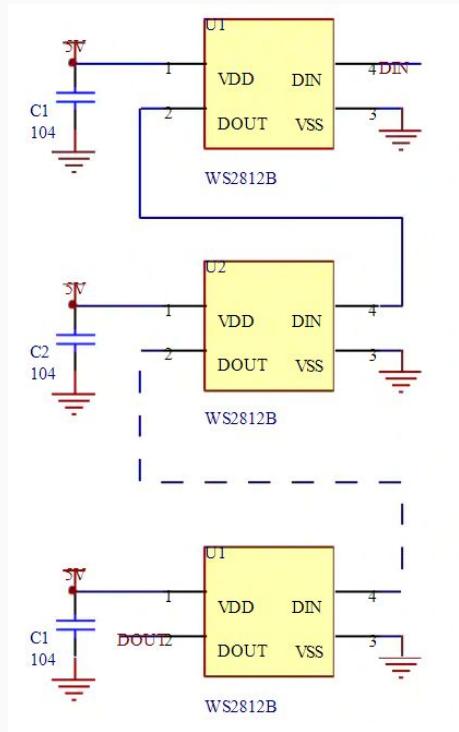
α est le rapport cyclique (sans dimension) ;
τ est le temps pendant lequel le signal est à
l'état actif sur une période ;
T est la période du signal.



2.1.8 : Bandeau LED

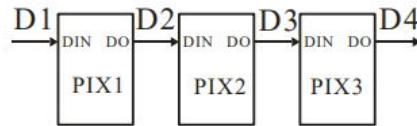
Référence fabricant : WS2812B

- Norme IP67 (Étanche)
- Blanc

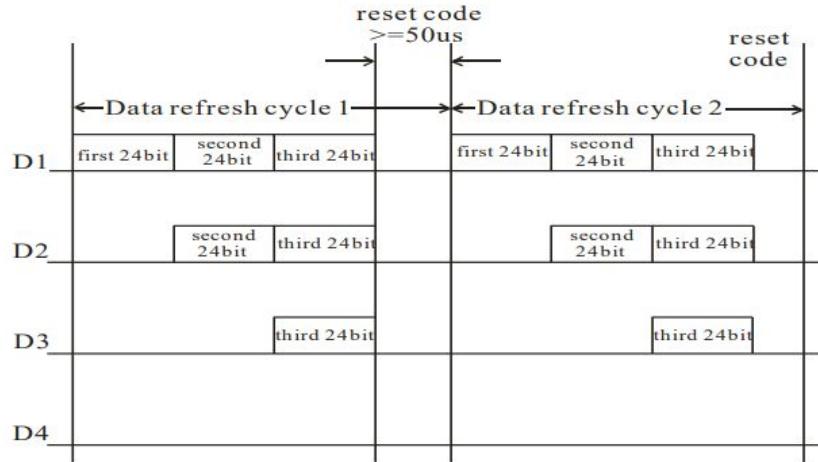


Transmission des datas dans le bandeau :

Cascade method:



Data transmission method:



2.2 Bilan de consommation et autonomie

- Raspberry Pi : 3A *2
- Caméra : 250mA *1
- Moteur Brushless : 1A *1
- Moteur Pas à Pas : 1A *4
- Capteur de Température : 1.5mA *1
- Capteur de Pression : 1.25mA *1
- Driver Moteur Brushless : Négligeable
- Driver Moteur Pas à Pas : Négligeable
- Bandeau LED : Négligeable
- Emetteur/Récepteur 2.4GHz : Négligeable

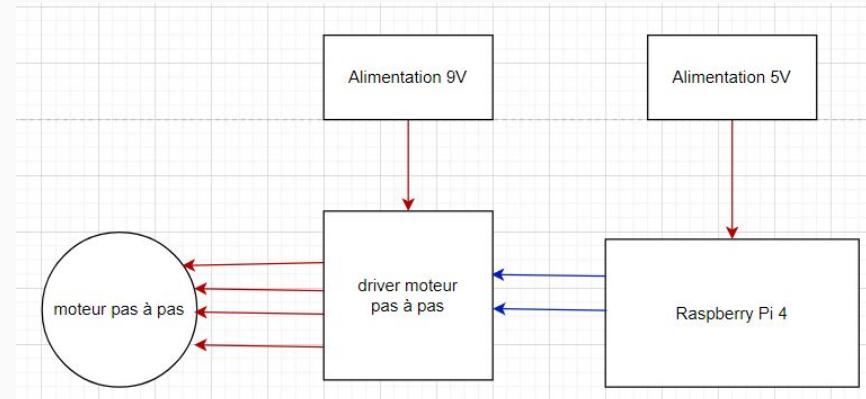
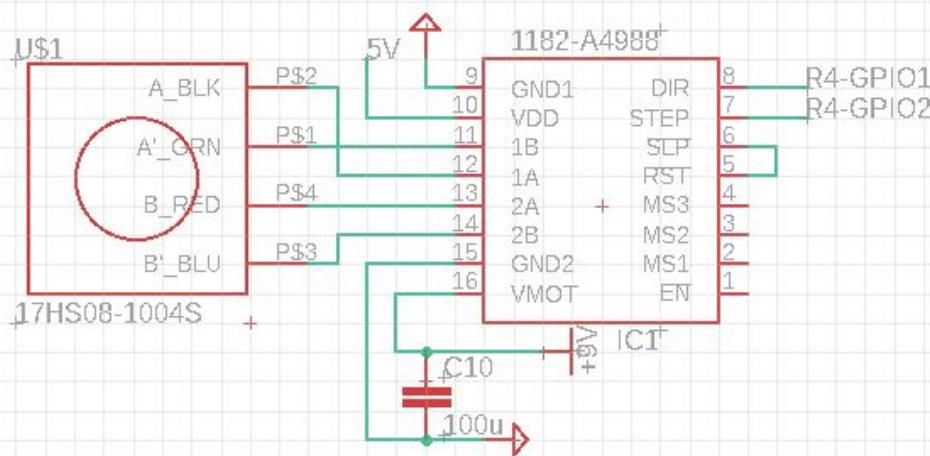
Capacité de batterie = consommation * autonomie

- ⇒ Approximation : **12250 mA**
- ⇒ Dimensionnement de la batterie : **6125 mAh** (autonomie visée : 30 minutes)
- ⇒ Batterie utilisée : 5500mAh (environ 27 min)

consommation en fonctionnement normale

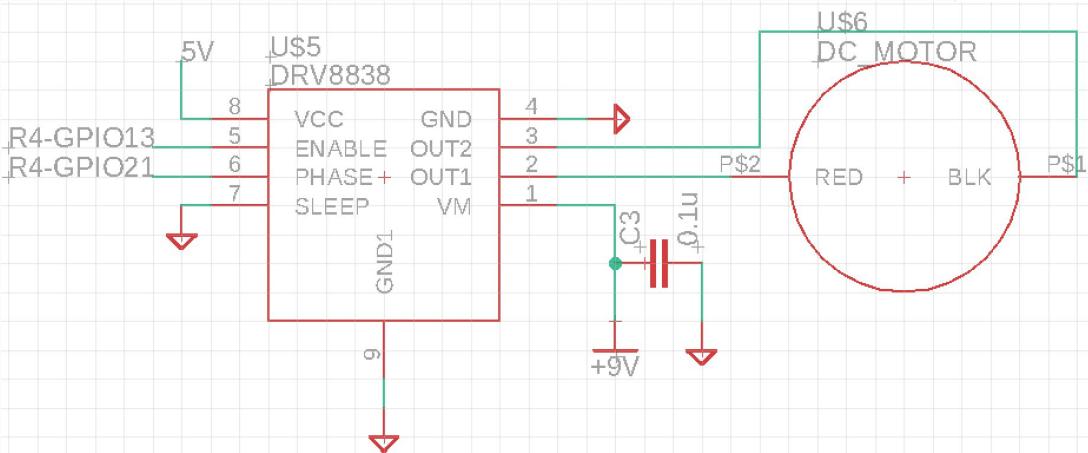
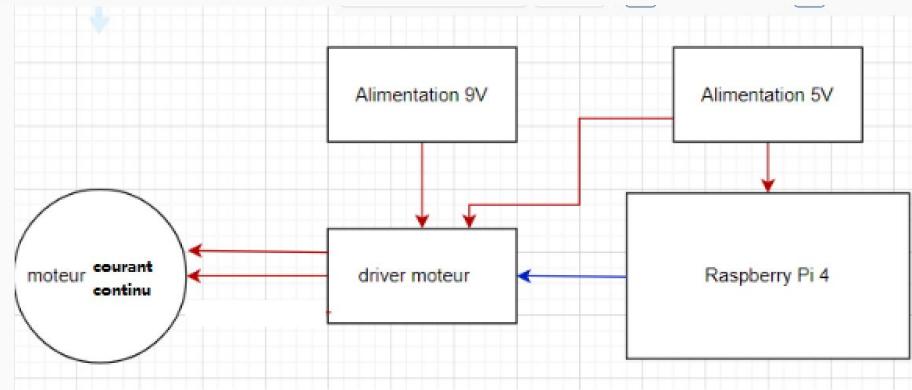
2.3 Schéma électronique pour Raspberry Pi 4

Schéma électronique moteur pas à pas et driver A4988



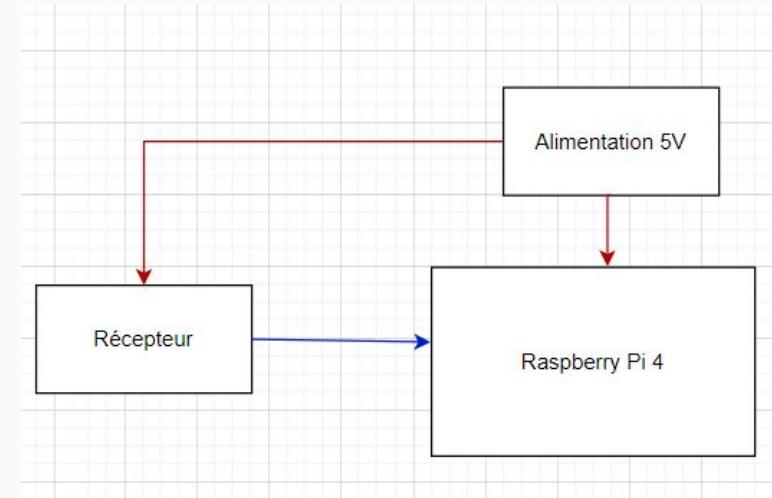
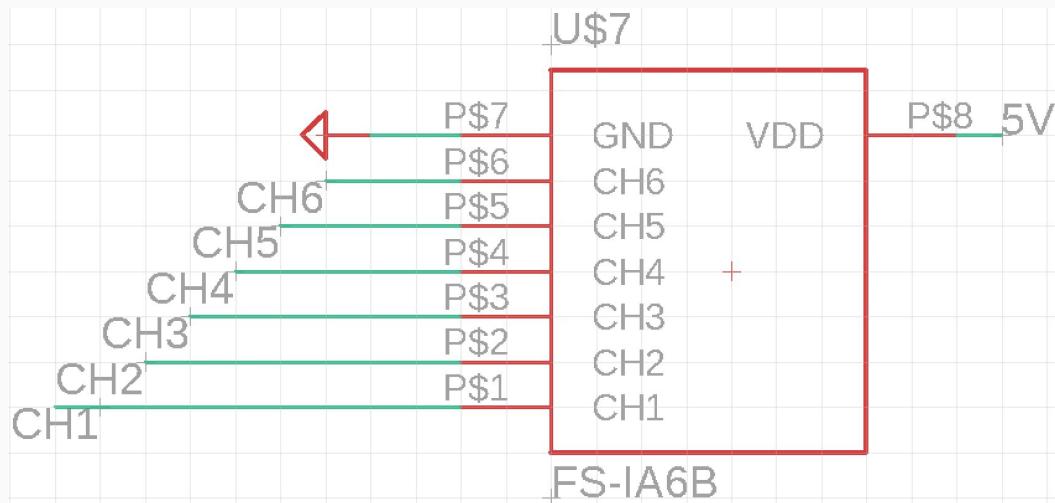
2.3 Schéma électrique pour Raspberry Pi 4

Schéma électronique moteur courant continu et driver DRV8838



2.3 Schéma électronique pour Raspberry Pi 4

Schéma électronique récepteur radio 2.4GHz



2.3 Schéma électronique pour Raspberry Pi 4

Schéma électronique LED contrôlée par mosfet

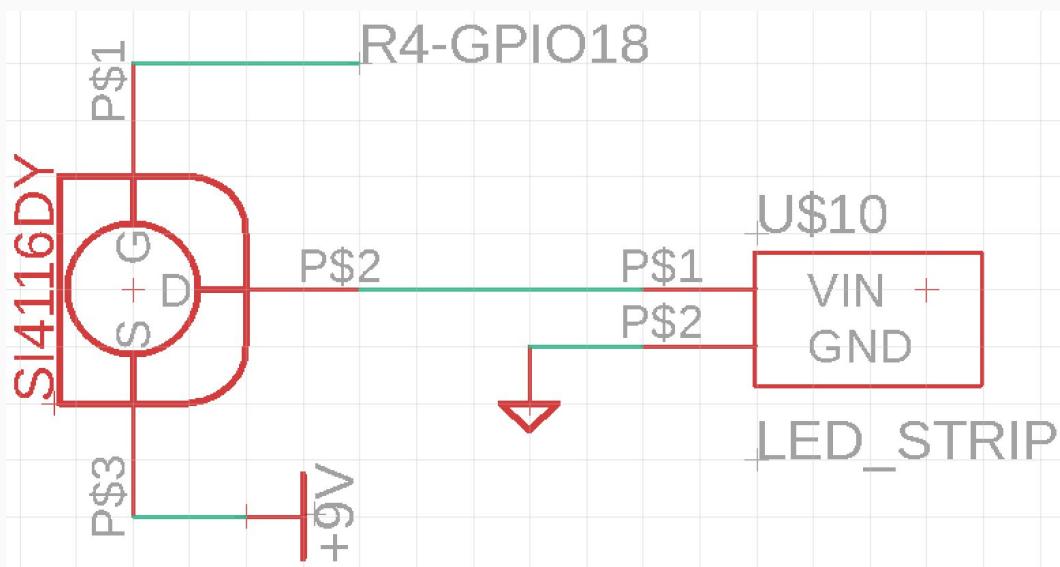
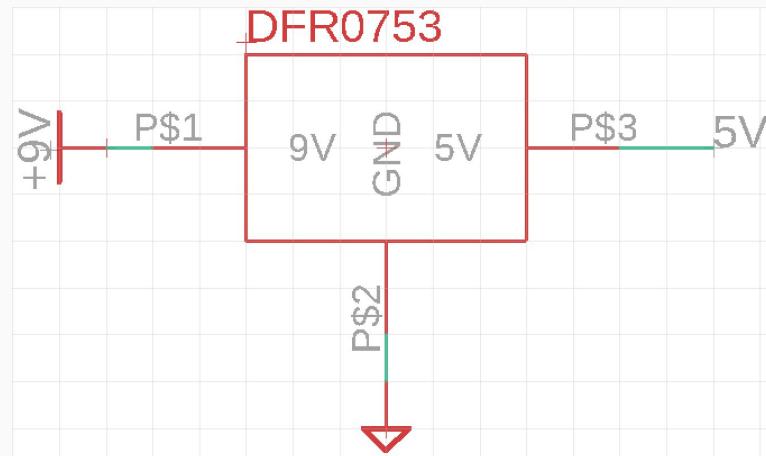
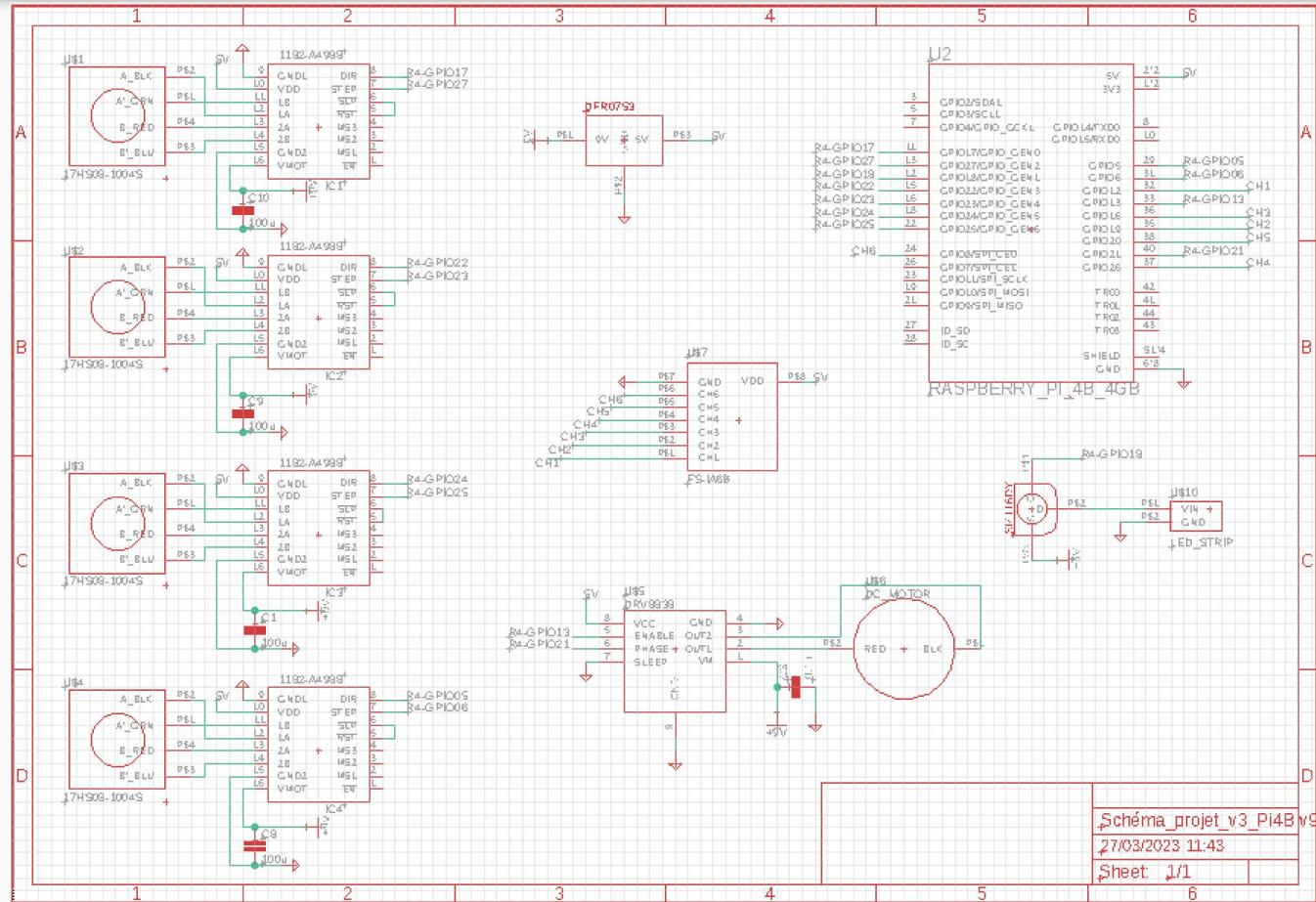


Schéma électronique Buck-boost

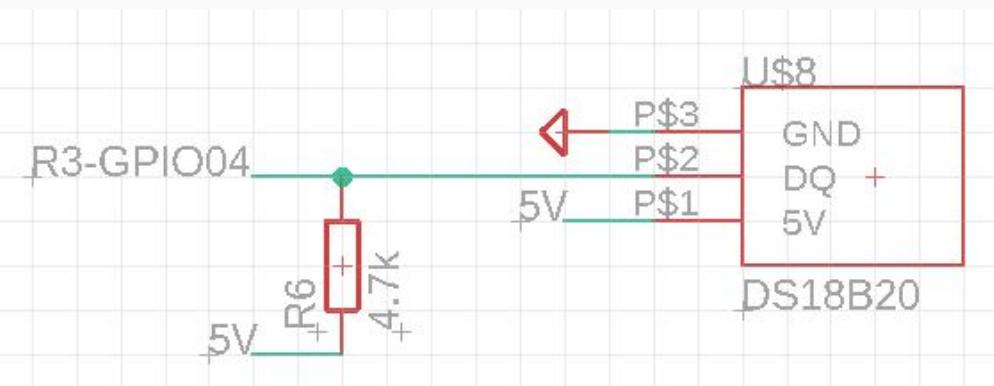
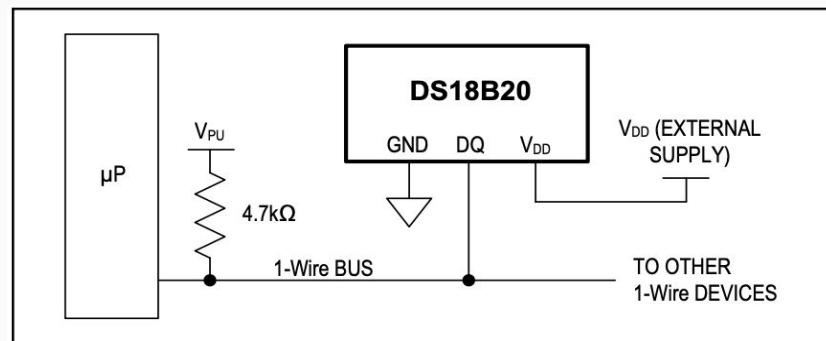


2.3 Schéma électrique pour Raspberry Pi 4



2.3 Schéma électronique pour Raspberry Pi 3

Branchements du capteur de température
branché en IN/OUT à la carte :



2.3 Schéma électronique pour Raspberry Pi 3

Branchements du capteur de pression
branché en I²C à la carte :

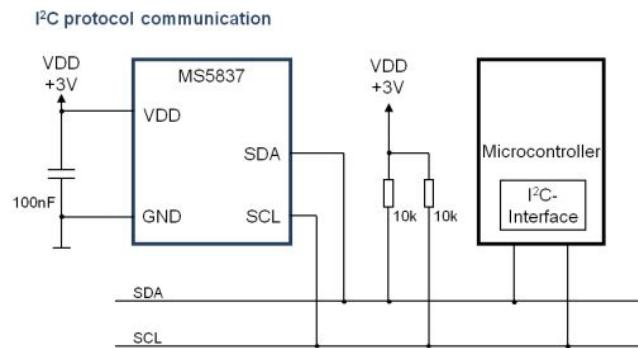
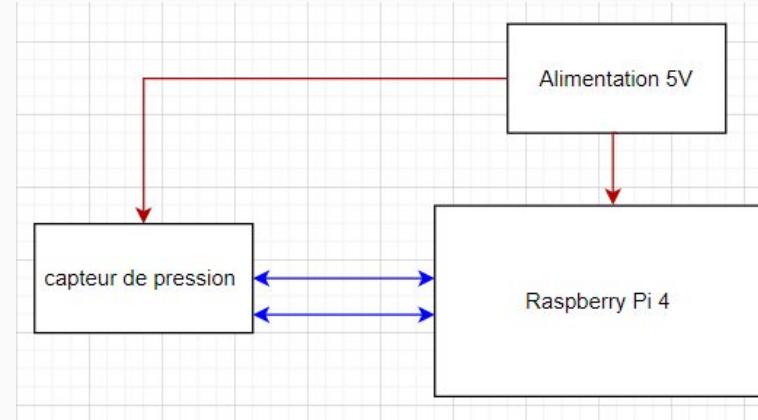
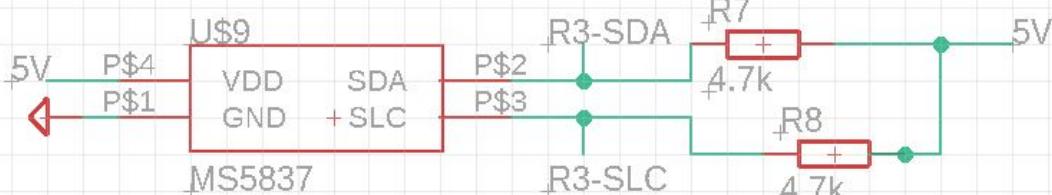
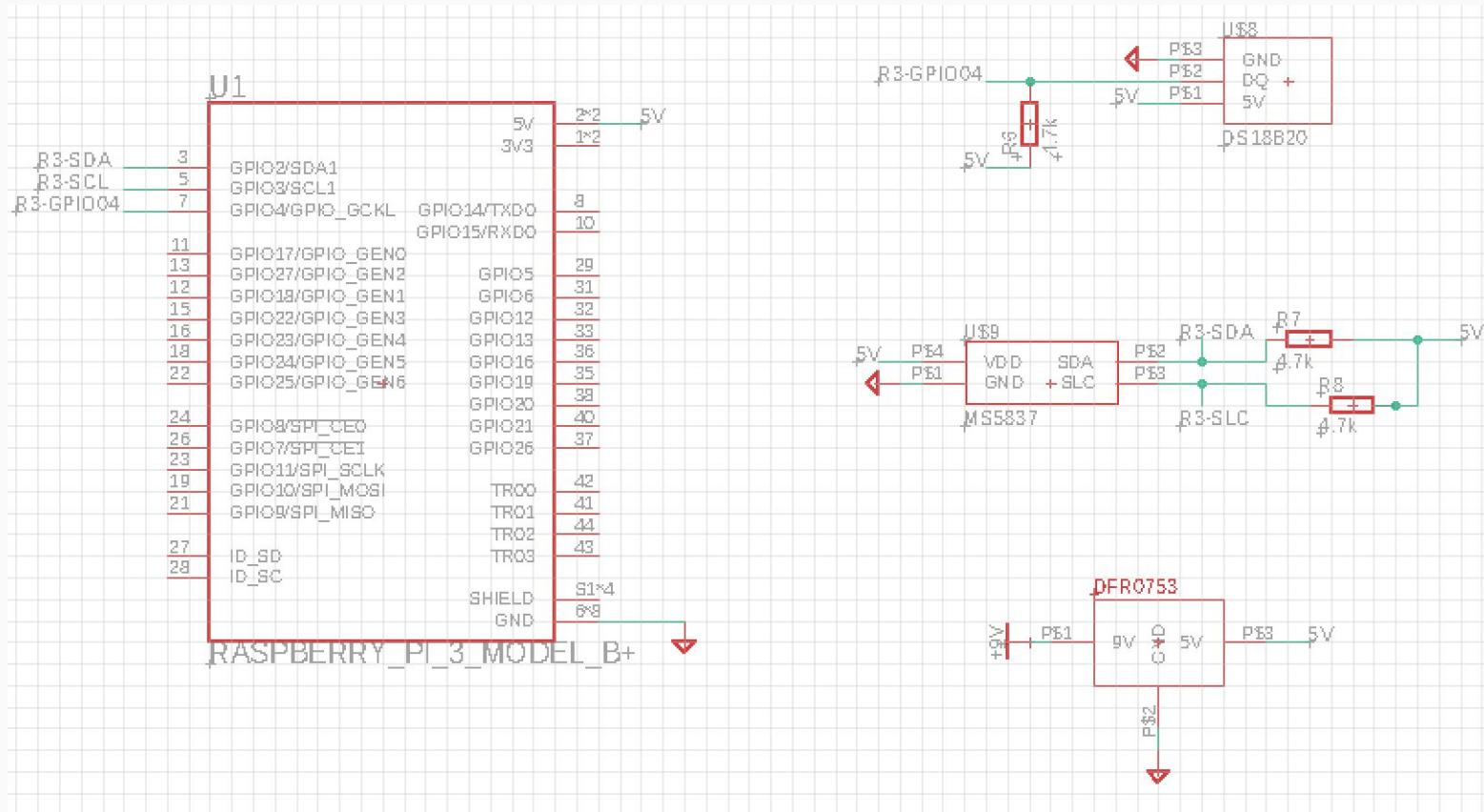


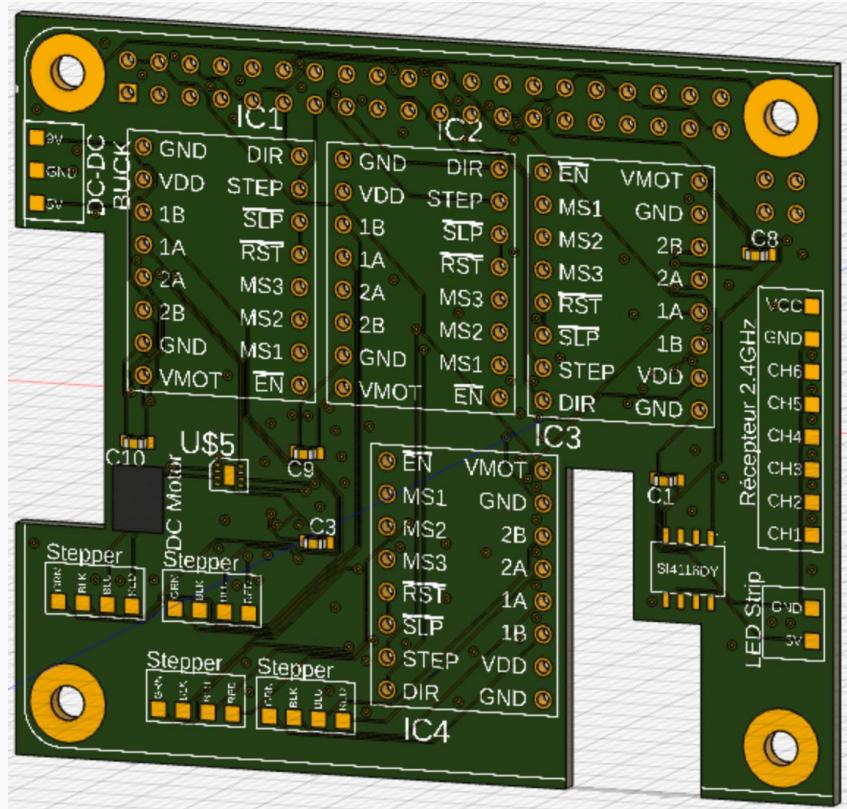
Figure 11: Typical application circuit

2.3 Schéma électronique pour Raspberry Pi 3



2.3 Circuit imprimé électronique

PCB pour la Raspberry Pi 4B

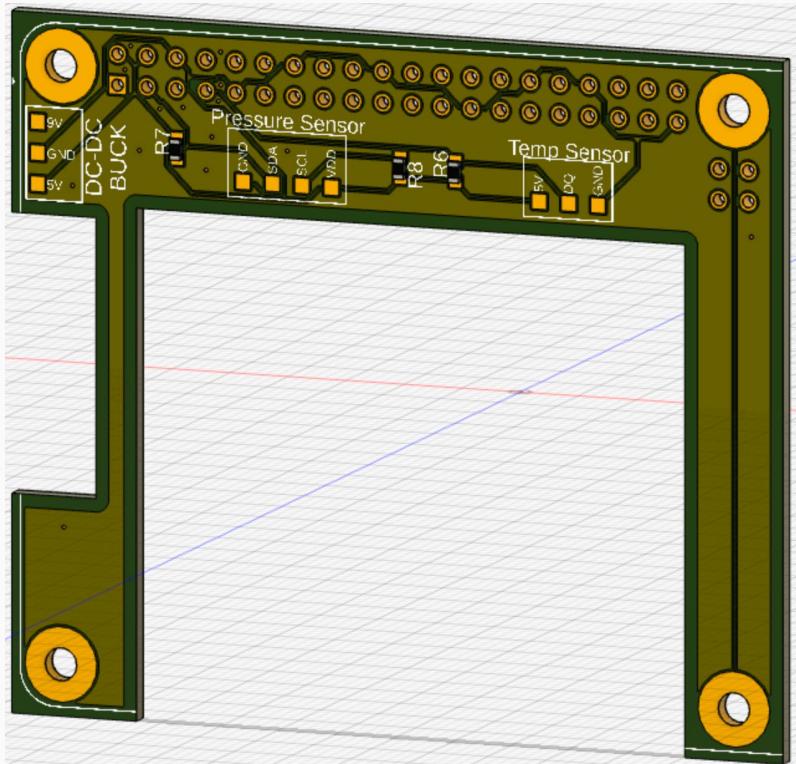


Les contraintes de la modélisation :

- Les ports USB2, USB3 et Ethernet
 - Le port Jack 3.65mm
 - La connectique caméra
 - La connectique “Display”
 - La taille
 - Les GPIO

2.3 Circuit imprimé électronique

PCB pour la Raspberry Pi 3B+



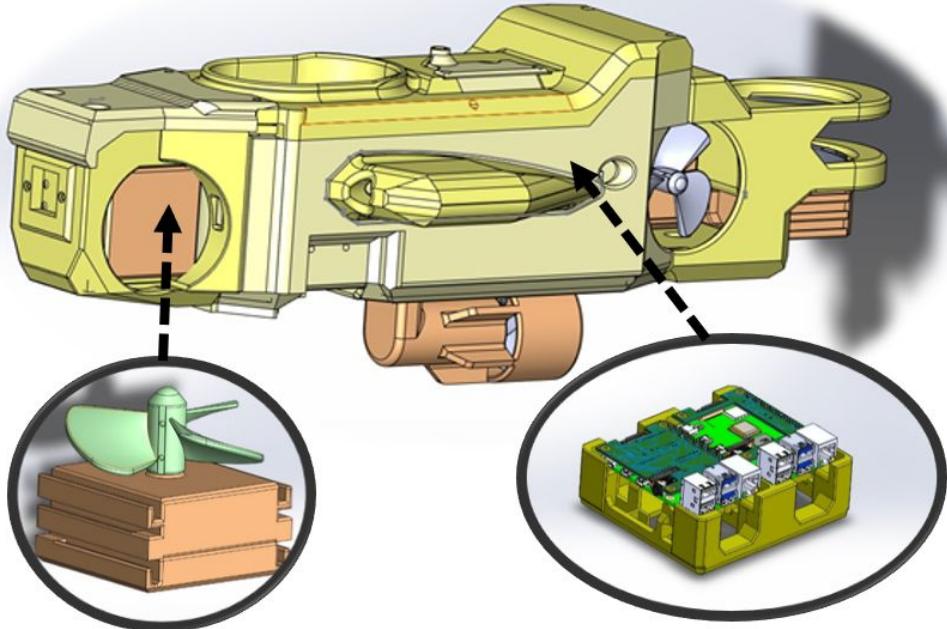
LONGEFAY Mael



Les contraintes de la modélisation :

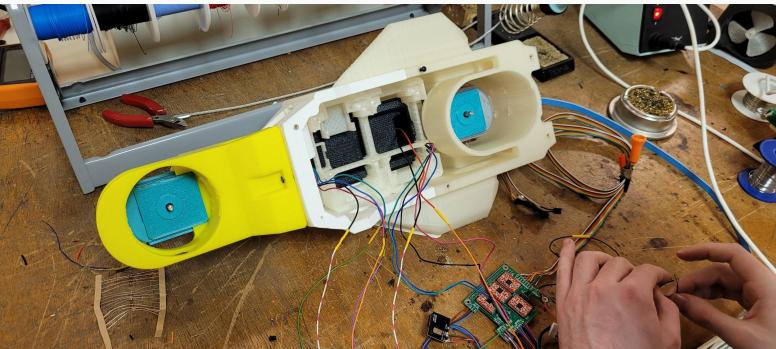
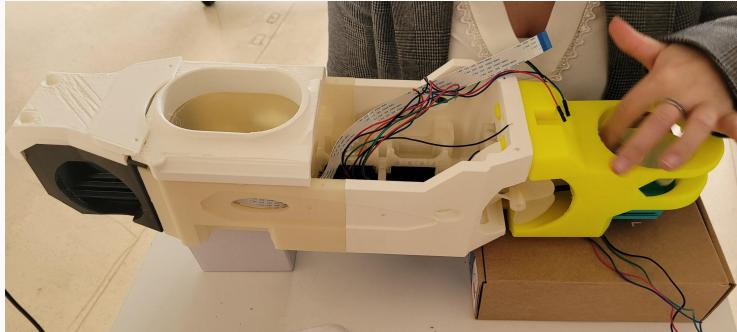
- Les ports USB2, USB3 et Ethernet
- Le port Jack 3.65mm
- La taille
- Les GPIO

2.4 Structure de la maquette

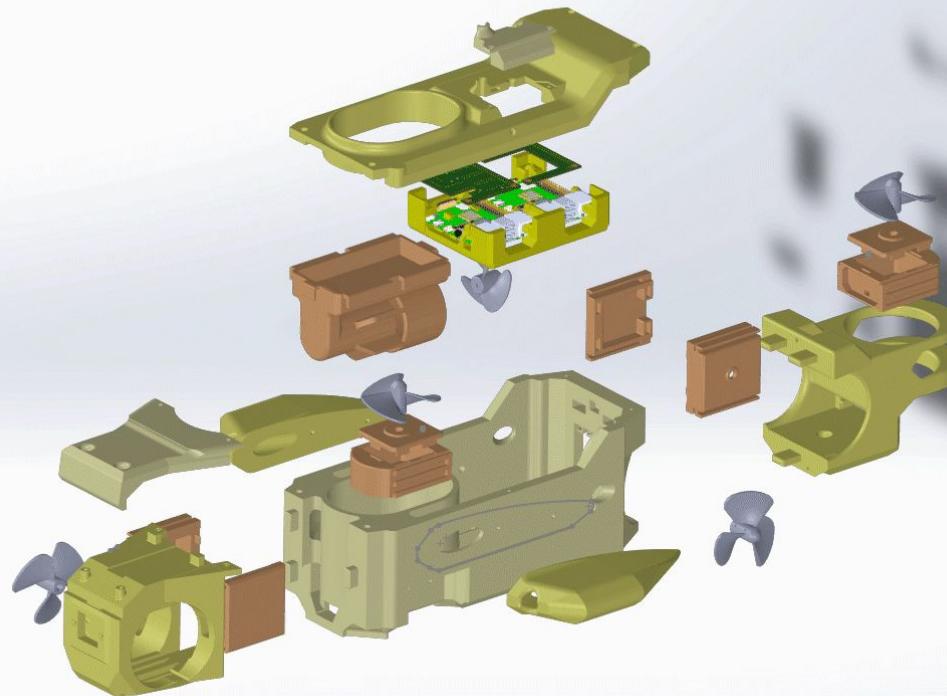


Bloc moteur et ses rails « rack »

Intelligence fixée sur une « étagère »
surélevée pour permettre une
meilleure ventilation



2.4 Structure de la maquette



Développement logiciel

Présentation générale

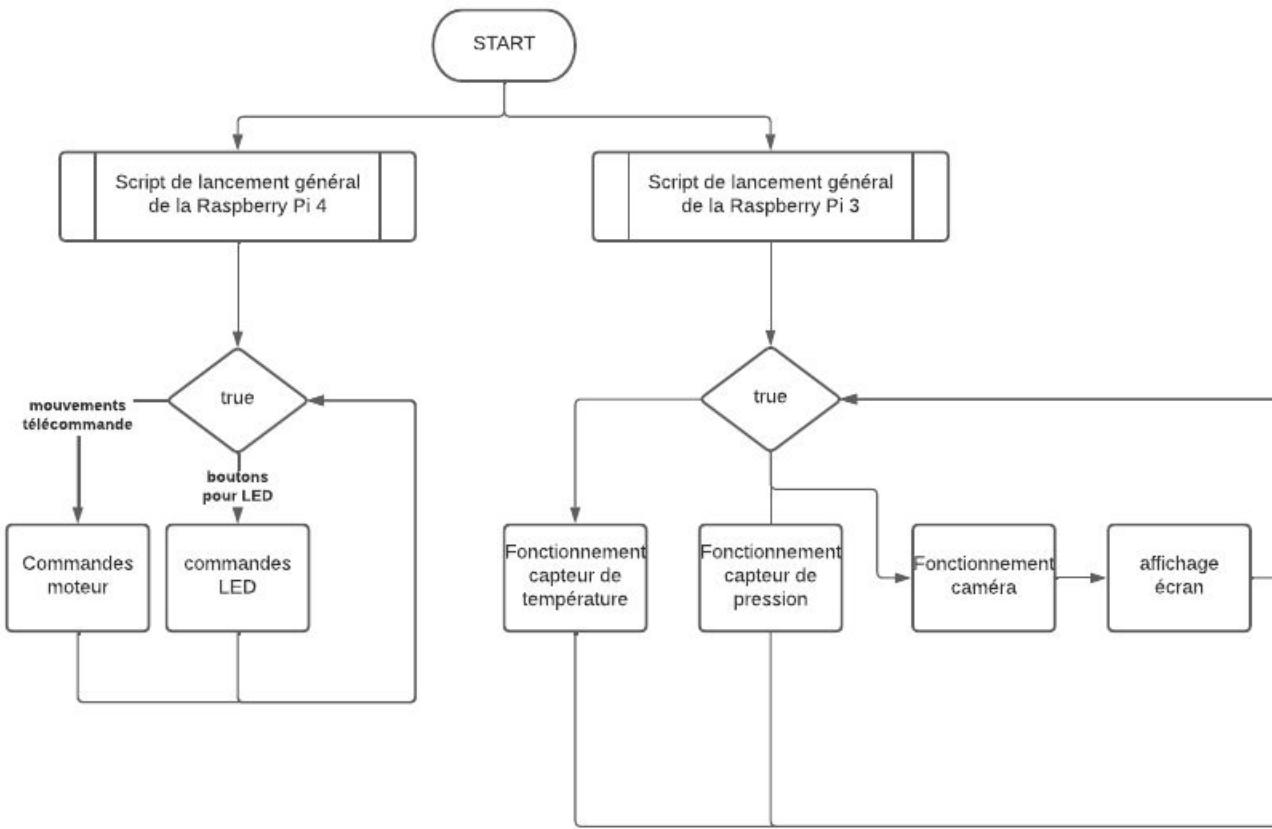
Veille technologique



Développement logiciel

Bilans

3.1 Schéma fonctionnel du code

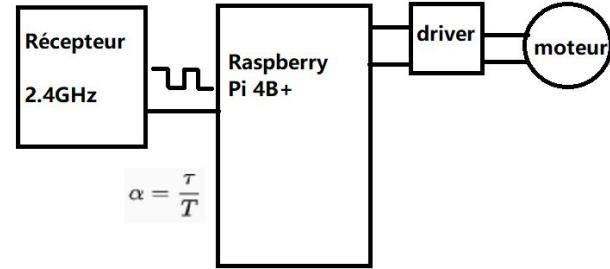
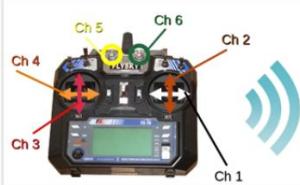


Description générale du fonctionnement du sous-marin

3.2 : Le PWM

PWM (Pulse Width Modulation)

- Modulation d'un signal analogique
- Réduction de la puissance moyenne du signal



Applications :

Emission :

- Contrôle du moteur CC

Réception :

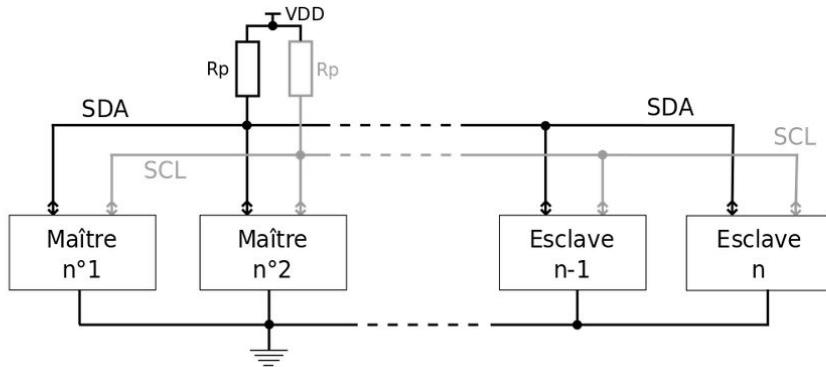
- Courses des manettes de la télécommande (Fonction Input capture)

Rapport cyclique : 25% et 50%

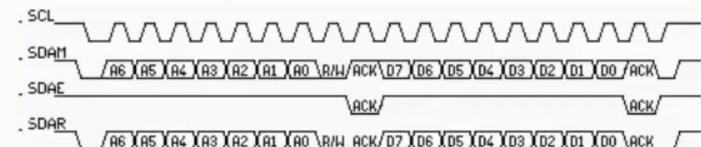
3.2 : Protocole utilisé : I²C : Inter Integrated Circuit

Bus de liaison série, bidirectionnel, half duplex

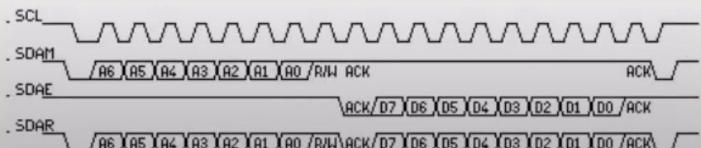
- Utilisation de deux signaux :
 - SDA (donnée)
 - SCL (horloge)
- Conditions de prise de contrôle du bus :
 - **Démarrage** : SDA passe à '0' alors que SCL reste à '1'
 - **Arrêt** : SDA passe à '1' alors que SCL reste à '1'



Donnée Maître → Esclave



Donnée Esclave → Maître



Application :

- Contrôle et lecture du capteur de pression

3.3 Etude des programmes

Plusieurs programmes :

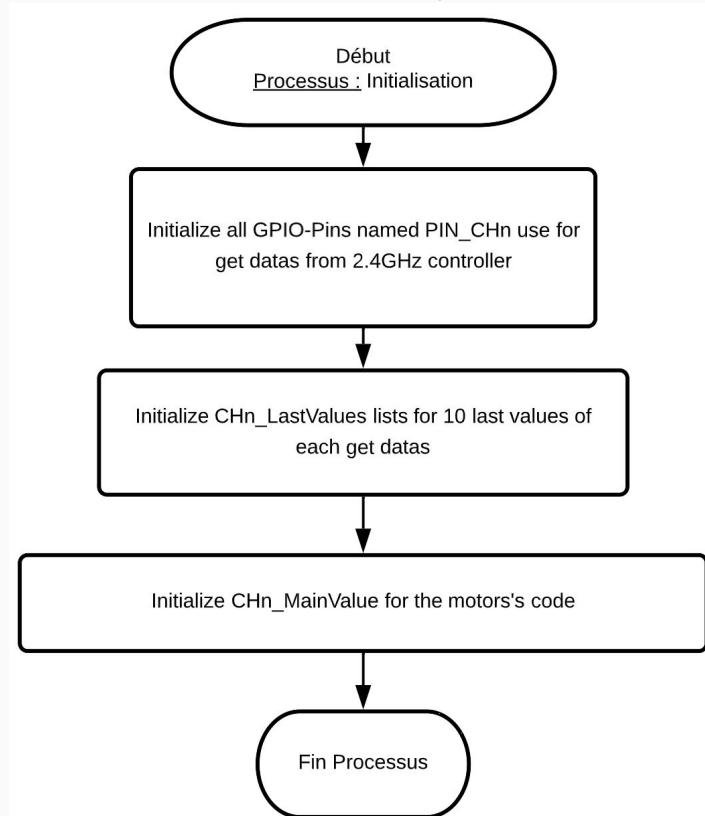
Sur la Raspberry Pi 4B+ :

- communication entre récepteur 2.4Ghz et Pi 4B

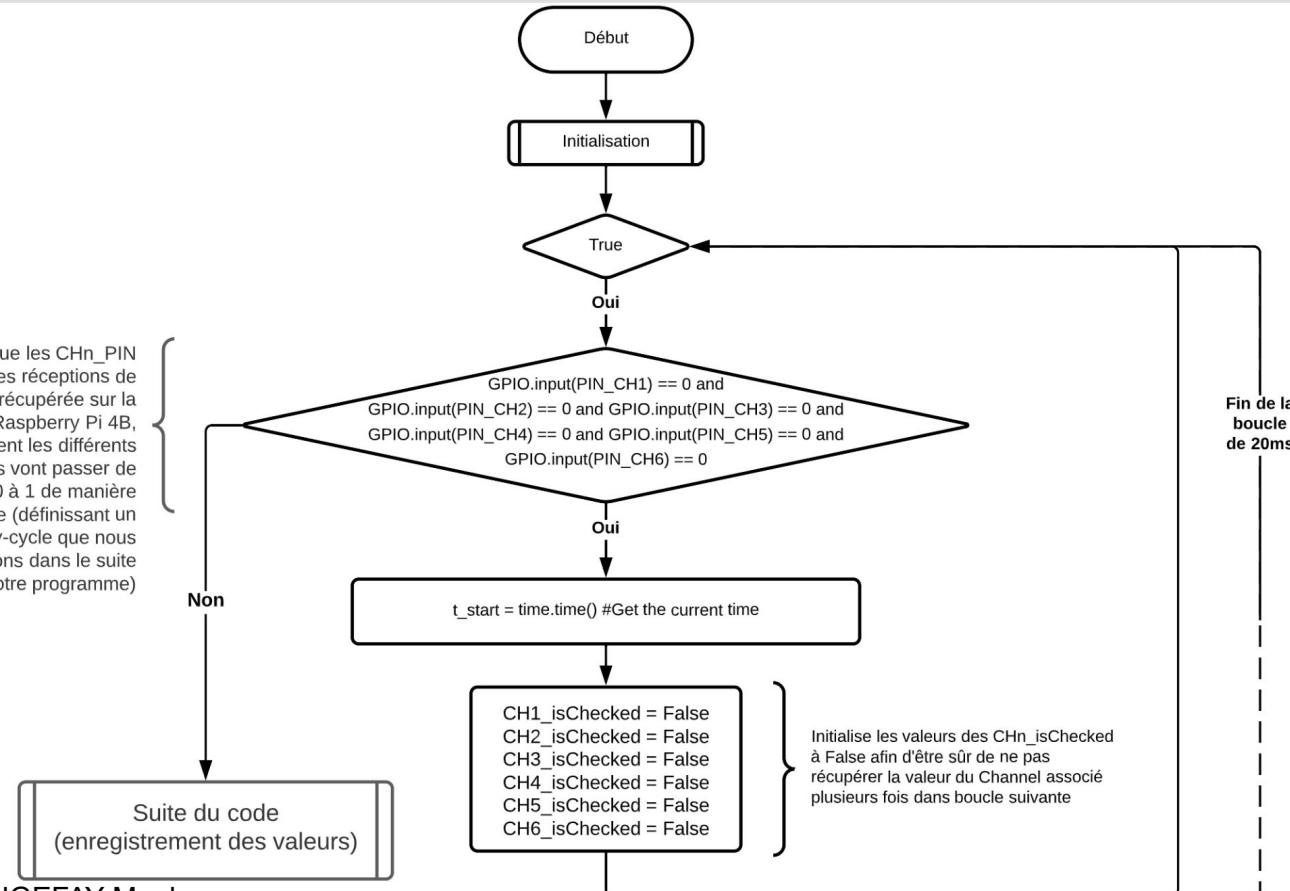
Sur la Raspberry Pi 3B :

- gestion des capteurs et retour caméra sur un web-serveur

Programme d'initialisation entre le récepteur et la Raspberry Pi 4B



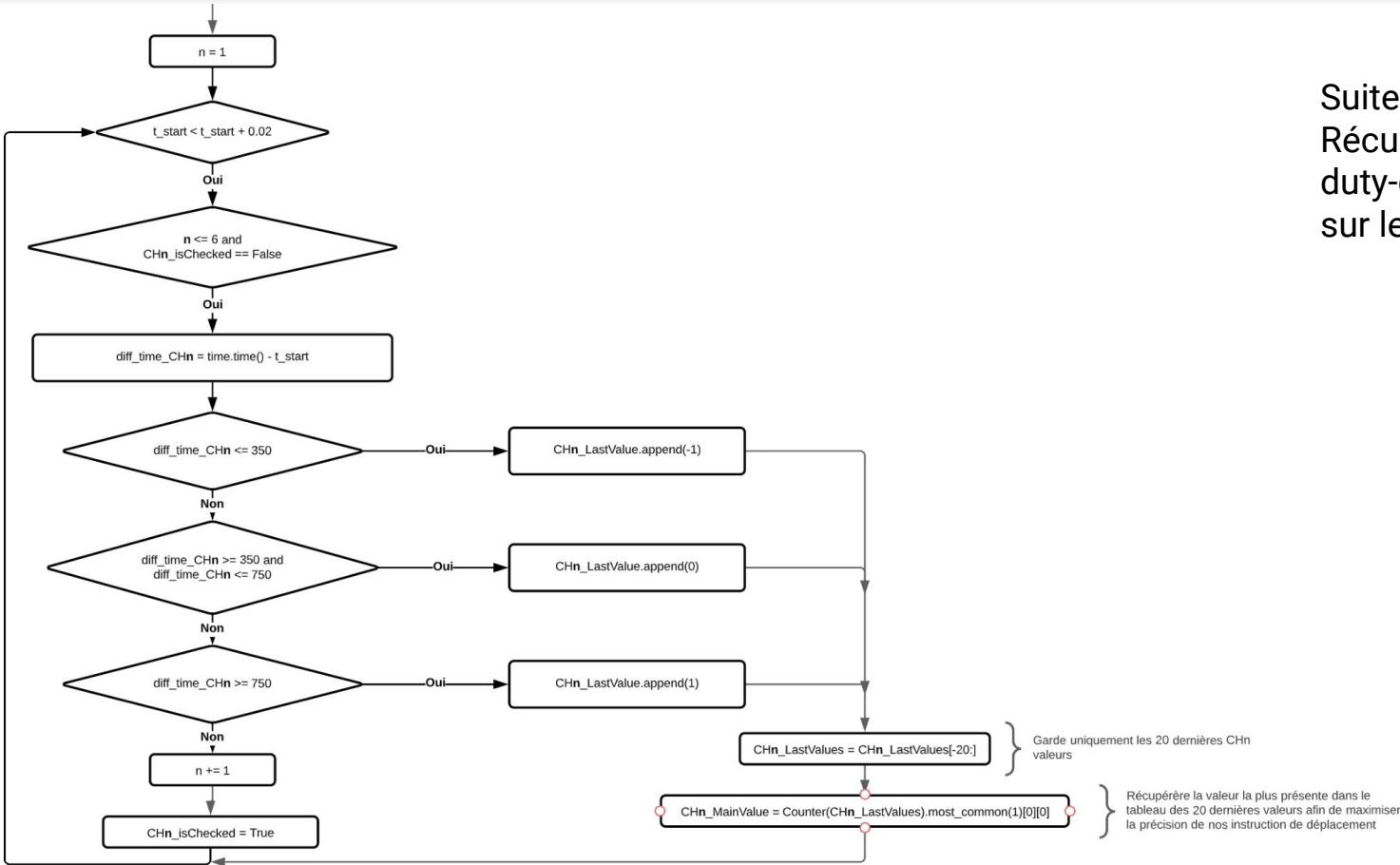
3.3 Etude des programmes



Communication entre Récepteur 2.4GHz – Raspberry Pi 4B

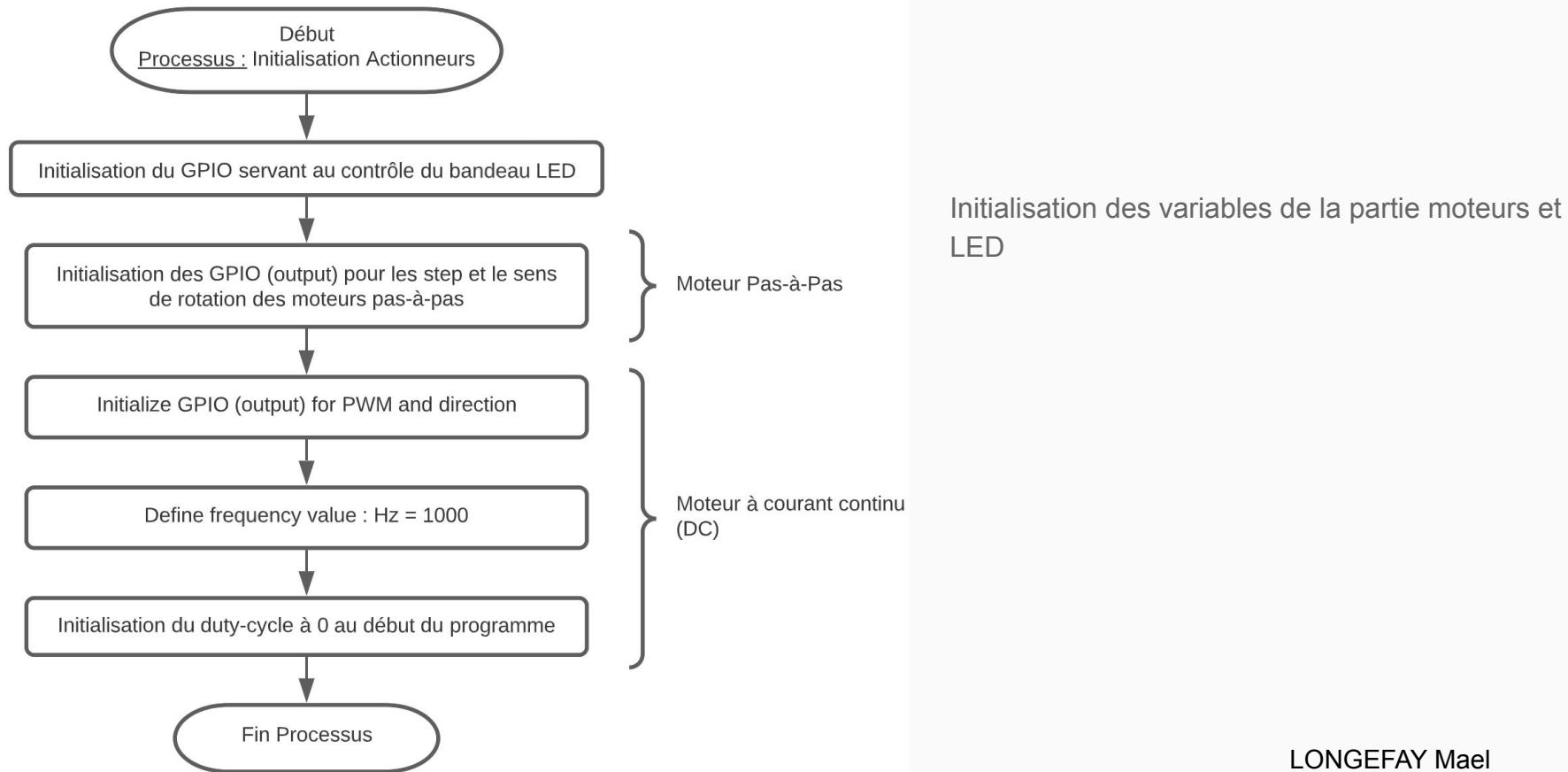
Programme du contrôle des moteurs et des LED

3.3 Etude des programmes

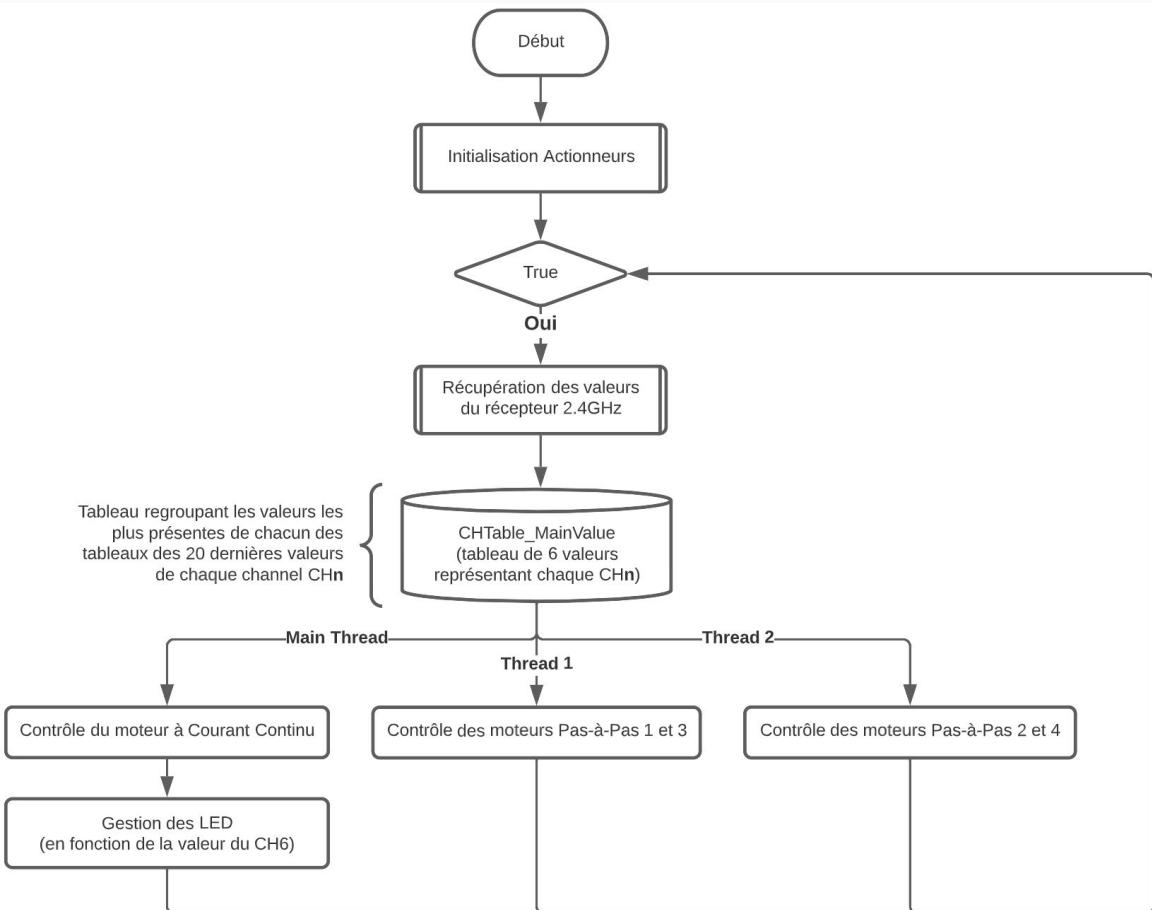


Suite du programme :
Récupération des
duty-cycles pour les utiliser
sur les moteurs

3.3 Etude des programmes

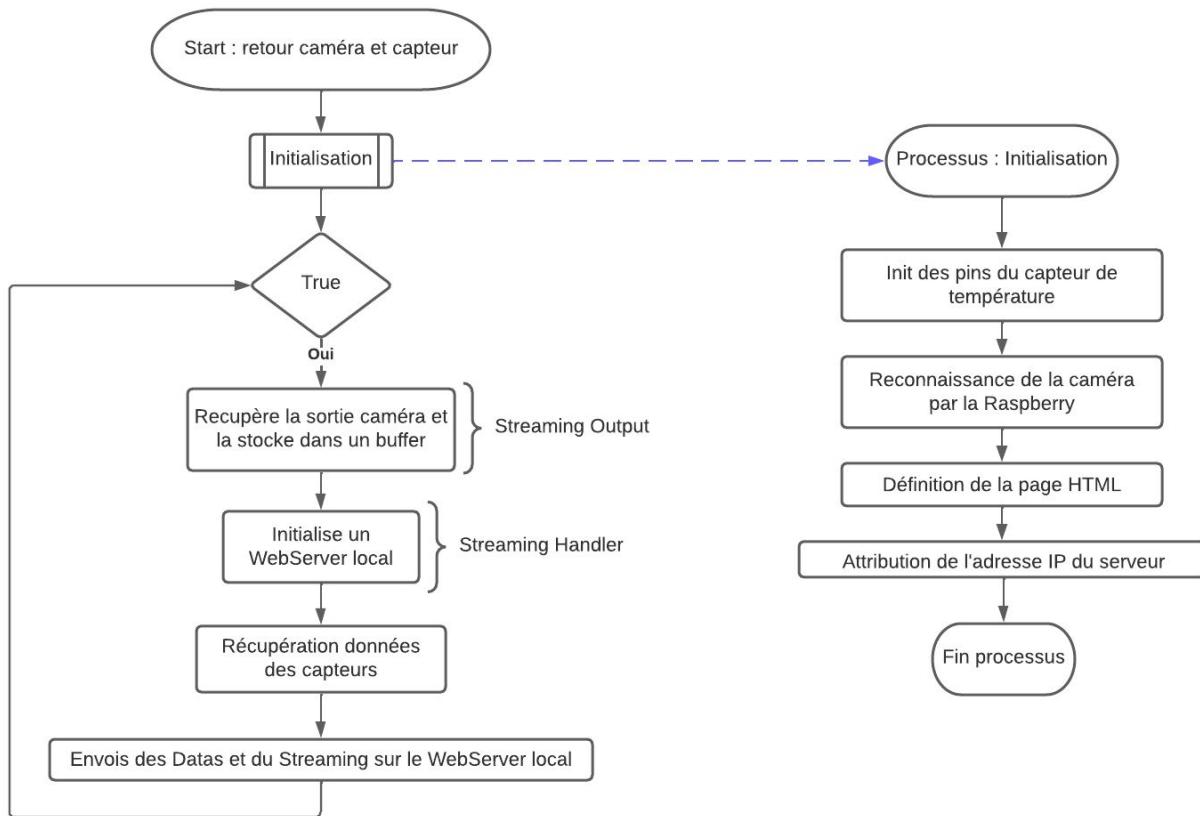


3.3 Etude des programmes



Gestion des moteurs en multi-thread

3.3 Etude des programmes



Gestion de la caméra et des capteurs sur un Web-Serveur local

Bilans

Présentation générale

Veille technologique

Développement logiciel



Bilans

4.1 : Bilan financier

IC				
Produit	Quantité	prix/unité (€)	RoHS	Manufacture
Raspberry Pi 4B - 2Go	1	159.99	Oui	Raspberry Pi
Raspberry Pi 3B+	1	139.00	Oui	Raspberry Pi
Printed Circuit Board - Raspberry Pi 4B	1	8.77	N/A	PCBWay
Printed Circuit Board - Raspberry Pi 3B+	1		N/A	PCBWay

306.9 euros
TTC

Mémoire Programme				
Produit	Quantité	prix/unité (€)	RoHS	Manufacture
Carte Micro SD Classe C	2	6,53 soit 13.06	N/A	Kodak

4.1 : Bilan financier

Connecteurs				
Produit	Quantité	prix/unité (€)	RoHS	Manufacture
Raspberry Camera Adapter 20cm	1	1.98	Oui	Adafruit Industries LLC
câble électrique multipolaire	3	6.47 soit au total 19.41	N/A	ManoMano
Câble flexible pour Raspberry Pi camera	1	1.83	Oui	Adafruit
Rallonge câble USB	1	7.49	Oui	Ralink

30.71 euros
TTC

Composants Passifs				
Produit	Quantité	prix/unité (€)	RoHS	Manufacture
Condensateur	4	0.1		
Résistance	3	0.05		

4.1 : Bilan financier

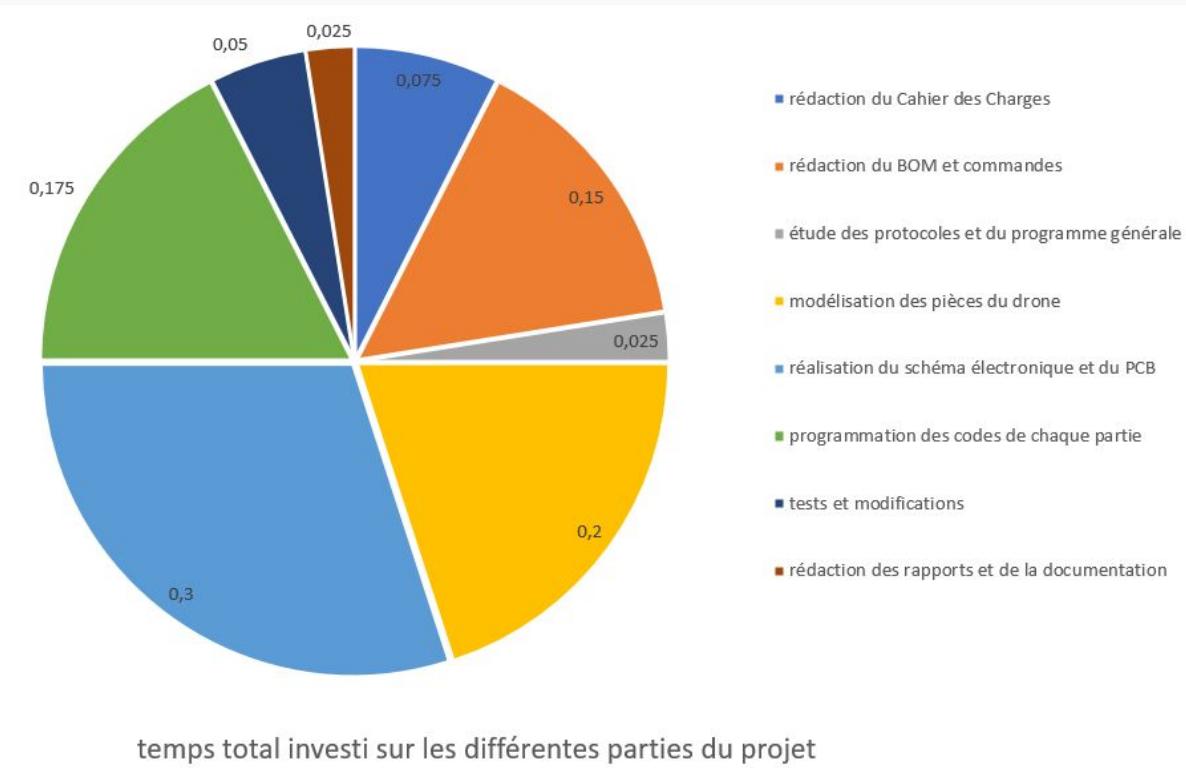
Externes				
Produit	Quantité	prix/unité (€)	RoHS	Manufacture
Raspberry Camera Module	1	24.11	Oui	Raspberry Pi / Seeed Studio
Télécommande 2.4G (+ Émetteur/Récepteur)	1	75.99	N/A	FlyskyRC
Bandeau LED (blanc) Longueur 1m - Norme IP67	1	13.2784	Oui	BTF-LIGHTING
Capteur de Température Étanche	1	6.84	Oui	DFROBOT
Capteur de Pression Étanche	1	14.13	Oui	TE CONNECTIVITY
Moteur courant continu	1	23.2 soit au total 46.4	N/A	JMT
Driver moteur courant continu	1	25.98 soit au total 51.96	N/A	BGNing
Moteur Pas-à-Pas	4	26.99	N/A	LICHIFIT
Driver-Moteur Pas-à-Pas	4	14.99	N/A	RUIZHI
Répéteur WiFi	1	9.19	Oui	Ralink
Buck Booster	1	4.00	Oui	Joy-it
Batterie	1	18	Oui	-

Estimation totale du projet :
652.28 €

4.2 : Bilan temporel

Etapes importantes :

- Définition du projet et du Cahier des charges
- Commandes
- Réalisation du schéma électronique
- Programmation
- Tests et modifications



4.3 : Evolution du projet

Les forces de SUB-EXPLORER :

- très adaptable
- modulable à volonté

- Création d'une application mobile pour piloter le sous-marin
- Amélioration de l'autonomie du sous-marin
- Ajout d'un sonar
- Ajout de fonctionnalités sur la manette
- Ajout d'outils scientifiques



Conclusion

- Le projet le plus ambitieux que nous avons réalisé
- Une gestion du travail et une répartition des tâches importante
- Un apprentissage pluridisciplinaire
- Une vision optimiste sur l'avenir du projet

The background of the slide is a photograph of an underwater environment. Sunlight filters down from the surface in bright rays, creating a dappled light effect on the sandy ocean floor. The water is a clear turquoise color.

Merci pour votre attention

The background of the slide is a photograph of the ocean surface from an underwater perspective. The water is a deep teal color, with sunlight filtering down from the surface in bright rays and creating a shimmering effect near the top. Small bubbles and particles are visible against the darker depths below.

Des questions ?