

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahlab Blida 1
Institut d'Aéronautique et des Études
Spatiales



Département Construction Aéronautique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

Master en Aéronautique

Option : Avionique

THEME

**Conception et réalisation d'un modèle d'asservissement
de détection dépressurisation à base d'un
microcontrôleur NXP LPC1768**

Présenté par :

MERDAS INES

BOUDIAR HANNA

Dirigé par :

Mr. MEKARZIA MOHAMED

Mr. SENOUCI HAKIM

IAES

2022 - 2023

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience durant ces longues années d'étude et de pouvoir réaliser et mener à terme ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur soutien, leurs encouragements et pour les sacrifices qu'ils ont fait pour nous.

Nos remerciements s'adressent à notre promoteur Docteur Mekarzia Mohamed, pour son encadrement, sa motivation professionnelle, ses conseils et critiques constructives, ses corrections, ainsi pour le temps qu'il a consacré durant notre préparation de ce mémoire.

Nous souhaitons exprimer également nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre Copromoteur Monsieur Senouci Hakim pour le partage de ses connaissances, sa confiance, son aide pratique, tous ses précieux conseils et ses encouragements, et pour sa disponibilité malgré toutes ses nombreuses occupations.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font, en acceptons d'examiner et juger notre travail.

*Nous n'oublions pas à remercier tout le corps enseignant
qui a contribué à notre formation depuis notre premier
pas à l'université*

*Enfin, nous tenons à remercier tous nos proches et amis,
qui nous ont toujours encouragés au cours de la
réalisation de ce travail. Merci à toutes et à tous.*

Merdas Ines & Boudiar Hanna

DEDICACE

En premier lieu je tiens à remercier le bon Dieu qui m'offre le courage et la volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie.

Je dédie ce travail

À mes chers parents qui sont toujours avec moi

À mes frères et mes sœurs

À toute ma famille

À mes amis, mes collègues et mes connaissances

À tous ceux qui m'ont soutenu dans la vie.

MERDAS INES

DEDICACE

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie a remise de diplôme et ma joie

A mon paradis, a la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié,

Maman

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection à mon support qui était toujours à mes cotes pour me soutenir et m'encourager, à mon prince PAPA.

A mes deux frères.

A mon adorable petite sœur ROUMAISSA qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mes chers amis, mes collègues.

A tout ce qu'on participe à ma réussite et a tous qui m'aimes.

BOUDIAR HANNA

Table des matières

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
RESEME/ ABSTRACT/ملخص	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATIONS	
LISTE DES SYMBOLES	
INTRODUCTION GENERALE.....	14
I. CHAPITRE I : généralités sur la pressurisation et la dépressurisation.....	17
I.1. Introduction.....	17
I.2. La pressurisation au bord d'un avion	17
I.3. Principe de fonctionnement	18
I.4. Défis de la pressurisation	18
I.5. Phénomène de dépressurisation	19
I.6. Types de dépressurisation	19
I.6.1. Dépressurisation explosive	19
I.6.2. Dépressurisation rapide.....	19
I.6.3. Dépressurisation lente / progressive	19
I.7. Risques de la dépressurisation	20
I.8. Cas réels de dépressurisation	21
I.8.1. L'accident de Aloha 243	21
I.8.2. L'accident de Hélios 522	21
I.9. Procédure de sortie de dépressurisation	22
I.10. Conclusion	22
II. Chapitre II : conception du système de pressurisation de BOEING 737	24
II.1 Introduction	24
II.2. Système de contrôle de la pression cabine	24
II.2.1 Panneau de pressurisation cabine	25
II.2.2 régulateur de pression cabine (CPC) :	28
II.2.3. La outflow valve	28
II.3. Système de décharge de pression cabine	29
II.3.1. SOUPAPE DE SURPRESSION NÉGATIVE	29
II.3.2. SOUPAPE DE SURPRESSION POSITIVE.....	30
II.4 Système avertisseur d'altitude cabine.....	31
II.4. La commande de la pressurisation.....	32

II.5.	PROFIL DE VOL EN MODE AUTO.....	33
II.5.1.	L'auto-mode	33
II.5.2	MODE MANUEL	34
II.6	Conclusion :.....	35
III.	CHAP III : Protocoles de communication UART et I2C	37
III.1.	Introduction	37
III.2.	Présentation du protocole UART Universal Asynchronous Receiver/Transmitter	37
III.2.1.	Modes de transmission	37
III.2.2.	Débit de transmission	38
III.2.3.	Format de trame UART.....	39
III.2.4.	ÉTAPES DE LA TRANSMISSION UART	40
III.2.5.	Avantages et inconvénients	42
III.2.6.	Applications courantes de l'UART	42
III.3.	Présentation du protocole INTER-INTEGRATED CIRCUIT I2C.....	43
III.3.1.	Caractéristiques du circuit I2C	43
III.3.2.	Transmission des données.....	44
III.3.3.	Conditions de départ et d'arrêt	44
III.3.4.	Transmission d'un octet.....	45
	45
III.3.5.	Transmission d'une adresse	46
III.3.6.	Lecture d'une donnée.....	46
III.3.7.	Ecriture d'une donnée	46
III.3.8.	Les Avantages	47
III.3.9.	Les inconvénients	47
III.3.10.	Applications	47
III.4.	Conclusion.....	48
IV.	Chapitre IV : Conception matérielle et logicielle.....	50
IV.1.	Introduction	50
IV.2.	Le microcontrôleur NXP LPC1768	50
IV.2.1.	Périphériques.....	51
IV.2.2.	Diagramme des broches ARM MBED	51
IV.2.3.	Avantages du LPC1768	52
IV.3.	Le BMP180	53

IV.3.1. Description :	53
IV.3.2. Configuration de la broche BMP180	53
IV.3.3. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	54
IV.3.4. Utilités de MODULE BMP180	55
IV.3.5. Mesure de la pression et de la température	55
IV.3.6. Applications	56
IV.4. Le module du son vocal JQ6500	57
IV.4.1 Modelés du JQ6500	57
IV.4.2. Caractéristiques du module JQ6500	57
IV.4.3. Configuration des broches du module JQ6500	58
IV.4.5. Schéma de circuit	59
IV.4.6. Fonctionnement du module JQ6500	59
IV.4.7. Applications du module JQ6500	59
IV.5. Conception et réalisation du montage	60
IV.5.1. Brochage et configuration du BMP180	60
IV.5.2. Calcule de l'altitude	62
IV.5.3. Génération des avertissements sonores	62
IV.6. Réaction du montage en cas de la non-détection du capteur de pression (BMP180)	63
IV.7. Présentation du schéma électrique du montage	63
IV.8. Présentation de la plateforme MBED	64
IV.8.1. L'IDE MBED	64
IV.8.2. Programmation sous l'IDE MBED	64
IV.9. Les instructions de base du programme principal	67
IV.10. L'organigramme principal	69
IV.11. Tests et résultats	71
IV.12. Conclusion	75
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	77

RESEME

La dépressurisation de la cabine des avions est un phénomène dangereux sur la sécurité du vol, elle résulte d'une défaillance structurelle, d'un dysfonctionnement du système de pressurisation. Ou d'erreurs humaines.

Pour éviter ce risque, les avions dépassant l'altitude de 10 000 feet doivent être équipés de système de détection de la dépressurisation.

Le but de ce travail est de réaliser un montage électronique d'asservissement de système de détection de la dépressurisation. Cette réalisation est basée sur un microcontrôleur NXP LPC1768 qui utilise un capteur de pression BMP180 pour calculer la pression à bord de la cabine, une fois l'altitude-cabine de l'avion atteint 10000 feet, le module GQ6500 génère des alertes sonores afin d'avertir l'équipage et les passagers du danger de dépressurisation et de la mise en place de masques à oxygène.

Abstract

The depressurization of the aircraft cabin is a dangerous phenomenon on flight safety, it results from a structural failure, a malfunction of the pressurization system. Or human errors.

To avoid this risk, aircraft exceeding an altitude of 10,000 feet must be equipped with a depressurization detection system.

The purpose of this work is to realize an electronic assembly of servo system of detection of the depressurization. This realization is based on an NXP LPC1768 microcontroller which uses a BMP180 pressure sensor to calculate the pressure on board the cabin, once the cabin altitude of the aircraft reaches 10000 feet, the GQ6500 module generates sound alerts in order to Warn crew and passengers of the danger of depressurization and the donning of oxygen masks.

ملخص

يعتبر انخفاض الضغط داخل مقصورة الطائرة ظاهرة خطيرة على سلامة الطيران، وهو ينتج عن عطل هيكلي، خلل في نظام الضغط أو أخطاء بشرية.

لتجنب هذا الخطر، يجب أن تكون الطائرات التي يزيد ارتفاعها عن 10000 قدم مجهزة بنظام الكشف عن انخفاض الضغط داخل المقصورة.

الغرض من هذا العمل هو إنتاج تجميع إلكتروني للتحكم المؤازر في نظام كشف انخفاض الضغط. يعتمد هذا النظام على متحكم NXP LPC1768 ، الذي يستخدم مستشعر ضغط BMP180 لحساب الضغط على متن المقصورة، بمجرد أن يصل ارتفاع المقصورة الى ارتفاع قدره 10000 قدم، يولد GQ6500 تنبيهات صوتية لتحذير الطاقم والركاب من خطر خفض الضغط ولارتداء أقنعة الأكسجين.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : l'accident de Aloha 243.....	21
Figure I.2 : crash de Hélios 522	21
Figure I.3 : masques d'oxygène.....	22
Figure II.1 : panneau de pressurisation cabine.....	25
Figure II.2 : tableau de pressurisation cabine.....	27
Figure II.3 : schéma synoptique de la outflow valve.....	29
Figure II.4 : soupape de surpression négative.....	30
Figure II.5 : soupape de surpression positive.....	30
Figure II.6 : les composants du Système avertisseur d'altitude cabine.....	31
Figure II.7 : panneau d'altitude cabine.....	32
Figure II.8 : schéma synoptique des phases de vol.....	34
Figure III.1 : principe d'une liaison simplex.....	37
Figure III.2 : schéma d'une liaison half-duplex.....	38
Figure III.3 : schéma d'une liaison full-duplex.....	38
Figure III.4 : trame de l'UART.....	39
Figure III.5 : bus de données vers l'UART émetteur.....	40
Figure III.6 : trame de données UART côté Tx.....	40
Figure III.7 : transmission UART.....	40
Figure III.8 : la trame de données UART du côté Rx.....	41
Figure III.9 : réception de l'UART sur le bus de données.....	41
Figure III.10 : Structure d'E/S d'un module I2C	44
Figure III.11 : conditions de départ et d'arrêt.....	44
Figure III.12 : transmission d'un octet.....	45
Figure III.13 : transmission d'octet d'adresse.....	46
Figure III.14 : lecture d'une donnée.....	46
Figure III.15 : Ecriture d'une donnée.....	47

Figure IV.1 : microcontrôleur NXP LPC1768.....	50
Figure IV.2 : configuration des broches de la carte MBED.....	51
Figure IV. 3 : organigramme de mesure BMP180.....	56
Figure IV.4 : configuration de JQ6500-16 pins.....	58
Figure IV.5 : schéma de circuit du JQ6500 16P.....	59
Figure IV. 6 : l'organigramme de la configuration du BMP180 et ses registres.....	61
Figure IV. 7 : schéma électronique du montage.....	63
Figure IV.8 : plateforme MBED.....	64
Figure IV.9 : création d'un compte Arm Keil Studio	65
Figure IV.10 : Keil Studio Cloud.....	65
Figure IV.11 : La boîte de dialogue Nouveau projet.....	65
Figure IV.12 : main cpp.....	66
Figure IV.13 : importation des bibliothèques sur l'IDE MBED	66
Figure IV.14: organigramme principale.....	70
Figure IV.15: montage réalisé.....	71
Figure IV.16: détection du BMP180.....	72
Figure IV.17 : configuration normale de montage.....	73
Figure IV.18: configuration dangereuse « altitude-cabine supérieure ou égale à 10000 feet »	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : mode automatique.....	33
Tableau IV. 1 : broches de la carte MBED.....	52
Tableau IV.2 : Configuration de la broche BMP180.....	54
Tableau IV.3 : broches du module du son vocal JQ6500.....	58

LISTE DES ABREVIATIONS

A

ACK : Acknowledge

AD : Analog Digital

ADC :Analog to Digital Converter

C

CPC: Cabine pressure control

G

GND : Ground

I

I2C : Inter Integrated Circuit

IDE: Integrated development environment

L

LED : Light Emitting Diode

LSB: Least significant bit

M

MSB : Most significant bit

P

P : Pin

PWM : Pulse Width Modulation

R

RAM : Random Access Memory

S

SCL : Serial Clock

SD : Secure Digital

SDA : Serial Data

SPI : Serial Peripheral Interface

T

TWI : Two Wire Interface

U

USB : Universal Serial Bus

LISTE DES SYMBOLES

Ft : Feet

P : Pression mesurée

P0 : Pression au niveau de la mer

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les avions de transport, militaires ou civils, vole à haute altitude pour franchir les obstacles naturels et s'affranchir des phénomènes météorologiques plus fréquents en basse atmosphère. À cette altitude, l'air doit être pressurisé dans l'avion de manière que la pression interne soit suffisamment élevée pour que les passagers puissent respirer.

Une dépressurisation peut se produire en raison d'une défaillance du système de pressurisation, d'une dégradation de la structure du fuselage ou d'erreurs humaines. Une chute de pression, plus ou moins rapide selon la gravité de l'incident, s'effectue alors. La chute de la pression entraîne une carence d'oxygène pour l'être humain, et peut causer des cas d'hypoxie très graves et une perte de conscience.

Afin de remédier à cet inconvénient, un dispositif d'avertissement doit être installé sur l'avion, qui doit génère des alertes sonores à une altitude cabine référentielle, pour avertir l'équipage et les passagers d'un risque mortel.

Pour cela nous avons entrepris ce travail, ayant pour le but de réaliser un système d'asservissement de la dépressurisation au bord d'un avion.

La réalisation de ce projet est basée sur le microcontrôleur NXP LPC1768, le BMP180 prend le rôle d'un capteur de pression, le calculateur mesure l'altitude cabine et la compare avec celle de dépressurisation, une fois cette dernière est atteinte, le montage lance une alerte sonore par le module JQ6500, cette alerte exhorte les passagers et l'équipage à porter les masques d'oxygène.

Pour atteindre notre objectif nous allons organiser notre travail comme suit :

Toute d'abord, dans le premier chapitre nous présentons des généralités sur la pressurisation au bord des avions qui dépassent l'altitude de 10 000 feet, ainsi que le phénomène de dépressurisation, toute en décrivant ses types, ses risques et nous terminons par la procédure de sortie de ce danger, qu'est applicable à tous les types d'aéronefs.

Introduction générale

Dans le second chapitre nous nous intéressons sur le système de pressurisation à bord les avions BOEING 737 NG dépassant 10000 feet, et nous présentons ces différents sous-systèmes, ses composants, ses principes de fonctionnement, les dispositifs d'alerte et les deux modes de commandes.

Dans le troisième chapitre, nous expliquons les protocoles de communication utilisés dans notre réalisation.

Le dernier chapitre, nous présentons le matériel utilisé et ses caractéristiques. Ainsi que la conception et la réalisation pratique et les tests et les résultats.

Et nous finissons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :
Généralités sur
la pressurisation
et la
dépressurisation

I. CHAPITRE I : généralités sur la pressurisation et la dépressurisation

I.1. Introduction

La pressurisation en vol est un processus vital pour la sécurité des passagers et de l'équipage, permet de maintenir une atmosphère respirable dans la cabine malgré l'altitude et la pression extérieure. Cependant, une dépressurisation peut se produire en raison d'une défaillance structurelle, d'un dysfonctionnement du système de pressurisation ou d'une action involontaire de l'équipage. Sur ceux, les effets sur les passagers et l'équipage peuvent être graves.

Dans ce chapitre, nous présentons la pressurisation au bord des avions qui dépassent l'altitude de 10 000 feet ainsi que le phénomène de dépressurisation, tout en décrivant ses types, ses risques et la procédure de sortie de dépressurisation qu'est applicable à tous les types d'aéronefs.

I.2. La pressurisation au bord d'un avion

Pour une altitude supérieure à 3000 mètres/10000 feet, La pressurisation en vol est un élément clé de la sécurité des passagers et de l'équipage, afin de les protéger du risque de problèmes physiologiques causés par une basse pression.

Au niveau du sol, la pression de l'avion est la même qu'à l'extérieur. À mesure que l'avion monte à l'altitude de la croisière, la pression à l'intérieur de la cabine est prévue de diminuer progressivement de l'altitude de l'aéroport d'attache à une pression équivalente à celle qui règne à 2400 mètres /8000 feet. Cette pression est ensuite maintenue pendant que l'avion vole à l'altitude de croisière 10 000 mètres-12 000 mètres. En d'autres termes, lorsque vous voyagez en avion aux 10 000 mètres, dans la cabine, vous ressentez la pression au maximum de 2400 mètres.

A la descente, la pression dans la cabine est augmentée progressivement jusqu'à atteindre la pression ambiante à destination.

La pression maintenue à l'intérieur de la cabine est nommée **l'altitude-cabine**. Cette dernière, est une expression technique définie comme étant l'altitude équivalente en atmosphère standard à laquelle on retrouverait la même pression que dans la cabine. Tel que, altitude-cabine zéro est considéré au niveau de la mer, où la pression est égale à 1013.25 hPa (14.696 psi).

Cependant, altitude-cabine diffère également d'un avion à l'autre. Le Boeing 767, altitude de la cabine est 2100 m/ 6900 ft à une altitude de croisière de 12 000 m/39 000 ft. Les nouveaux avions bénéficient d'altitude de la cabine à des valeurs

inférieures. L'Airbus A380, altitude de la cabine est 1800 m /6000 ft, et chez Boeing, 747, est 1570 m /5100 ft.

Le choix de l'altitude-cabine de référence est une contrainte imposée par le constructeur, résulte d'un compromis entre le confort des passagers et les problèmes structuraux liés à la pression différentielle entre l'intérieur et l'extérieur de la cabine.

Depuis l'année 1996, la FAA « Federal Aviation Administration » a adopté l'amendement 25-87, qui impose de nouvelles réglementations aux avions certifiés pour voler à des altitudes supérieures aux 7600 mètres /25000ft. Les aéronefs sont conçus de manière que les passagers ne soient pas exposés à altitude-cabine supérieur au 4600 mètres après la défaillance du système de pressurisation du 12000 mètres [1].

I.3. Principe de fonctionnement

Le système pneumatique de l'avion aspire l'air compressé des moteurs. Cet air chaud est filtré, refroidi et pressurisé jusqu'à atteindre un niveau acceptable pour notre organisme, Puis, l'injecte dans la cabine entièrement fermée, afin d'augmenter la pression d'air qui circule à l'intérieur.

La pression dans la cabine est régulée par des vannes qui contrôlent l'air (entrant et sortant) de la cabine. Ces vannes contrôlent la quantité d'air qui peut s'écouler de l'intérieur vers l'extérieur pendant toutes les phases de vol.

En fonction du type d'avion, soit les pilotes règlent manuellement la pression désirée dans la cabine, soit des calculateurs effectuent le calcul automatiquement, pour le plus grand confort des passagers [2].

I.4. Défis de la pressurisation

La pressurisation en vol peut être un défi technique, en raison des changements de pression et de température en altitude. Des matériaux de haute technologie et des systèmes sophistiqués sont nécessaires pour maintenir la pression cabine de manière stable et fiable. Des tests rigoureux et des inspections régulières sont également nécessaires pour assurer la sécurité.

I.5. Phénomène de dépressurisation

La dépressurisation en vol est une baisse soudaine de la pression de l'air dans la cabine de l'avion entraînant des risques physiologiques à l'équipage et les passagers.

Une dépressurisation peut se produire en raison de :

- Une défaillance du système de pressurisation ;
- Une dégradation de la structure du fuselage, ;
- Erreurs humaines ;
- Fortes turbulences ;
- Fissures de pare-brise / vitres ;
- Fissures de fuselage.

Il est important de comprendre ces causes pour prévenir la dépressurisation en vol.

I.6. Types de dépressurisation

Il existe 3 types de dépressurisation :

- Explosive.
- Rapide.
- Lente/progressive.

I.6.1. Dépressurisation explosive

Se produit à un rythme d'alerte, généralement en 0.1 à 0.5 seconde. Le risque de traumatisme pulmonaire est très élevé. Les objets non assurés dans le cockpit peuvent devenir des projectiles en raison de la force exercée par l'explosion. Ce sont généralement des accidents mortels.

I.6.2. Dépressurisation rapide

Se déroule en quelques secondes. Le risque de traumatisme pulmonaire est toujours présent mais il est nettement inférieur au taux de dépressurisation explosive.

I.6.3. Dépressurisation lente / progressive

Se déroule pendant une longue période, pouvant aller jusqu'à quelques minutes. Ce type de dépressurisation ne peut être détecté qu'avec des instruments embarqués.

I.7. Risques de la dépressurisation

La dépressurisation en vol peut entraîner des risques physiologiques graves tels que :

- **Problèmes de respiration**

À des basses pressions l'air est moins dense, ce qui signifie que les molécules de gaz comme l'oxygène sont plus éloignées les unes des autres. Pour cela la respiration sera très pénible

- **Hypoxie.**

Si le corps ne reçoit pas assez d'oxygène, cela peut conduire à un état appelé **Hypoxie** ; Vous vous sentirez nauséeux, étourdi et désorienté.

- **Perte de conscience**

Si la dépressurisation à l'intérieur de l'appareil est rapide ou explosive, à 10 000 mètres, le pilote a environ 25 secondes de temps de conscience utile.

Des risques moins graves :

- **Douleur au niveau du tympan**

Perçue en montée ou descente si la variation de pression dans l'oreille interne est plus lente que celle de la cabine.

- **Embolie gazeuse liée à la diminution de la pression**

La consommation de boisson gazeuse peut entraîner des effets de ballonnements par dilatation de la paroi gastrique ou intestinale.

- ❖ L'article sur la médecine aéronautique détaille ces risques qui affectent la santé et la capacité de l'équipage à assurer ses fonctions ainsi que la santé et la sécurité des passagers, d'autant que ces derniers ne bénéficient d'aucun entraînement et peuvent être en mauvaise condition physique. Donc, Il est important de prendre des mesures de sécurité pour éviter les risques.

I.8. Cas réels de dépressurisation

I.8.1. L'accident de Aloha 243

En 1988 au vol Aloha 243, représenté dans la figure I.1, une énorme partie du fuselage de l'avion Boeing 737A a été arraché. Résultat, 65 blessés et une disparue [3].



Figure I.1 : l'accident de Aloha 243

I.8.2. L'accident de Hélios 522

En 2005 au vol Hélios 522, représenté dans la figure I.2, qui relie Larnaca à Athènes, la lente dépressurisation a entraîné une hypoxie chez les passagers et le personnel de cabine. Par conséquent, 121 personnes ont perdu la vie. L'avion a continué sa route tout droit jusqu'à finir en panne du carburant [4].



Figure I.2 : l'accident de Hélios 522

I.9. Procédure de sortie de dépressurisation

Toute dépressurisation se produit à altitude supérieure à 3000 m/10 000 feet, oblige l'appareil à descendre rapidement au-dessous de 2400 mètres /8000 feet où Les pilotes suivent les procédures pour de telle situation.

Dans ce cas les masques à oxygène représentés dans la figure I.3 sont activés, ils tombent devant les sièges passagers. Il y a un masque supplémentaire sur chaque rangée.

L'oxygène a une durée finie de 15 minutes, le temps nécessaire à l'avion pour atteindre l'altitude 2400 mètres où l'air est respirable.

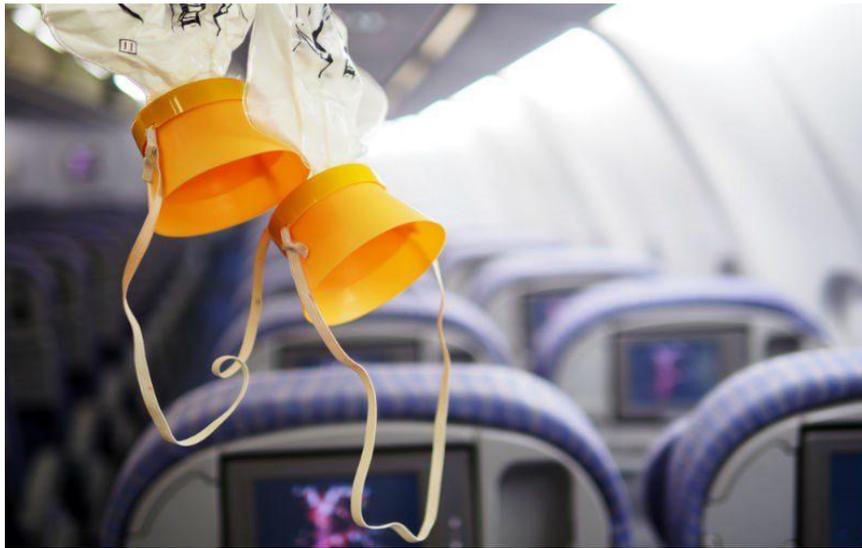


Figure I.3 : masques d'oxygène

I.10. Conclusion

La dépressurisation en vol est un risque important pour la sécurité des passagers et de l'équipage. Les vérifications régulières de la structure de l'avion, l'entretien des systèmes de pressurisation et la formation des équipages sont également des éléments clés pour éviter ce risque. Il est également important de suivre les procédures de sécurité en cas de la dépressurisation de la cabine pour garantir la sécurité en vol.

**Chapitre II :
conception du
système de
pressurisation d
BOEING 737**

II. Chapitre II : conception du système de pressurisation de BOEING 737

II.1 Introduction

Le système de contrôle de la pression cabine du Boeing 737 est utilisé pour contrôler la sortie d'air de la partie pressurisée du fuselage, en vol, afin que l'altitude cabine soit maintenue à un niveau adapté aux passagers et à l'équipage [5].

Sachant que L'avion vole à des altitudes où la densité d'oxygène n'est pas suffisante pour un vol confortable. Le système de contrôle de la pressurisation maintient l'intérieur de la cabine à une altitude sécuritaire.

Notre chapitre est composé de :

- Système de contrôle de la pression cabine ;
- Système de décharge de pression cabine ;
- Système d'avertissement d'altitude cabine.

II.2. Système de contrôle de la pression cabine

Le système de contrôle de la pression cabine contrôle la vitesse à laquelle l'air sort de la cabine, Il maintient la pression dans la cabine dans tous les modes de vol, conformément aux caractéristiques de pressurisation de la cabine de l'aéronef, en contrôlant le débit d'air de la cabine par l'intermédiaire de la soupape de régulation de la pression dans la cabine. Le mouvement de la soupape d'évacuation dépend à son tour du débit d'air provenant de la chambre de commande de la soupape de commande de pression de la cabine, qui est contrôlée par les clapets. Ces vannes sont actionnées par des capsules de pression absolue et de pression différentielle, selon les conditions de vol [6].

Ce système est composé de :

- Panneau de pressurisation de la cabine ;
- Deux contrôleurs numériques de pression cabine (CPC) ;
- Vanne d'évacuation (Outflow valve).

II.2.1 Panneau de pressurisation cabine

Il contient deux parties : le module de contrôle de la pression cabine et le panneau d'altitude cabine

Les deux sont situées sur le P5 panneau supérieur avant, ils permettent à l'équipage de surveiller et de contrôler le système de pressurisation.

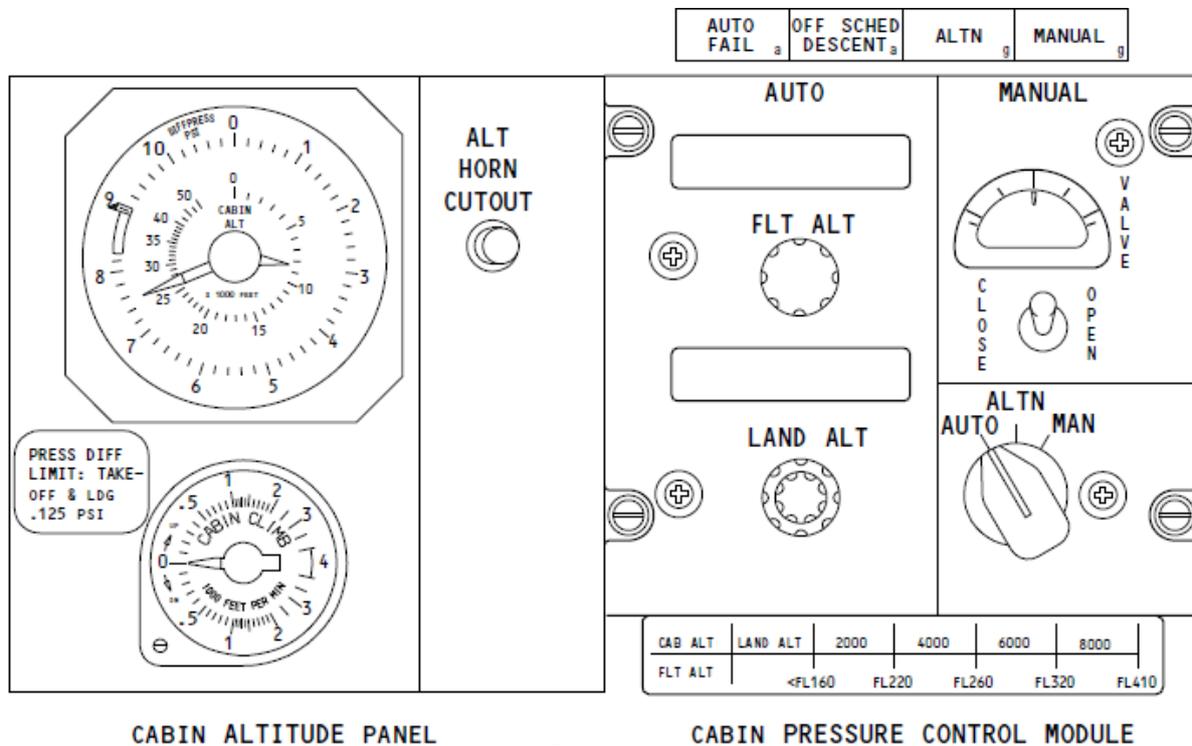


Figure II.1 : Panneau de pressurisation cabine

II.2.1.1 Le module de contrôle de la pression cabine

The cabin pressure control module ce module est composé :

- ❖ Sélecteur de mode : possède les positions suivantes :
 - AUTO
 - ALT - fonctionnement alternatif
 - MAN - utilisation manuelle.
- ❖ Sélecteur LAND ALT altitude d'atterrissage avec affichage, Il maintient l'altitude de croisière de - 1 000 à 14 000 pi, incréments de 50 pieds.
- ❖ Sélecteur FLT ALT altitude de vol avec affichage, règle l'altitude de croisière de -1 000 à 42 000 pi.

- ❖ Commutateur en mode manuel.
- ❖ Indicateur de position de la outflow valve : affiche tous les modes de fonctionnement.
- ❖ Le commutateur de la outflow valve : est un commutateur à bascule à trois positions, à ressort chargé en position neutre. Il contrôle la outflow valve en mode manuel.

Les trois positions du commutateur de vanne de débit :

- close
- Neutral
- Open

Et chaque cas de système a un indicateur accompagné des voyants

❖ **Voyants d'état du système**

- DÉFAILLANCE AUTOMATIQUE appelée défaillance du système, est habituellement contrôlée par le panneau de pressurisation de la cabine.

Si le panneau de pressurisation de la cabine tombe en panne, le voyant AUTO FAIL est commandé par les relais R556, R557 et R558

- OFF SCHED DESCENT c'est déviation du plan de vol : Le voyant OFF SCHED DESCENT est commandé par ces unités :

- CPC 1
- CPC 2

Ces deux derniers appelés régulateurs.

Le CPC allume le voyant OFF SCHED DESCENT lorsqu'un CPC détecte une descente non prévue.

- ALTN mode de fonctionnement : le voyant ALTN est commandé par le module de contrôle de la pression cabine,

Le module de contrôle de la pression cabine allume le voyant ALTN lorsque le CPC de secours est actif.

- MANUEL (mode de fonctionnement) : Le voyant MANUEL est commandé par le panneau de pressurisation de la cabine.

Les CPC sont désactivés et le voyant MANUAL s'allume lorsque le sélecteur est en position MANUAL [5].

II.2.1.2 Panneau d'altitude cabine

Ce panneau est constitué essentiellement de deux indicateurs et un interrupteur :

- Indicateur d'altitude cabine/pression différentielle ;
- Indicateur du taux de montée cabine ;
- Interrupteur ALT HORN CUTOUT.

1- L'indicateur d'altitude cabine et de pression différentielle est relié au système statique auxiliaire. L'aiguille sur l'indicateur indique une différence de pression cabine par incréments de 0,2 psi. L'autre aiguille montre l'altitude cabine par incréments de 1000 feet.

2- L'indicateur du taux de montée détecte les changements de pression à partir d'un port situé à l'arrière de l'indicateur.

Lorsque l'altitude cabine est supérieure à 10 000 feet, l'avertisseur sonore émet un klaxon intermittent et les deux indicateurs d'altitude cabine rouges du tableau de bord du commandant de bord P1-3 et du tableau de bord du copilote P3-1 s'allument.

3 - L'interrupteur ALT HORN CUTOUT sert à arrêter l'alarme sonore intermittente.



Figure II.2 : Tableau de pressurisation cabine

II.2.2 régulateur de pression cabine (CPC) :

Les régulateurs de pression cabine (CPC) contrôlent la pression cabine lorsque le système est en mode AUTO ou ALTN. Il y a deux CPC qui utilisent des circuits numériques.

- Les CPC font partie d'un système double redondant. Ils sont actifs lorsque le système fonctionne en mode AUTO ou ALTN. Une seule CPC actionne la soupape de débit à tout moment. L'autre CPC agit comme une soupape de secours.
- Chaque CPC obtient des données sur l'air des deux unités de référence inertielle (ADIRUs), des données sur le régime moteur des ordinateurs de gestion des décrochages et des amortisseurs de lacet (SMYDCs), et de la logique air-sol de l'unité électronique du commutateur de proximité (PSEU) [5].

II.2.3. La outflow valve

La outflow valve contrôle le débit d'air à l'extérieur du fuselage de l'avion, situé sur la partie inférieure droite du fuselage, sous la porte de service arrière, est composée de :

- Deux moteurs AUTO avec actionneurs électroniques
- Un moteur MANUEL.

Les CPC utilisent des bus de données pour interagir avec les actionneurs électroniques de la vanne. Les actionneurs électroniques conduisent les moteurs automatiques. Les interrupteurs d'altitude de chaque actionneur électronique surpassent les signaux de la CPC et ferment la vanne d'écoulement si l'altitude cabine est supérieure à 14 500 feet. Cette fonction ne fonctionne pas en mode manuel de fonctionnement de la vanne d'écoulement [6].

En mode manuel, le pilote utilise le commutateur à bascule du module de commande pour actionner la vanne d'écoulement. Le moteur manuel n'a pas d'actionneur électronique et pas de interrupteur à pression.

La vanne de débit d'échappement fournit une rétroaction de position à ces unités :

- Deux CPC
- Panneau supérieur avant P5.

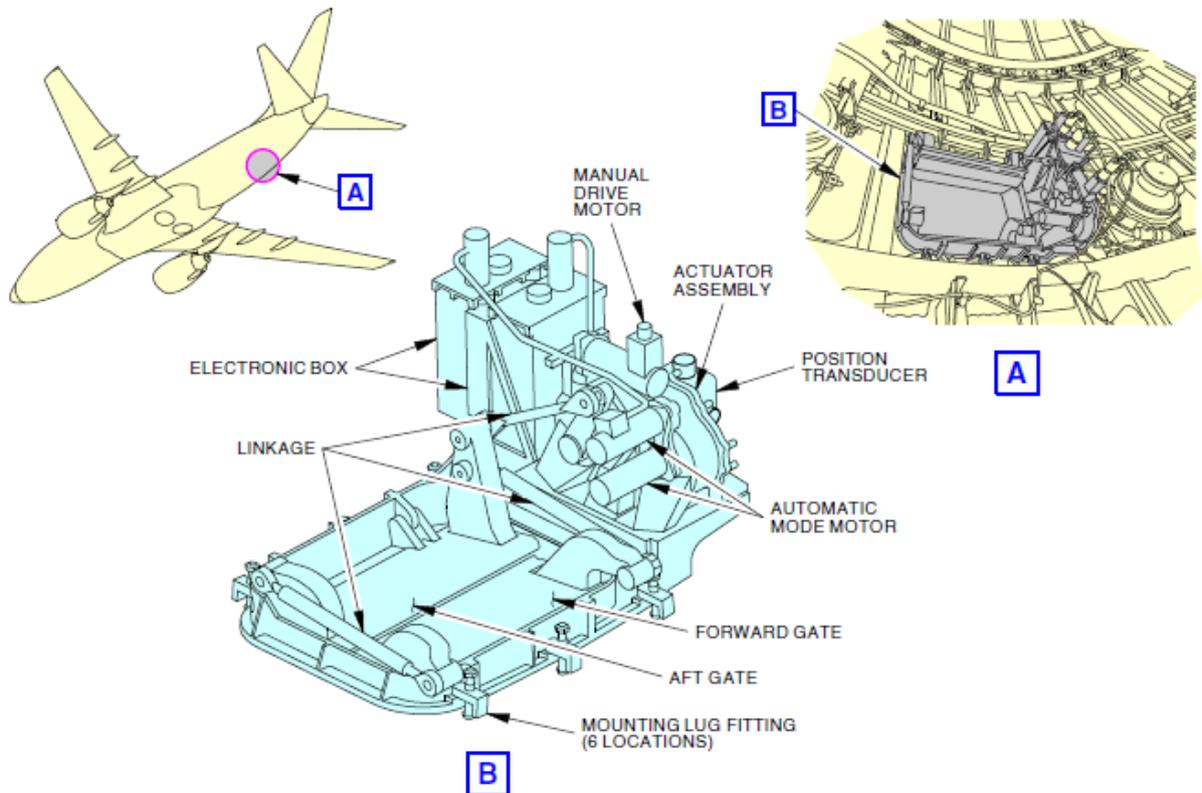


Figure II.3 : schéma synoptique de la outflow valve.

II.3. Système de décharge de pression cabine

Le système de décharge de pression cabine est un système à sécurité intégrée. Il protège la structure de l'avion contre la surpression et la pression négative en cas de défaillance du système de contrôle de la pressurisation, situé au-dessus et en dessous de la vanne d'évacuation principale.

Le système de décharge de pression cabine comporte deux genres de soupape :

- Deux soupapes de surpression positives ;
- Soupape de surpression négative.

II.3.1. SOUPAPE DE SURPRESSION NÉGATIVE

- La soupape de décharge de pression négative est un dispositif mécanique et fonctionne indépendamment. Il ne nécessite aucune intervention de l'équipage.
- La soupape de surpression négative est une soupape à clapet. La dernière de la soupape sur son bord supérieur s'ouvre vers l'intérieur. Un ressort sur son axe maintient la vanne fermée.

- La pression différentielle négative entre la cabine et l'air ambiant ouvre la vanne. S'ouvre lorsque la pression à l'extérieur de l'avion est de 1,0 psi supérieur à la pression à l'intérieur de l'avion (-1,0 psi).



Figure II.4 : soupape de SURPRESSION NÉGATIVE

II.3.2. SOUPE DE SURPRESSION POSITIVE

- Les soupapes de décharge positive sont actionnées pneumatiquement par une pression différentielle cabine-air. Ils contrôlent la pression à une valeur nominale de 8,95 +/- 0,15 psi de plus que la pression ambiante.
- Lorsque la pression différentielle est trop élevée, la soupape s'ouvre. La soupape ouverte libère de l'air de l'avion. Cela réduit la pression dans la cabine. Lorsque la pression cabine-air est sûre, la vanne se ferme.

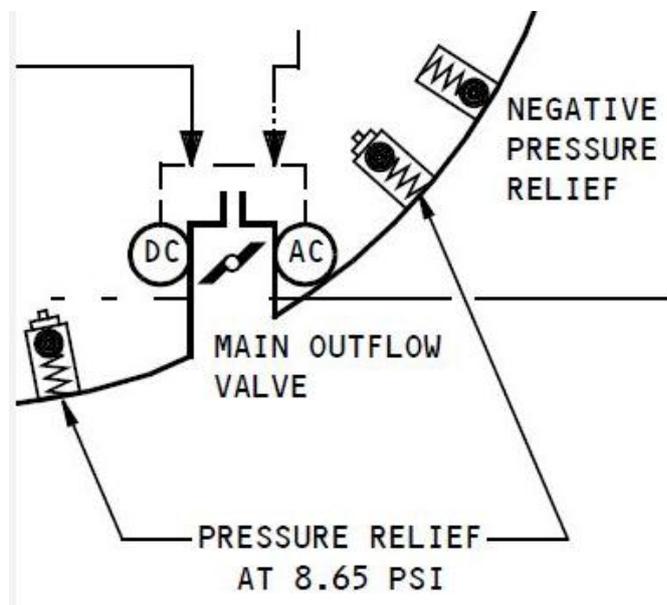


Figure II.5 : SOUPE DE SURPRESSION POSITIVE

II.4 Système avertisseur d'altitude cabine

Le système d'avertissement d'altitude cabine c'est un indicateur de données sur l'altitude cabine. Le klaxon retentit lorsque l'altitude cabine dépasse 10000 feet. C'est un klaxon intermittent qui sonne comme le klaxon de configuration de décollage. Il peut être inhibé en appuyant sur le bouton ALT HORN CUTOUT. Les masques à oxygène ne chuteront pas avant une altitude cabine de 14 000 feet, même s'ils peuvent être largués manuellement à tout moment.

Ce système comporte les éléments suivants :

- **Module d'avertissement sonore** : fournir un dispositif mécanique à sécurité intégrée qui émet des sons et des cloches forts, clairs et concis pour indiquer à l'équipage de conduite qu'il existe un problème. Les alarmes sonores s'activent à l'unisson avec les voyants d'avertissement.
- **Commutateur d'avertissement d'altitude cabine** : Les commutateurs d'avertissement d'altitude cabine S128 et S1153 sont fonctionnellement identiques, mais les deux commutateurs peuvent se fermer entre 9000 et 11000 feet d'altitude cabine. Les deux commutateurs offrent un facteur de sécurité accru avec leur redondance.

Lorsqu'il est sous tension, le circuit d'avertissement d'altitude cabine provoque un klaxon intermittent de l'avertisseur sonore et fait s'allumer les deux indicateurs d'altitude CABIN rouges du tableau de bord du commandant de bord P1-3 et du tableau de bord du copilote P3-1.

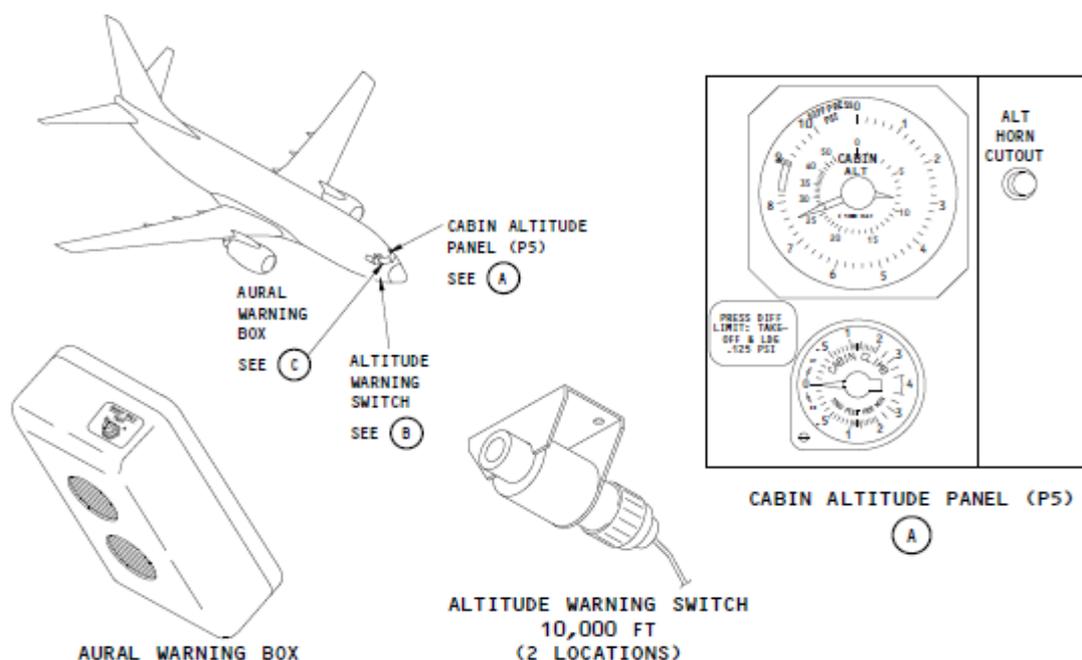


Figure II.6 : les composants du Système avertisseur d'altitude cabine



Figure II.7 : Panneau d'altitude cabine

II.4. La commande de la pressurisation

Le contrôle de la pressurisation de la cabine est basé sur les pressions différentielles et les taux de montée/descente de la cabine que l'équipage fournit via le CPC, la commande de cette pressurisation peut être automatique ou manuelle.

Le mode automatique AUTO du système de contrôle de pressurisation maintient l'avion sous pression pour toutes les phases du vol, il a une double architecture redondante.

Les deux CPC sont identiques. Les connexions des goupilles de rack identifient les contrôleurs comme CPC 1 et CPC 2. Chaque CPC a sa propre interface le moteur de vanne. Une seule CPC contrôle la vanne de débit à tout moment. L'autre CPC est une soupape de secours, Le contrôleur actif change pour chaque vol ou lorsqu'il y a un événement automatique.

Le mode de commande manuel surpasse et contourne les deux CPC. Le système de commande manuelle a son propre système de moteur de soupape. Cela donne au système de contrôle de pressurisation une architecture triple redondante.

II.5. PROFIL DE VOL EN MODE AUTO

II.5.1. L'auto-mode

Le mode automatique AUTO ou ALTN du système de pressurisation contrôle la pression de l'avion pour toutes les phases du vol, le tableau suivant résume ces derniers :

Les phases de vol	l'état du système
Ground	Lorsque l'avion est au sol, pas pressurisation la vanne de débit est ouverte.
Takeoff	Pendant la phase de décollage, le système pressurise la cabine à 0,1 psid sous l'élévation du champ. Cela entraîne augmentation de pression momentanée lors de la rotation de l'avion. Le taux maximal de changement de pressurisation de la cabine est de 350 slfpm.
Climb	Lorsque le système air/sol indique que les trains d'atterrissage gauche et droit sont dans les airs et que la vitesse calculée est supérieure à 100 nœuds, début de la phase de montée. Le taux de changement maximal de la pressurisation de la cabine pour la dépressurisation est de 600 slfpm.
Cruise	la pression externe de l'avion diminue à moins de 0,25 lb/po2 du FLT Sélection ALT altitude de croisière, le début de la phase de croisière.
Descent	la pression extérieure de l'avion augmente à 0,25 psi de plus que la sélection FLT ALT, la phase de descente commence.
Landing	les exigences relatives à la phase au sol sont respectées, le système dépressurise la cabine à un taux de 500 slfpm. La vanne d'écoulement s'ouvre pour laisser la dépressurisation se produire.

Tableau II.1 : mode automatique

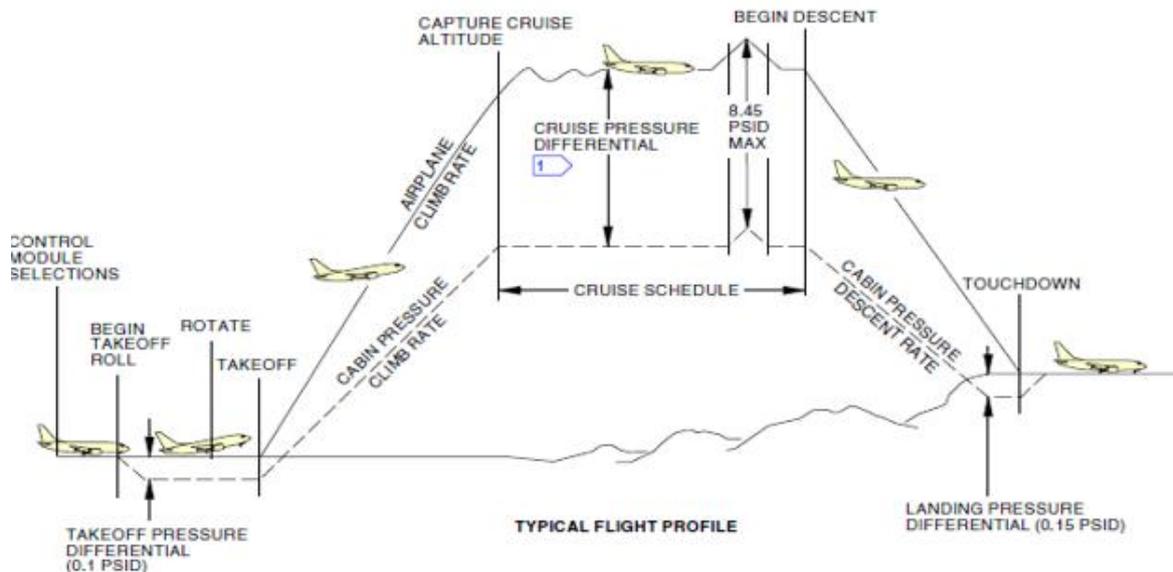


Figure II.8 : schéma synoptique des phases de vol

II.5.2 MODE MANUEL

Ce mode permet à l'équipage de conduite et de contrôler directement la soupape d'évacuation.

Lorsque le sélecteur de mode est en position MANUAL :

- Les systèmes de commande automatique sont désarmés
- Bras de commutation de la vanne de sortie du panneau de pressurisation de la cabine
- Le voyant vert MANUEL du système s'allume.
- Le commutateur de la outflow valve est à ressort en position neutre.

Les signaux provenant du commutateur de la outflow valve actionnent au moteur manuel de l'ensemble de vanne de débit sortant. Lorsque l'interrupteur est maintenu en position CLOSE, le moteur ferme la vanne. Lorsque l'interrupteur est maintenu en position OPEN, le moteur ouvre la vanne.

Le transducteur de position sur l'ensemble de vanne de débit sortant fournit une rétroaction de position de vanne à l'indicateur de position de vanne de débit sortant.

II.6 Conclusion :

La pressurisation en vol est un élément clé de la sécurité des passagers et de l'équipage. Bien qu'elle soit un défi technique, l'industrie de l'aviation a mis en place des normes strictes pour garantir la sécurité des vols. Les passagers peuvent profiter d'un vol confortable et sûr grâce à la pressurisation en vol.

Chapitre III :
Protocoles de
communication
UART et I2C

III. CHAP III : Protocoles de communication UART et I2C

III.1. Introduction

La transmission des données entre différents appareils électriques nécessite du protocole de communication.

Dans ce chapitre, nous abordons les bases des deux protocoles les plus courants que nous avons utilisés dans notre montage électronique ; l'I2C « communication pilotée par circuit intégré » et l'UART « récepteur/émetteur asynchrone universel ».

III.2. Présentation du protocole UART Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

UART est l'abréviation de récepteur/émetteur asynchrone universel. Il s'agit d'un protocole de communication série asynchrone largement utilisé dans l'industrie électronique.

L'UART permet la transmission de données entre deux appareils électroniques en utilisant seulement deux fils, ce qui le rend efficace et économique.

III.2.1. Modes de transmission

Il existe trois modes de transmission :

- Simplex
- Half-duplex
- Full-duplex

- **Simplex** : c'est un mode de transmission unidirectionnel.

Cette liaison est moins utilisée car elle n'offre pas beaucoup de possibilité, elle ne permet que la transmission dans un seul sens (figure III.1).

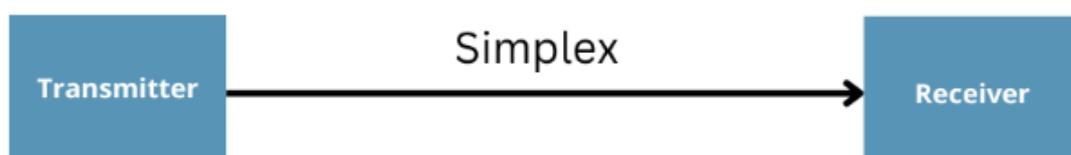


Figure III.1 : principe d'une liaison simplexe

Half-duplex : mode de transmission bidirectionnel, mais un seul dispositif peut émettre à la fois. Elle est également moins utilisée (Figure III.2).



Figure III.2 : schéma d'une liaison half-duplex

Full-duplex : mode de transmission bidirectionnel, les deux dispositifs peuvent émettre au même temps (figure III.3) [7].

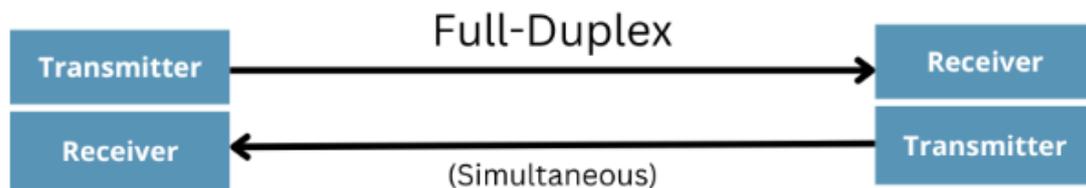


Figure III.3 : schéma d'une liaison full-duplex

III.2.2. Débit de transmission

Le débit de transmission est mesuré en bauds et correspond au nombre de bits envoyés par seconde.

Les débits de transmission les plus courants sont de 9600 bauds, 19200 bauds et 115200 bauds.

Un débit de 9600 bauds signifie qu'un appareil peut envoyer jusqu'à 9600 bits par seconde.

Pour l'UART et la plupart des autres communications série, le débit en bauds doit être le même sur les appareils émetteur et récepteur.

III.2.3. Format de trame UART

Les données UART transmises sont organisées en trames. Comme la montre la figure III.4, chaque trame contient 1 bit de départ, 5 à 9 bits de données, un bit de parité optionnel et 1 ou 2 bits d'arrêt.



Figure III.4 : trame de l'UART

START BIT : c'est un bit de démarrage, correspondant à un état bas forcé.

Au repos, la ligne de transmission de données est maintenue à l'état logique haut. Pour indiquer qu'un mot va être transmis, la ligne passe à l'état bas avant de commencer le transfert.

Lorsque l'UART récepteur détecte la transition logique de haut à bas, il commence à lire les bits de la trame de données à la fréquence du débit en bauds.

DATA FRAME : appelé trame de données, contient les données réelles transférées.

Il peut être long de 5 bits jusqu'à 8 bits si un bit de parité est utilisé, si aucun bit de parité n'est utilisé, la trame de données peut avoir une longueur de 9 bits.

Ces bits sont envoyés du bit le moins significatif LSB au bit le plus significatif MSB.

PARITY BIT : une trame UART peut également contenir un bit de parité optionnel, utilisé pour la détection d'erreur. La valeur du bit de parité dépend du type de parité utilisé paire ou impaire.

- **Parité paire** : ce bit est réglé de manière que le nombre de bits à 1 dans la trame sera pair.
- **Parité impaire** : ce bit est réglé de manière que le nombre de bits à 1 dans la trame sera impair [8].

STOP BITS : correspondant à un état haut forcé, pour signaler la fin de trame de données.

L'UART émetteur fait passer la ligne de transmission de données à l'état haut pendant une durée d'un à deux bits.

III.2.4. ÉTAPES DE LA TRANSMISSION UART

La transmission des données passe par les étapes suivantes :

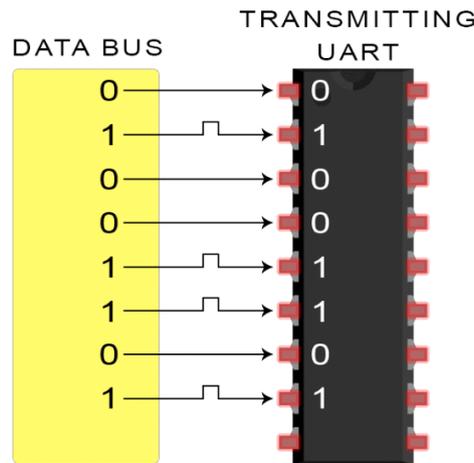


Figure III.5 : bus de données vers l'UART émetteur

1. L'UART émetteur reçoit des données en parallèle du bus de données.

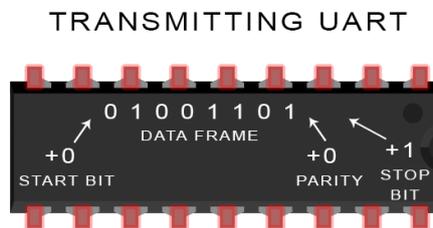


Figure III.6 : trame de données UART côté Tx

2. L'UART émetteur ajoute le bit de démarrage, le bit de parité et le(s) bit(s) d'arrêt à la trame de données.

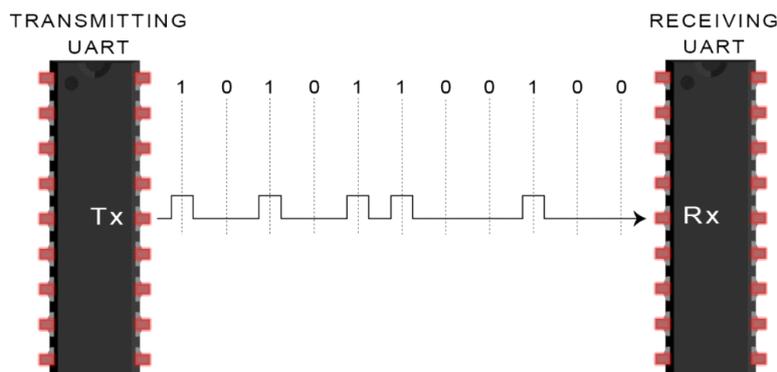


Figure III.7 : transmission UART

3. La trame est envoyée en série de l'UART émetteur à l'UART récepteur.
L'UART récepteur échantillonne la ligne de données au débit en bauds.

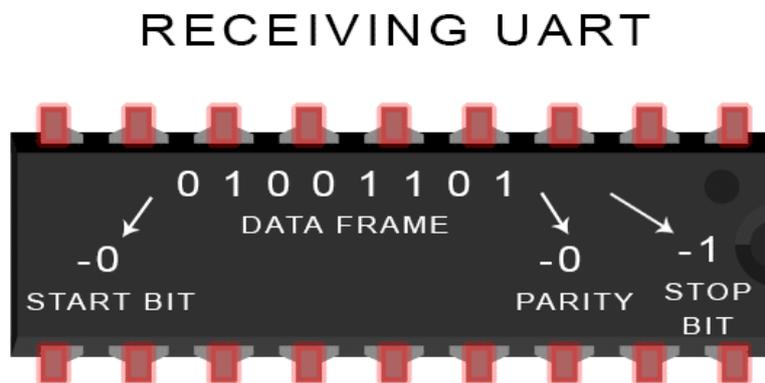


Figure III.8 : la trame de données UART du côté Rx

4. L'UART récepteur supprime le bit de démarrage, le bit de parité et le(s) bit(s) d'arrêt de la trame de données.

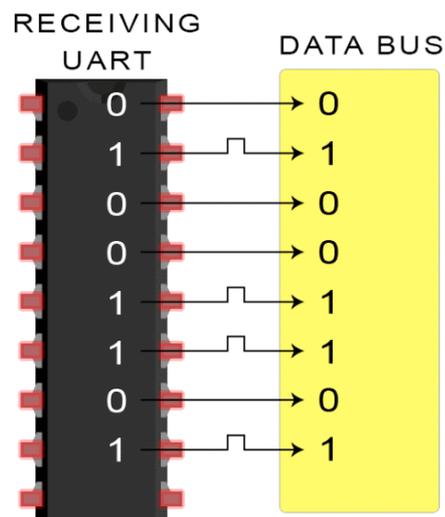


Figure III.9 : réception de l'UART sur le bus de données

5. L'UART récepteur reconvertit les données série en parallèle et les transfère au bus de données côté réception [9].

III.2.5. Avantages et inconvénients

Le protocole UART présente plusieurs avantages et quelques inconvénients.

III.2.5.1. Avantages

- Facilité de mise en œuvre ;
- Compatible avec de nombreux composants électroniques ;
- Nécessite que deux fils pour la communication ;
- Protocole asynchrone ;
- Vérification des erreurs à l'aide de bit de parité ;
- Faible cout ;
- Utilisation pour la communication à haute vitesse et à longue distance, peut atteindre 15 mètres.

III.2.5.2. Inconvénients

- Communication entre deux appareils seulement, utilisation très réduite des systèmes maîtres et esclaves ;
- La taille de la trame de données est limitée à 9 bits ;
- Les appareils doivent être sur le même débit en bauds ;
- N'est pas adéquat aux applications nécessitant des taux de transmission de données plus élevés.

III.2.6. Applications courantes de l'UART

L'UART est utilisé dans de nombreuses applications électroniques, telles que :

- Les modems ;
- Les imprimantes ;
- Les capteurs ;
- Les contrôleurs de moteur ;
- Les dispositifs de mesure ;
- Les systèmes embarqués, pour la communication entre microcontrôleurs, et la programmation de ces derniers.

III.3. Présentation du protocole INTER-INTEGRATED CIRCUIT I2C

Le sigle signifie Inter Integrated Circuit ce qui donne IIC et par contraction I2C. Le bus I2C a été inventé pour simplifier la communication entre des composants, initialement proposé par Philips mais adopté de nos jours par de très nombreux fabricants. C'est un bus de communication de type série synchrone. Ce bus est parfois nommé sous le nom de TWI (Two Wire Interface). Il permet de communiquer sur 3 fils :

- Signal de donnée : SDA Serial Data
- Signal d'horloge: SCL Serial Clock
- Signal de référence électrique : masse de périphérique.

Ceci permet de réaliser des équipements ayant des fonctionnalités très puissantes, accompagné d'un circuit imprimé très simple, par rapport un schéma classique (8bits de données, 16 bits d'adresse+ Les bits de contrôle).

Les données sont transmises en série à 100Kbits/s en mode standard et jusqu'à 400Kbits/s en mode rapide. Le nombre de composants qu'il est ainsi possible de relier est essentiellement limité par la charge capacitive des lignes SDA et SCL 400 pF. [10]

III.3.1. Caractéristiques du circuit I2C

Les deux lignes de bus SDA et SCL, sont bidirectionnelles. Elles sont toujours maintenues au niveau haut par une résistance appelée pull-up. Les deux lignes se trouvent donc au niveau haut quand le bus est libre. Les circuits connectés au bus doivent avoir une interface à collecteur ouvert pour les bipolaires. Cette configuration permet à un circuit quelconque de ramener à la masse le niveau d'une ligne, pour réaliser la fonction câble figure2. Le débit maximal dans la version standard du bus I2C est de 100kilobits par seconde, une extension du protocole, il peut atteindre 400 kbits par seconde. Le nombre de points de connexion n'est limité que par la capacité maximale de 400 PF sur le bus [11].

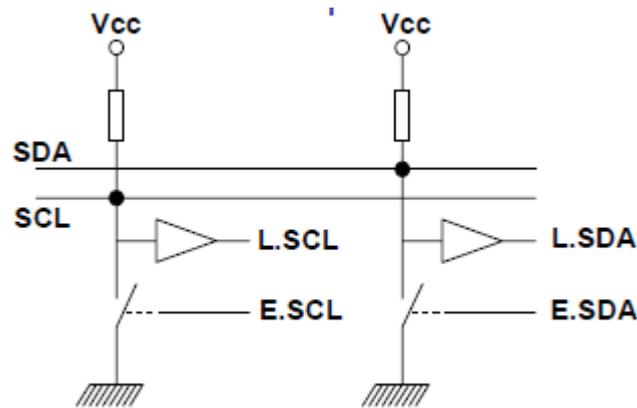


Figure III.10 : Structure d'E/S d'un module I2C

III.3.2. Transmission des données

La transmission de mots de données suppose la transmission des bits, l'un après l'autre puisque le bus est de type sériel. La transmission des bits est prise en charge par une couche appropriée du Protocol I2C. Le niveau d'un bit et celui de la ligne SDA. La ligne SCL fonctionne comme l'horloge sérielle d'un registre à décalage. Certaines combinaisons particulières de niveau de fronts déterminent la condition de départ et la condition d'arrêt. Ces conditions permettent de donner le signal du début et de la fin des transmissions au moyen des deux lignes disponibles [11].

III.3.3. Conditions de départ et d'arrêt

Les conditions de départ et d'arrêt sont définies par des transitions sur la ligne de données SDA alors que la ligne d'horloge SCL est au niveau haut, un front descendant marque une condition de départ, un front montant marque une condition d'arrêt, comme le montre la figure [13].

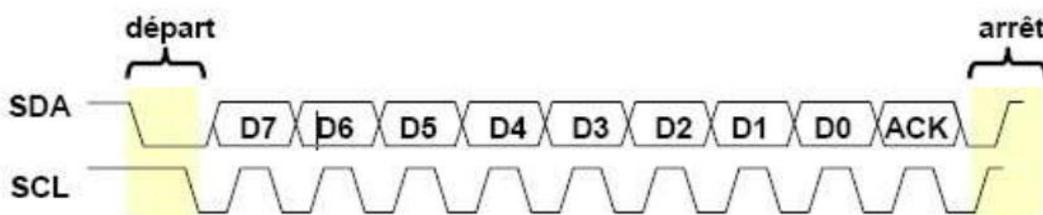


Figure III.11 : conditions de départ et d'arrêt

La spécification du bus prévoit que les conditions de départ et d'arrêt peuvent survenir à n'importe quel moment pendant un transfert. C'est souvent le cas des reconstitutions purement logicielles du protocole avec un microcontrôleur.

Après une condition de départ le bus est occupé. Aucun autre maître que celui qui a émis cette condition de départ n'est autorisée à émettre une condition d'arrêt. Après l'émission de la condition d'arrêt, le bus est libre. Le protocole comporte une autre particularité la condition d'un autre départ. Cette procédure met fin à une transmission, non pas par une condition d'arrêt, mais par le début immédiat d'une nouvelle transmission. Elle représente un certain gain de temps, toujours appréciable sur un bus sériel [13].

III.3.4. Transmission d'un octet

Après avoir imposé la condition de départ, le maître applique sur SDA le bit de Poids fort D7. Il valide ensuite la donnée en appliquant pendant un instant un niveau '1' sur la ligne SCL. Lorsque SCL revient à '0', il recommence l'opération jusqu'à ce que l'octet complet soit transmis. Il envoie alors un bit ACK à '1'. L'esclave doit alors imposer un niveau '0' pour signaler au maître que la transmission s'est effectuée correctement. Les sorties de chacun étant à collecteurs ouverts, le maître voit le '0' [10].

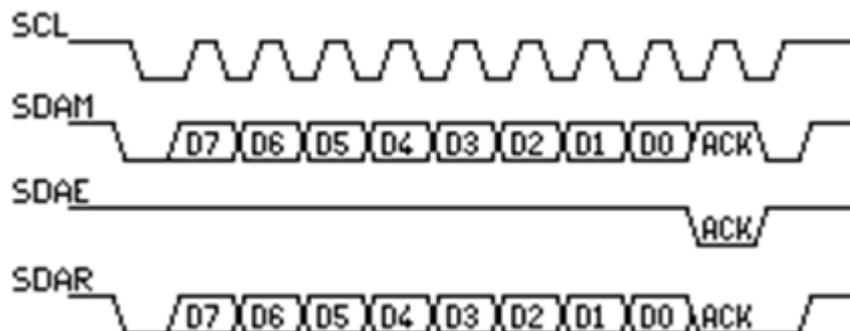


Figure III.12 : transmission d'un octet

SCL : Horloge imposée par le maître ;

SDAM : Niveaux de SDA imposés par le maître ;

SDAE : Niveaux de SDA imposés par l'esclave ;

SDAR : Niveaux de SDA résultants réels.

III.3.5. Transmission d'une adresse

Le nombre de composants qu'il est possible de connecter sur un bus I2C étant largement supérieur à deux, il est nécessaire de définir pour chacun une adresse unique. L'adresse d'un circuit, codée sur sept bits, est définie d'une part par son type et d'autre part par l'état appliqué à un certain nombre de ces broches. Cette adresse est transmise sous la forme d'un octet au format particulier .

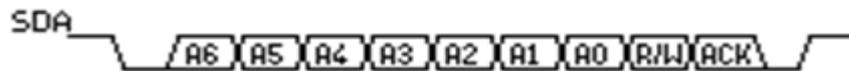


Figure III.13 : transmission d'octet d'adresse

On remarque ici que les bits D7 à D1 représentent les adresse A6 à A0, et que le bit D0 et remplacé par le bit de R/W qui permet au maître de signaler d'une lecture ou écriture.

III.3.6. Lecture d'une donnée

La lecture d'une donnée par le maître se caractérise par l'utilisation spéciale faite par bit ACK. Après la lecture d'un octet, le maître positionne ACK à '0' s'il veut lire la donnée suivante cas d'une mémoire par exemple, ou à '1' le cas échéant. Il envoie alors la condition d'arrêt

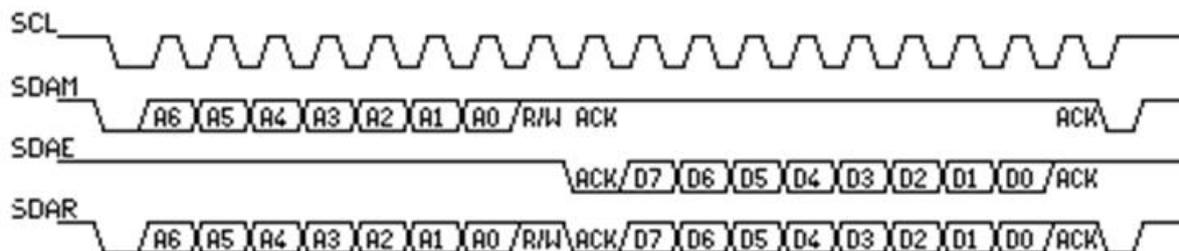


Figure III.14 : lecture d'une donnée

III.3.7. Ecriture d'une donnée

L'écriture d'une donnée se fait par la méthode suivante :

- Envoie l'adresse d'esclave ;
- Mode écriture (R/W à 0) ;
- L'accusé de la réception d'adresse (ACK) ;
- Envoie de la donnée ;
- L'accusé de la réception de la donnée (ACK).

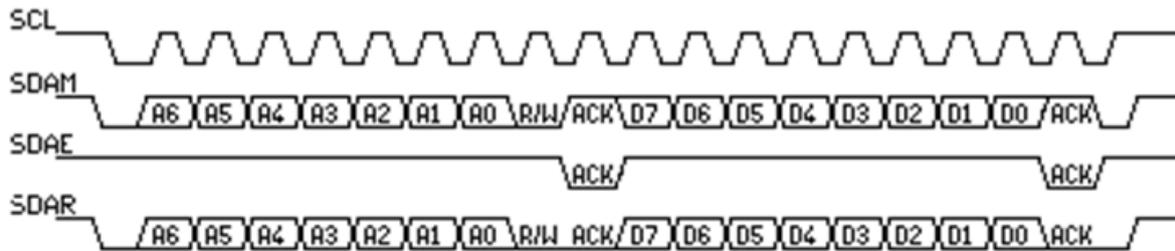


Figure III.15 : Ecriture d'une donnée

L'écriture d'un octet dans un microcontrôleur atteint un temps considérable, Il est donc possible que le maître atteigne l'acquittement ACK avant de passer à l'autre action.

III.3.8. Les Avantages

Le protocole de communication I2C présente des avantages par rapport aux autres protocoles et quelques inconvénients :

- Taux de transmission de données important.
- Longue distance de communication par rapport à SPI.
- Indépendance d'adresse pour chaque périphérique.
- Les appareils ont une relation primaire/secondaire simple.
- Nécessité que deux lignes de signal.

Capable de gérer plusieurs communications primaires en fournissant un arbitrage et une détection de collision de communication [12].

III.3.9. Les inconvénients

- La complexité matérielle augmente lorsque le nombre de périphériques maître/esclave est plus élevé dans le circuit,
- un mode de communication est semi-duplex,
- Le protocole est géré par la pile logicielle software stack, Cela augmente le cout de traitement sur les μP et μC .

III.3.10. Applications

I2C est une excellente option pour les applications qui nécessitent une mise en œuvre simple et peu coûteuse plutôt qu'une vitesse élevée. Par exemple, les utilisations courantes du protocole de communication I2C incluent :

- Lecture de certains circuits intégrés de mémoire. Accéder aux DAC et aux ADC.
- Transmettre et contrôler les actions dirigées par l'utilisateur.
- Lecture des capteurs matériels.
- Communication avec plusieurs microcontrôleurs.

III.4. Conclusion

Les protocoles de communication I2C et UART sont deux normes importantes pour la transmission de données entre différents périphériques électroniques.

Le protocole I2C est synchrone et permet à plusieurs périphériques de communiquer avec un seul microcontrôleur en utilisant deux fils seulement, tandis que le protocole UART est asynchrone nécessite un fil séparé pour chaque périphérique connecté au microcontrôleur.

Ces protocoles sont largement utilisés dans l'industrie électronique pour la communication entre différents périphériques et ils ont des applications variées. Il est important de comprendre les spécificités de chaque protocole pour une application adéquate

Chapitre IV :
Conception
matérielle et
logicielle

IV. Chapitre IV : Conception matérielle et logicielle

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différents composants électroniques de notre montage qui sont :

- Le microcontrôleur LPC1768 ;
- Le capteur BMP180 ;
- Le module de son vocal JQ6500.

En expliquant leurs caractéristiques et leurs principes de fonctionnement.

Dans la suite de ce chapitre nous allons présenter les différentes étapes de la conception et la réalisation, le schéma électronique du montage, la réaction du montage en cas de la non-détection du capteur BMP180, comme nous allons présenter les notions de bases de la programmation sous l'IDE MBED que nous avons utilisé, l'organigramme de configuration du BMP180 et ses registres, ainsi que l'organigramme principale et en fin tests et résultats de notre calculateur.

IV.2. Le microcontrôleur NXP LPC1768

Le microcontrôleur NXP LPC 1768 de ARM cortex-M3 représenté sur la figure IV.1, est basé sur le processeur 32 bits, a une fréquence de 96 MHz, comprends 512 Ko de mémoire flash et 64 Ko de RAM, et possède des connecteurs qui lui permettent d'être installée facilement sur des plaques de prototypage rapide sans soudure.

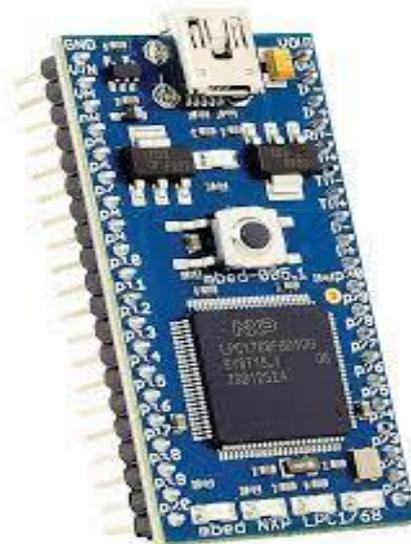


Figure IV.1 : microcontrôleur NXP LPC1768

Le microcontrôleur NXP LPC1768 est utilisée dans plusieurs domaines tel que :

- ✓ La robotique ;
- ✓ Le contrôle ;
- ✓ La télécommunication ;
- ✓ L'industrie Automobile [13].

IV.2.1. Périphériques

L'une des principales caractéristiques du LPC1768 est son riche ensemble de périphériques, notamment :

UART, SPI, I2C, CAN, USB, PWM.

Ces périphériques facilitent l'interface avec d'autres appareils.

IV.2.2. Diagramme des broches ARM MBED

Le schéma de la figure IV.2 montre le schéma de brochage complet du microcontrôleur LPC1768. Les broches numérotées p5 à p30 peuvent être utilisées comme interfaces DigitalIn (entrée numérique) et DigitalOut (sortie numérique).

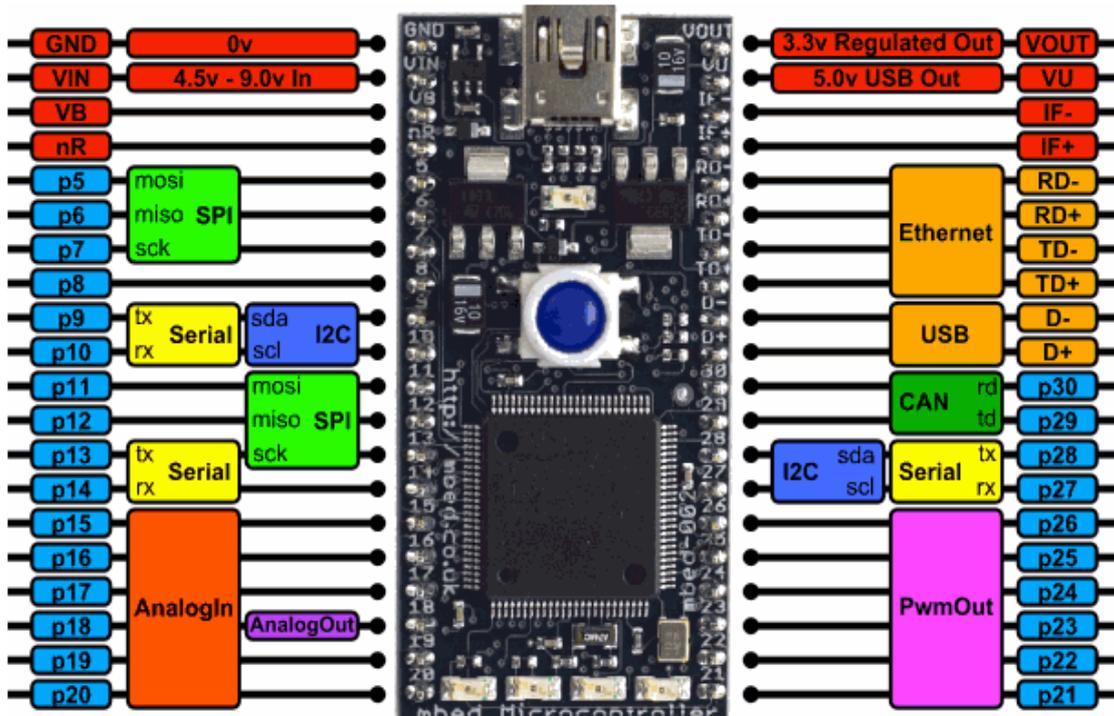


Figure IV.2 : configuration des broches de la carte MBED

Le tableau IV.1 explique l'intégralité de ces broches et leurs fonctionnements :

Fonction	Couleur	Description
Alimentation	Rouge	<ul style="list-style-type: none"> • Connexion USB • Alimentation séparée-reliée aux broches GND et Vin. • Dotée d'un régulateur de tension intégré (3.3V et 5V).
Numérique	Bleu clair	<ul style="list-style-type: none"> • Ces broches reconnaissent en tant qu'entrées ou délivrent en tant que sorties des tensions de 3.3V ou 0V.
SPI	Vert clair	<ul style="list-style-type: none"> • Un protocole de communication avec d'autres composants. • Possède deux ports SPI distincts.
Série	Jaune clair	<ul style="list-style-type: none"> • Protocole de communication avec d'autres composants. • Possède trois ports série distincts.
I2C	Bleu foncé	<ul style="list-style-type: none"> • Protocole de communication avec d'autres composants. • Deux ports I2C.
AnalogIn	Orange foncé	<ul style="list-style-type: none"> • Ces broches lisent toute tension (0V et 3.3V) et la convertissent en valeur numérique (0 et 1). • Possède six de ces broches, dont l'une d'entre elle est utilisée comme AnalogOut.
AnalogOut	Violet foncé	<ul style="list-style-type: none"> • Délivre une tension (0 et 3.3V). • La carte possède une seule broche.
PwmOut	Violet clair	<ul style="list-style-type: none"> • Délivrent un signal qui contrôle la vitesse de servomoteur.
CAN	Vert foncé	<ul style="list-style-type: none"> • Un protocole de communication avec d'autres composants. • Un port CAN.
Ethernet	Orange clair	<ul style="list-style-type: none"> • Protocole de réseau servant à relier entre eux des ordinateurs.

Tableau IV. 1 : broches de la carte MBED [14]

IV.2.3. Avantages du LPC1768

Nous citons les avantages du LPC1768 :

- Faible consommation d'énergie ;
- Haute performance ;
- Grande flexibilité ;
- Mise en œuvre simple ;
- Compatibilité avec de nombreux outils de développement ;
- Grande fiabilité.

Ces avantages font un choix idéal pour de nombreuses applications.

IV.3. Le BMP180

Le BMP180 est un capteur de la série BMP XXX. il est conçu pour mesurer la pression barométrique ou la pression atmosphérique. Ce BMP180 est un capteur de haute précision conçu pour les applications grand public. La Pression est affichée à la sortie numérique, ce dernier est compagne d'un capteur de température [15].

IV.3.1.Description :

Le BMP180 est le successeur compatible du BMP085, une nouvelle génération de capteurs de pression numériques de haute précision pour les applications grand public.

BMP180 à très faible puissance et basse tension est optimisé pour une utilisation dans les téléphones mobiles, les PDA, les appareils de navigation GPS et les équipements extérieurs. Avec un bruit de basse altitude de seulement 0,25 m au temps de conversion rapide, ce module offre des performances supérieures.

Ce dernier est basé sur la technologie piézo-résistive pour la haute précision et la linéarité ainsi que la stabilité à long terme.

Robert Bosch est le leader mondial des capteurs de pression dans les applications automobiles. Basé sur l'expérience de plus de 400 millions de capteurs de pression sur le terrain, le BMP180 poursuit une nouvelle génération de capteurs de pression micro-usinés.

IV.3.2. Configuration de la broche BMP180

Le BMP180 est disponible en deux modules. L'un est un module à cinq broches et l'autre à quatre broches. Le module cinq broches, la cinquième broche est liée à l'alimentation +3.3V qui différencier les deux modules précédents.

nom de pin	Description
VCC	Alimentation de +5V
GND	Tension de référence.
SDA	Serial Data pin I2C interface
SCL	Serial Clock pin I2C interface
3.3V	Si +5V n'est pas présent. Peut alimenter le module en connectant +3,3V à cette broche.

Tableau IV.2 : Configuration de la broche BMP180

IV.3.3. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

IV.3.3.1. Caractéristiques du MODULE BMP180

- Peut mesurer la température et l'altitude ;
- Grande Précision relative de 0,12 hPa ;
- fonctionner à basse tension ;
- Interface I2C 3,4 Mhz ;
- Faible consommation d'énergie 3uA ;
- Temps de conversion de la pression : 5ms ;
- Vitesse maximum d'I2C 3.5MHz ;
- SNR important - jusqu'à 0.02 hPa (17 cm) ;
- Calibrage en usine ;

- Plage de pression : 300 Mo à 1100 hPa (9000 m à 500 m) ;
- Poids : 1,18 g ;
- Taille du circuit imprimé : 21 x 18 mm.

IV.3.3.2. Spécifications du MODULE BMP180

- Tension de fonctionnement de BMP180 : 1,3 V – 3,6 V ;
- Tension d'entrée du module BMP180MODULE : 3,3 V à 5,5 V ;
- Courant maximum : 1000uA ;
- Tension maximale à SDA, SCL : VCC + 0,3 V ;

Température de fonctionnement : -40°C à +80°C [16].

IV.3.4. Utilités de MODULE BMP180

Il y a de nombreuses raisons pour lesquelles BMP180 est préféré aux autres modules, voici quelques raisons

Cas 1 : Où vous voulez une pression atmosphérique précise. Sur de nombreux modules présents sur le marché, BMP180 mesure la pression barométrique avec plus de précision.

Cas 2 : Où la consommation d'énergie est un problème. BMP180 MODULE consomme beaucoup moins de puissance pour fonctionner. Ainsi, ce module peut être utilisé sur les systèmes qui fonctionnent sur batterie comme les montres intelligentes et les téléphones mobiles.

Case3 : Où la communication à haute vitesse est nécessaire. MODULE BMP180 capable de communiquer avec l'interface TWI à haute vitesse.

La mesure d'altitude, le capteur de température et de détection de vitesse à bord, l'utilisation du module BMP180 est encore plus encouragée que les autres modules.

IV.3.5. Mesure de la pression et de la température

Le BMP180 a été conçu pour mesurer avec précision la pression atmosphérique. La pression atmosphérique varie selon les conditions météorologiques et l'altitude

Le microcontrôleur envoie une séquence de démarrage pour démarrer une mesure de pression ou de température. Après le temps de conversion, la valeur de résultat (UP ou UT, respectivement) peut être lue via l'interface I2C. Pour calculer la température en °C et la pression en hPa, les données d'étalonnage doivent être utilisées. Ces constantes peuvent être lues à partir du BMP180 E2PROM via l'interface I2C lors de l'initialisation du logiciel.

Le taux d'échantillonnage peut être augmenté jusqu'à 128 échantillons par seconde (mode standard) pour la mesure dynamique. Dans ce cas, il suffit de mesurer la température seulement une fois par seconde et d'utiliser cette valeur pour toutes les mesures de pression pendant la même période.

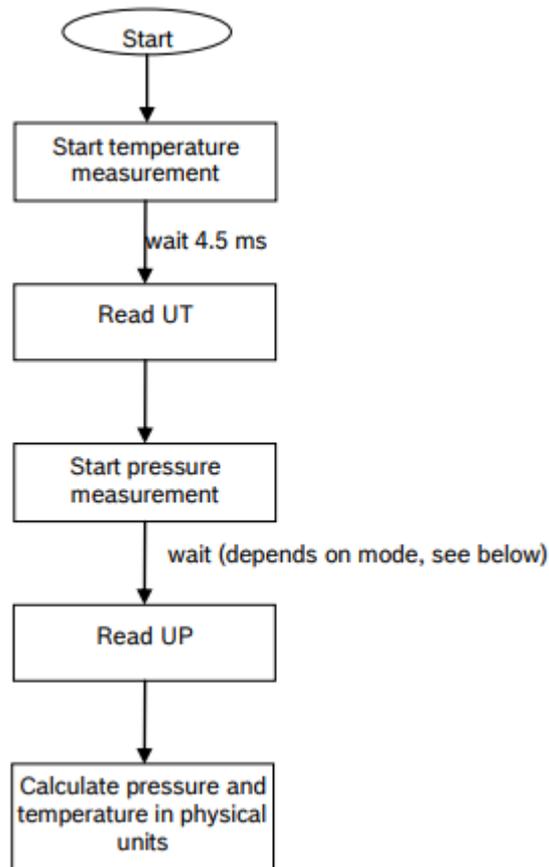


Figure IV.3 : organigramme de mesure BMP180

IV.3.6. Applications

- Navigation intérieure ;
- Appareils de sport ;
- Périphériques informatiques ;
- GPS ;
- Prévisions météorologiques ;
- Indication de vitesse verticale ;
- Projets de loisirs [17].

IV.4. Le module du son vocal JQ6500

Le module de son vocal JQ6500 est un module audio miniaturisé, robuste, efficace et faible consommateur, peut lire des fichiers MP3 standard et peut être utilisé dans plusieurs applications.

IV.4.1 Modelés du JQ6500

Le module de lecteur MP3 JQ6500 est disponible en deux modèles :

- JQ6500-28p
- JQ6500-16p.

- **JQ6500-16p**

JQ6500-16P dispose d'une mémoire Flash intégrée de 16 Mbits.

- **JQ6500-28p**

JQ6500-28P dispose d'une mémoire intégrée, comprend également un emplacement pour carte Micro SD, afin que vous puissiez simplement mettre vos fichiers MP3 sur une Micro SD **[18]**.

IV.4.2. Caractéristiques du module JQ6500

Le module de lecteur MP3 JQ6500 est caractérisé par :

- Tension de fonctionnement de 3,5 à 5 V CC ;
- Courant nominal : 20 mA ;
- Puissance du haut-parleur : 8 Ohm/3 W ;
- Taux d'échantillonnage pris en charge (kHz) :
8/11.025/12/16/22.05/24/32/44.1/48 ;
- Sortie CNA 24 bits ;
- Réglage du volume !!!0sur 30 niveaux ;
- Deux modes : mode série et mode de contrôle du bouton AD **[19]**.

IV.4.3. Configuration des broches du module JQ6500

La configuration des broches du lecteur MP3 JQ6500 (16p) est comme la montre la figure IV.4 :

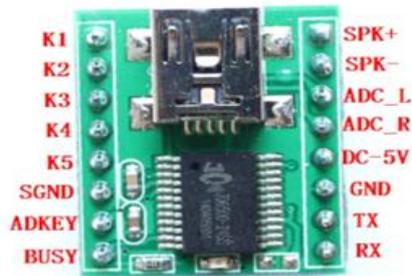


Figure IV.4 : configuration de JQ6500-16 pins

Ce module a 16 broches où chaque broche et sa fonctionnalité sont décrites dans le tableau IV.3.

Numéro de la broche	Nom de broche	Fonction correspondante
1 à 5	K1 à K5	Lecture des audios 1 à 5
6	SGND	Masse
7	ADKEY	Port AD
8	BUSY	Indicateur de lecture Haut quand il y'a une lecture d'audio Bas quand il n'y a pas une lecture d'audio
9	RX	Entrée de données série
10	TX	Sortie de données série
11	GND	Masse
12	VCC-5V	L'alimentation
13	ADC_R	Amplificateur ou un casque (canal droit)
14	ADC_L	Amplificateur ou un casque (canal gauche)
15	SPK-	Borne négative du haut-parleur
16	SPK+	Borne positive du haut-parleur

Tableau IV.3 : broches du module du son vocal JQ6500

IV.4.5. Schéma de circuit

Le schéma de circuit du lecteur MP3 JQ6500 est illustré ci-dessous :

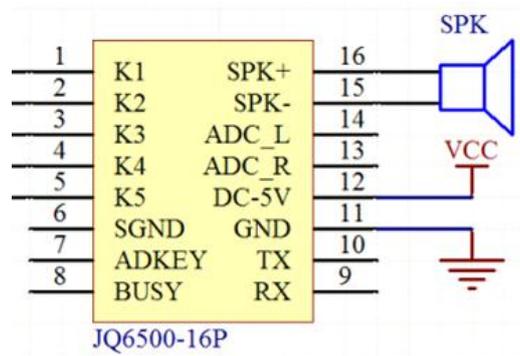


Figure IV.5 : schéma de circuit du JQ6500 16P

IV.4.6. Fonctionnement du module JQ6500

Le JQ6500 fonctionne en lisant les fichiers audios chargés via USB. Un amplificateur de puissance intégré qui pilote directement un haut-parleur.

L'activation de ce module peut se faire par deux modes différents ;

- Via des boutons.
- Via un protocole de communication série.

Dans le premier mode, le module est contrôlé avec des commutateurs (aucune programmation nécessaire). Alors que dans le second mode, le module est connecté à un microcontrôleur.

IV.4.7. Applications du module JQ6500

Le JQ6500 peut être utilisé dans plusieurs applications tel que :

- Alarme incendie ;
- Appels vocaux à la gare routière et à la gare.
- Alarmes automatiques en cas de panne d'équipements électriques et mécaniques ;
- Il peut également être utilisé dans des projets automobiles et domotiques pour fournir un retour audio [20].

IV.5. Conception et réalisation du montage

Nous allons présenter les différentes étapes de réalisation et principe de fonctionnement du montage :

IV.5.1. Brochage et configuration du BMP180

Pour mesurer les valeurs de la pression et puis les valeurs de l'altitude-cabine, on a utilisé le capteur précis **BMP180**, on a le connecté avec le microcontrôleur **LPC1768** comme suit :

- La broche SCL du BMP180 avec P10 de LPC1768 ;
- La broche SDA du BMP180 avec P9 de LPC1768 ;
- La broche GND du BMP180 est connectée à la masse.

❖ La figure IV.6 résume la configuration du BMP180 et ses différents registres.

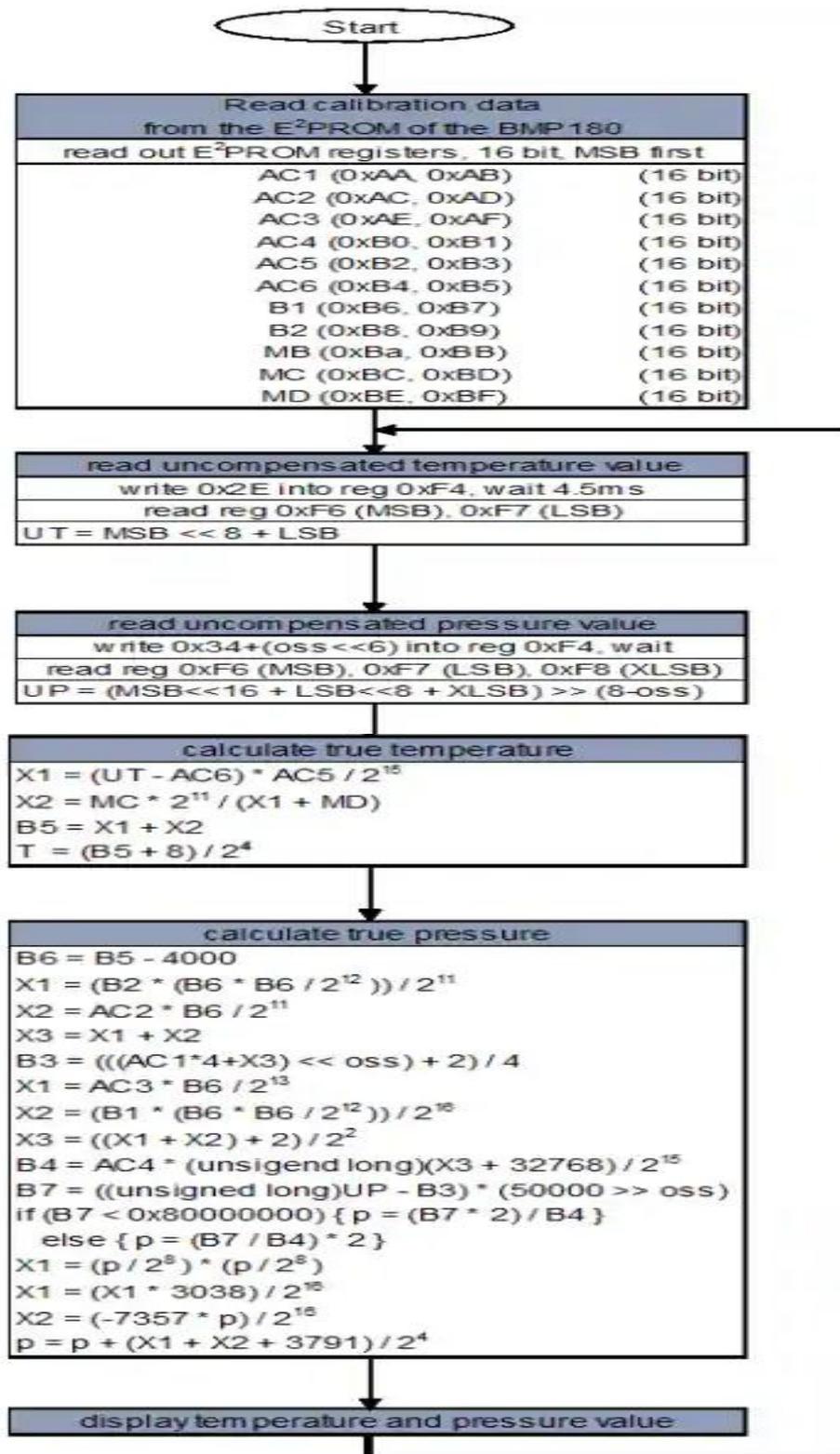


Figure IV. 6 : l'organigramme de la configuration du BMP180 et ses registres

IV.5.2. Calcule de l'altitude

- L'altitude en mètres peut être calculée avec la formule barométrique internationale :

$$\text{altitude} = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right)$$

Équation IV.1

Avec :

P : la pression mesurée

P0 : la pression au niveau de la mer

- L'altitude exprimée en feet :

Altitude(feet)= Altitude/3.28884

IV.5.3. Génération des avertissements sonores

L'avertissement consiste à générer des messages vocaux, qui alertent l'équipage et les passagers d'une dépressurisation, avant que le pilote conduit l'avion vers la zone non dangereuse ou atterri sur un aéroport de dégagement.

Pour cela nous utilisons le module du son vocale JQ6500-16P, nous avons d'abord enregistré les fichiers sonores dans la mémoire du JQ6500 sous les titres suivants :

1-Message_EN.MP3 ;

2- Message_FR.MP3 ;

3- Message_AR.MP3.

Puis, on a le connecté avec le microcontrôleur **LPC1768** comme suit :

- La broche Tx du JQ6500-16P avec P14 de LPC1768 ;
- La broche Rx du JQ6500-16P avec P13 de LPC1768 ;
- La broche GND du JQ6500-16P est connectée à la masse.

Donc à chaque fois que la valeur de l'**altitude-cabine** atteint **10000 feet**, le LPC1768 génère une commande au JQ6500 pour lire les trois messages audios successivement, à travers la communication UART entre eux, de cette façon ; les alertes audios seront générées.

IV.6. Réaction du montage en cas de la non-détection du capteur de pression (BMP180)

Après l'alimentation du montage, la détection du capteur de pression BMP180 est faite par la lecture de son registre nommé **id**, son adresse est **0*55**.

Le microcontrôleur LPC1768 vérifie cette valeur, s'elle n'est pas détectée ; à cause d'un problème de communication ou d'une défaillance matérielle, la quatrième led du microcontrôleur LPC1768 s'allume, ainsi qu'il va mettre le module JQ6500 en **mode sleep**.

IV.7. Présentation du schéma électrique du montage

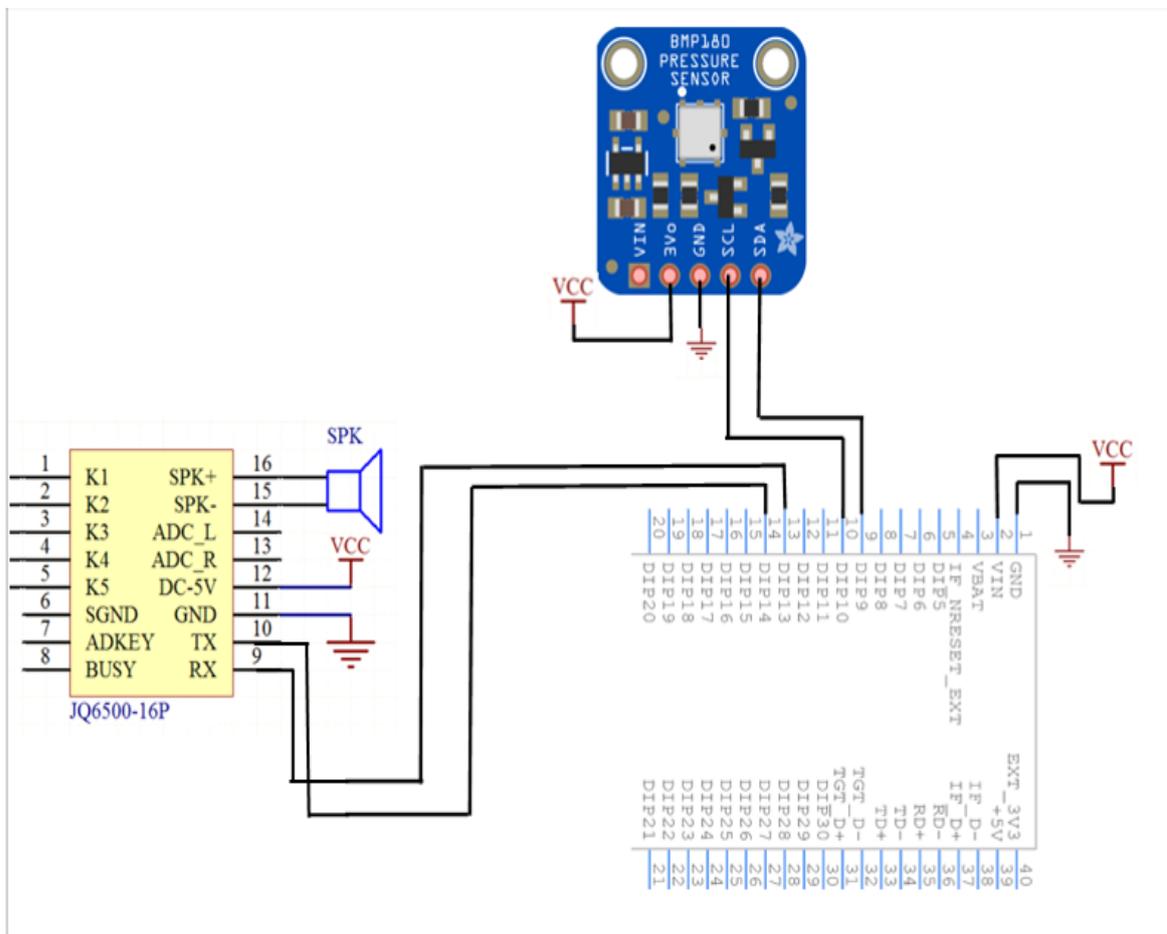


Figure IV. 7 : schéma électronique du montage

IV.8. Présentation de la plateforme MBED

Mbed est une plate-forme et un système d'exploitation pour les appareils connectés à Internet basés sur des microcontrôleurs ARM Cortex-M 32 bits.

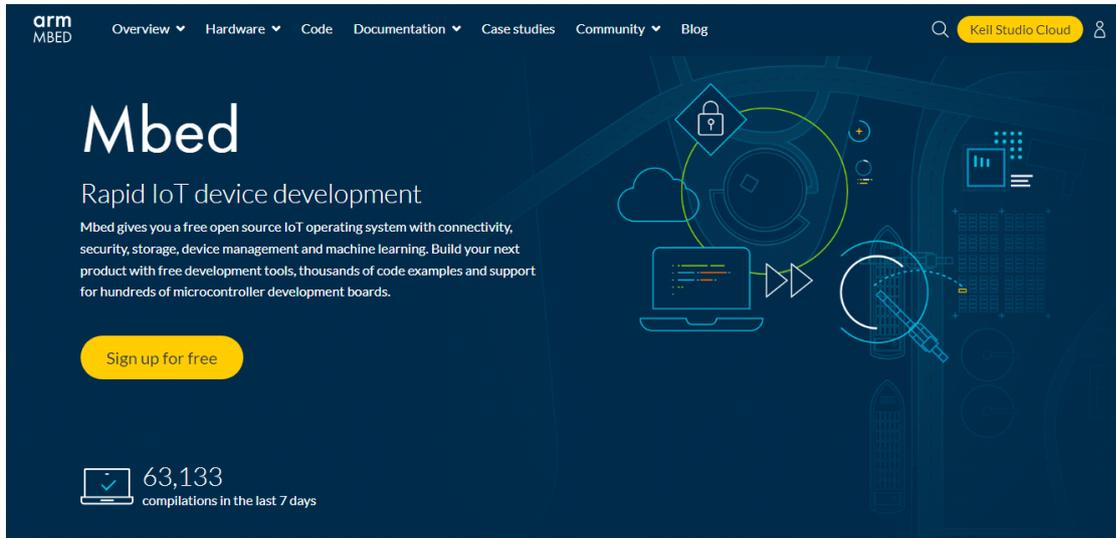


Figure IV.8 : plateforme MBED

IV.8.1. L'IDE MBED

La plateforme MBED dispose un environnement de développement intégré (IDE) gratuit nommé "**Arm Keil Studio Cloud** », basé sur un navigateur pour l'évaluation et le développement de logiciels intégrés et d'apprentissage automatique pour les appareils Cortex-M. Avec un espace de travail hébergé dans le cloud pour votre code, une intégration complète du contrôle des sources et un puissant éditeur C/C++, nous pouvons modifier nos projets à partir de n'importe quel ordinateur, les partager avec des collègues et les exporter. Nous pouvons même compiler des projets, exécuter les projets directement sur des cartes de développement prises en charge et déboguer à partir de navigateurs pris en charge sans avoir à installer de logiciel [21].

Keil Studio Cloud démontre la technologie IDE de nouvelle génération, c'est le successeur du compilateur en ligne Mbed

IV.8.2. Programmation sous l'IDE MBED

- Pour travailler avec Keil Studio Cloud, nous avons besoin d'un compte Arm, que nous créons en ligne sur le site suivant : "studio.keil.arm.com"



Figure IV.9 : création d'un compte Arm Keil Studio

- On Crée un projet en cliquant sur "Nouveau projet"

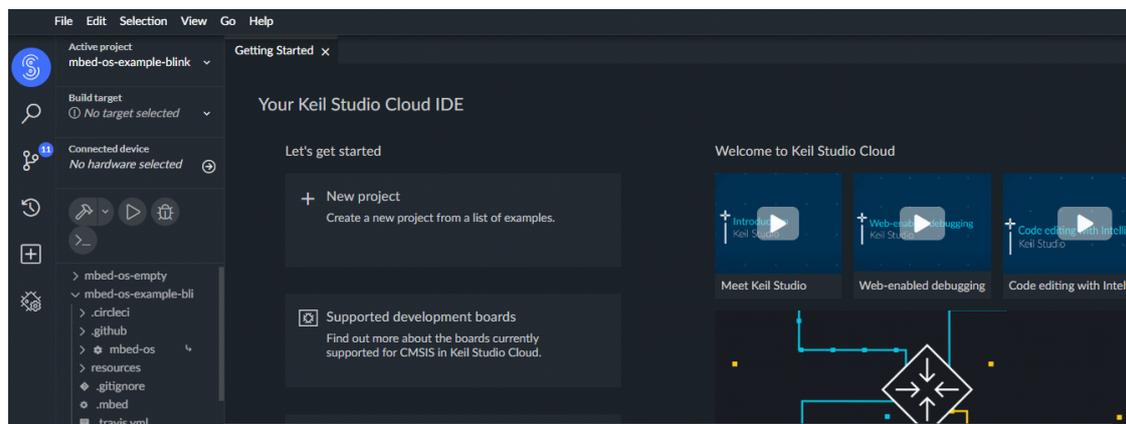


Figure IV.10: Keil Studio Cloud

- La boîte de dialogue Nouveau projet s'ouvre. On Clique sur la liste déroulante, puis on sélectionne un exemple de projet et on choisit un nom du projet.

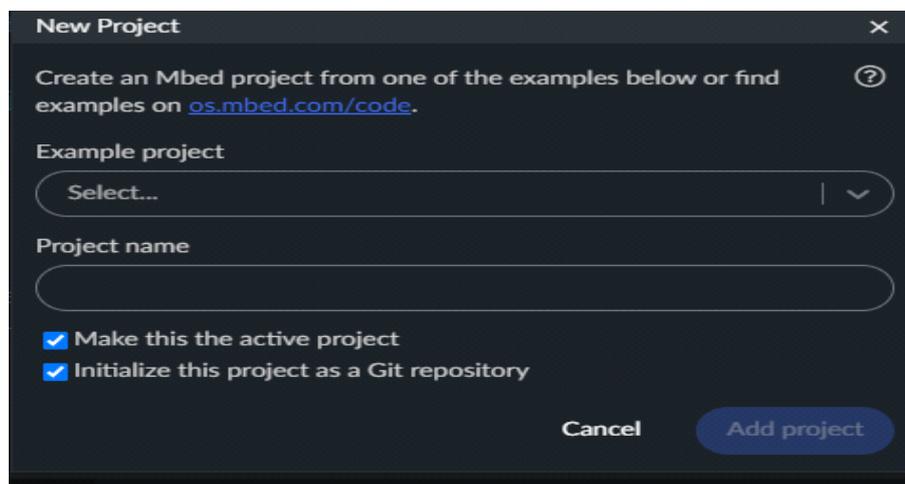


Figure IV.11 : La boîte de dialogue Nouveau projet

- Keil Studio Cloud définit le projet nouvellement créé comme projet actif, Les commandes de génération et d'exécution ne s'appliquent qu'au projet actif
- Le fichier README.md du projet s'affiche.
- On écrit notre programme « main.cpp ».

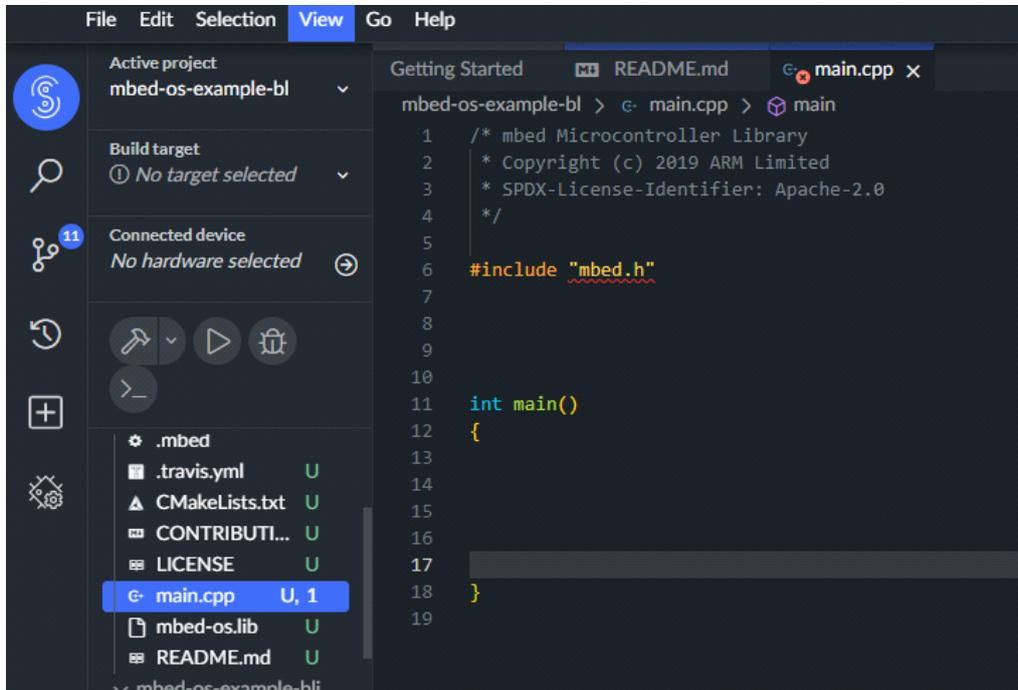


Figure IV.12 : main cpp

- On peut importer des bibliothèques des composants électroniques à programmer et utiliser son code.

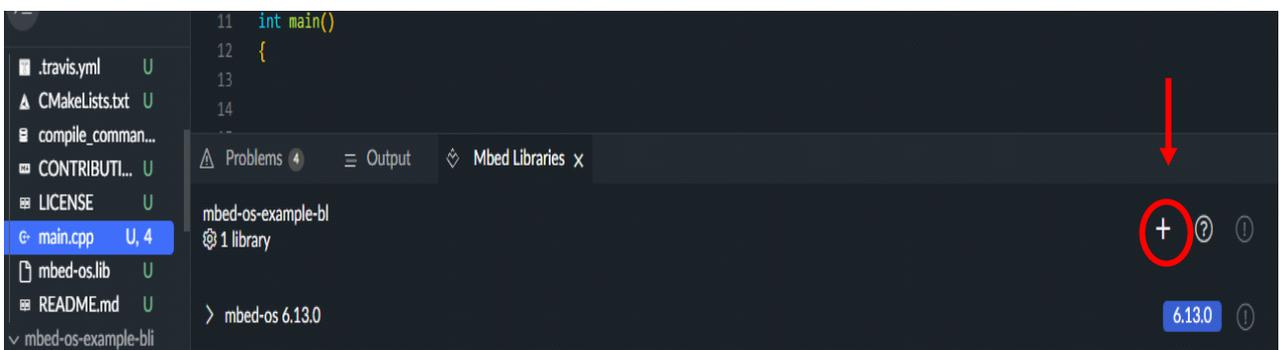


Figure IV.13 : importation des bibliothèques sur l'IDE MBED

- On connecte notre carte à l'ordinateur via USB. Dans la première fois qu'on connecte la carte, on suit les étapes suivantes :
- On clique sur la zone Périphérique connecté "**Connected device**" pour ouvrir le Gestionnaire de périphériques.
- On clique sur le bouton Ajouter un périphérique « **Assdd Device** », on sélectionne le micro logiciel du périphérique pour notre carte dans la boîte de dialogue qui s'affiche en haut de la fenêtre, puis on clique sur **Connecter**.
- Notre appareil s'affiche dans le Gestionnaire de périphériques.

Le point vert dans la zone Appareil connecté de l'explorateur confirme une connexion réussie.

Après la première connexion réussie, Keil Studio Cloud détecte automatiquement la carte.

- On sélectionne une cible de génération "**build target**" dans la liste déroulante Cible de génération.

Le nom de notre cible de construction correspond très probablement au nom de la carte.

- Pour construire le projet, on clique sur le bouton Construire le projet "**Build project**"
- On clique sur le bouton Exécuter le projet

IV.9. Les instructions de base du programme principal

- ❖ Les instructions de base requises pour mettre en œuvre la communication UART sont :
 - **Serial JQ6500(PinName Tx, PinName Rx)** : Configuration de la communication UART
 - **PinName** : donne le nom de la broche que nous lisons comme une entrée
 - **JQ6500.baud(9600)** : Vitesse de communication UART
- ❖ Les instructions utilisées pour Le module JQ6500 sont :
 - **JQ6500.putc(0*7E)** : Démarrage des opérations

- **JQ6500.putc(0*02)** : Préciser au JQ6500 qu'il y'a deux octets qui vont suivre
 - **JQ6500.putc(0*0A)** : Mettre Le module JQ6500 en mode "sleep"
 - **JQ6500.putc(0*0D)** : commande de lecture de la piste N°001 (Message anglais)
 - **JQ6500.putc(0*01)** : commande de lecture de la piste suivante N°002 (Message français)
 - **JQ6500.putc(0*01)** : commande de lecture de la piste suivante N°003 (Message arabe)
 - **JQ6500.putc(0*EF)** : Arrêt des opérations
 - **Wait(10)** : Temps nécessaire pour que chaque piste soit lue complètement par le JQ6500
- ❖ Les instructions de base requises pour mettre en œuvre la communication I2C sont :
- **i2c(PinName sda, PinName scl)** : Configuration de la communication i2c, il permet de la connexion i2c entre le microcontrôleur LPC1768 et le capteur de pression BMP180
 - **Sda** : broche MBED à utiliser pour la ligne I2C SDA.
 - **Scl** : broche MBED à utiliser pour la ligne I2C SCL.
- ❖ Les instructions employées pour la configuration du capteur BMP180 et ses registres sont :
- Détection du BMP180 :
 - **Lecture_simple(BMP180_ADDRESS, BMP180_WHO_AM_I)** : Permet la lecture du registre **id** pour tester la connexion I2C.
 - Calibration Data :
 - **ac1, ac2, ac3, ac4, ac5, ac6, b1, b2, mb, mc, md, b5** : les registres de EEPROM « calibration data»
 - **lecture_simple(BMP180_ADDRESS, registre ADRESS)** : lecture de calibration data
 - **Void ecriture(uint8_t adress, uint8_t subAddress, uint8_t data)** : Écriture des données;
 - **Char lecture_simple(uint8_t adress, uint8_t subAddress)** : lecture des données;
 - **Void lecture_complexe(uint8_t adress, uint8_t subAddress, uint8_t count)** : Lecture de plusieurs registres à partir du dispositif.

- Température non compensée :
 - **écriture (BMP180_ADRESS, 0xF4, 0x2E)** : configuration de la mesure de température
 - **Lecture_complexe(BMP180_ADRESS, 0xF6, 2, &rawData[0])** : lecture des valeurs de température incompensés mesurées

- Pression non compensée :
 - **OSS=3** : haute résolution
 - **écriture (BMP180_ADRESS, 0xF4, 0x34, | OSS << 6)** : configuration de la mesure de pression
 - **lecture_complexe(BMP180_ADRESS, 0xF6, 3, &rawData[0])** : lecture des valeurs de pression incompensés mesurées

IV.10. L'organigramme principal

La figure IV.7 représente les différentes tâches de la programmation :

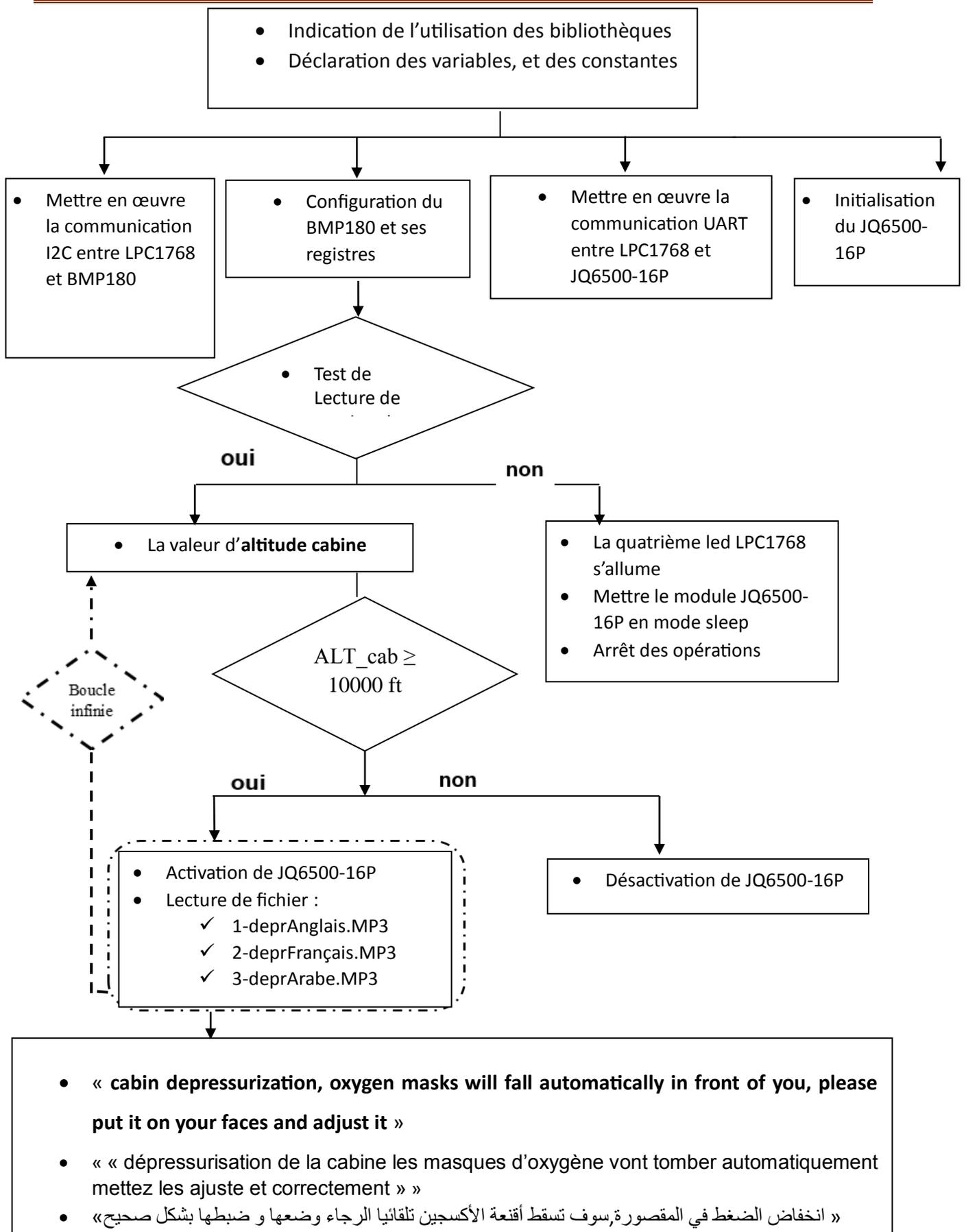


Figure VI.14: Organigramme principal

IV.11. Tests et résultats

Nous avons réalisé le montage représenté sur la figure IV.9, après la programmation du microcontrôleur LPC1768 sous l'IDE MBED :

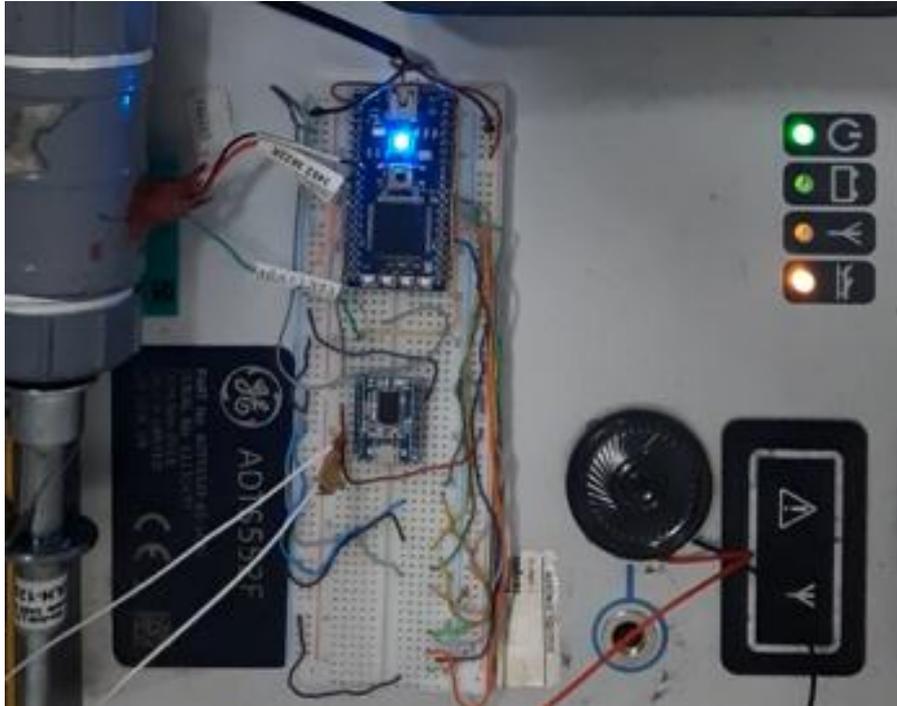


Figure IV. 15 : montage réalisé

Nous avons fait plusieurs tests du ce montage :

- Détection du BMP180.
- Configuration normale « Valeurs de pression dans la marge sécurisé »
- Configuration dangereuse « valeurs de pression égale ou supérieure à 10000 ft »



Figure IV. 16 : détection du BMP180.

la quatrième led du microcontrôleur LPC1768 ne s'allume pas, donc ,il détecte le BMP180



Figure IV.17 : configuration normale du montage

Dans la figure IV.2, la valeur d'altitude-cabine est inférieure à 10000 feet ; donc on est à la configuration normale, dans ce cas aucun avertissement est généré.

Maintenant nous avons créé une chute de pression pour simuler une valeur d'altitude-cabine supérieure ou égale à 10000 feet.

Voici comment va réagir le montage :



Figure IV. 18 : configuration dangereuse « altitude-cabine supérieure ou égale à 10000 feet »

Dans la figure IV.3, la LED du JQ6500 est allumée car le module est entrain de générer les messages vocaux d'avertissement.

- ❖ Premièrement, Le JQ6500 génère l'alerte vocale de dépressurisation en anglais « **cabin depressurization, oxygen masks will fall automatically in front of you, please put it on your faces and adjust it** »
- ❖ Après 10 seconds ; il génère l'alerte vocale de dépressurisation en français « **dépressurisation de la cabine, les masques d'oxygène vont tomber automatiquement, veuillez les mettre et ajuster correctement** »

- ❖ Après 10 seconds ; il génère l'alerte vocale de dépressurisation en arabe « انخفاض الضغط في المقصورة, سوف تسقط أفتحة الأكسجين تلقائيا الرجاء وضعها و ضبطها بشكل صحيح »

IV.12. Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de définir la carte MBED NXP LPC1768, ses broches et ses interfaces, ainsi, étudié les autres composants de notre montage qui ont été choisi d'après la disponibilité dans le marché algérien et le cout, aussi, leurs principes de fonctionnements, pour assurer la simplicité de la réalisation du montage.

Dans la suite, nous avons fait la programmation du microcontrôleur NXP LPC1768 pour cela nous avons utilisé l'IDE MBED. Ainsi que, nous sommes passés à la mise des différents composants sur la plaque d'essai, et enfin nous avons atteint notre but qui consiste à réaliser un système d'asservissement de détection de la dépressurisation.

**Conclusion
générale et
perspectives**

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce projet de fin d'étude rentre dans le cadre de la conception et la réalisation d'un système d'asservissement de détection de la dépressurisation.

Ce travail, nous a permis d'avoir des connaissances approfondies sur le risque de dépressurisation en vol, et l'importance de suivre les procédures pour garantir la sécurité des passagers et de l'équipage.

Il nous a permis aussi d'étudier le système de pressurisation au bord des avions BOEING 737 NG dépassant 10 000 feet d'altitude, ses différents sous-systèmes qui sont primordiaux pour la sécurité de vol.

L'accomplissement de la réalisation nous a permis de familiariser profondément avec des protocoles de communication courants UART et I2C, des dispositifs électroniques innovants tels que les microcontrôleurs MBED LPC1768, le BMP180, le JQ6500 et aussi sur la programmation sous l'IDE MBED.

Cette réalisation va offrir un moyen simple pour bien comprendre ce système de vol, pour les volontaires de domaine de l'aéronautique.

On peut proposer quelques perspectives telles :

Le développement de notre calculateur dans le côté de programmation et le côté Hardware, on peut ajouter un mécanisme qui va baisser les masques d'oxygène.

Dans un futur proche, nous espérons que ce travail sera développé par l'introduction de nouveaux capteurs susceptibles d'améliorer le fonctionnement de notre calculateur.

Liste des références

LISTE DES REFERENCES

[1] : <https://fr.airlinestravel.ro>

[2] : www.aeroflap.com.br

[3] : <https://airwaysmag.com>

[4] : <https://www.faa.gov>

[5] : l'ATA 21

[6] : <https://www.flightsim-corner.com>

[7] : mémoire de fin d'étude « contribution à l'implémentation de l'UART sur un système sur puce FPGA », Département d'Electronique, Université Saad Dahleb Blida 01.

[8] : www.rohde-schwarz.com

[9] : www.circuitbasics.com

[10] : mémoire fin d'étude « Mise en oeuvre du protocole I2C dans environnement à microcontrôleur Atmel (ATMEGA 32) », Université Mohamed Khider Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie

[11] : livre "le manuel de bus I2C "

[12] : www.rfwireless-world.com [13] : Mémoire de fin d'études « Conception et réalisation d'un système d'acquisition et de transmission des paramètres météorologique à base d'une thermistance », Département d'électronique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012-2013.

[14] : Mémoire de fin d'études « Conception et réalisation d'un calculateur d'asservissement de décrochage à base d'un microcontrôleur NXP LPC1768 », Institut d'aéronautiques et des études spatiales, Université Saad Dahleb Blida 01.

[15] : BMP180-Datasheet

[16] : <https://letmeknow.fr>

[17] : learn.sparkfun.com [18] : <https://sparks.gogo.co.nz/jq6500/index.html>

[19]: JQ6500-MP3-Player-Module-Datasheet

[20]: <https://www.elprocus.com>

[21] : os.mbed.com