

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعلّم العالّمي و البحث العلمّي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : **ELECTRONIQUE**

Spécialité : **INSTRUMENTATION**

Présenté par : **OMRANI Nesrine et GHENIMI Leila**

Sujet

**Etude Et Simulation d'un indicateur de Pression
Atmosphérique.**

Soutenu publiquement, le 28/06/2022, devant le jury composé de :

Mr ZOUGAGH Nabil	MCB	Université de Tlemcen	Président
Me HEDARA Rachida	MCB	Université de Tlemcen	Examinateur
Mr LACHACHI Djamel	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme GHEFIR Fatiha Djazia	MAA	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : **2021/2022**

Résumé :

Ce Projet de fin d'étude consiste en une étude et simulation d'un dispositif électronique qui permet de donner une indication visuelle à LED de la pression atmosphérique. Grâce à un capteur de pression atmosphérique ce circuit électronique va donner une information qui se traduit par l'expression d'un visage construit à l'aide d'une combinaison de 11 LED disposées pour donner une mine d'un visage selon que la pression atmosphérique est basse (tristesse) ; haute (Sourire) ; ou une pression normale désignée équilibre ou stabilité (neutralité du visage). Tous les éléments et fonctions électroniques contribuant au fonctionnement du montage ont été étudiés. Le fait de remplacer le capteur de pression par un pont diviseur de tension, cela a permis de simuler le montage, de voir l'évolution du système électronique en fonction de la variation de la pression atmosphérique ; et d'obtenir des résultats accélérés dans le temps et proches de la réalité. Nous laisserons le lecteur découvrir les différentes étapes de simulation décrites dans ce mémoire.

Mots clé : Pression atmosphérique ; amplificateur de mesure ; comparateur de tension ; monostable à porte NOR ; temporisateur.

Abstract :

This end-of-study project consists of a study and simulation of an electronic device that provides a visual LED indication of atmospheric pressure. Thanks to an atmospheric pressure sensor, this electronic circuit will give information which translates into the expression of a face built using a combination of 11 LEDs arranged to give a mine of a face depending on whether the pressure atmospheric is low (sadness); high (Smile); or normal pressure designated balance or stability (neutrality of the face). All the electronic elements and functions contributing to the operation of the assembly have been studied. The fact of replacing the pressure sensor by a voltage divider bridge, this made it possible to simulate the assembly, to see the evolution of the electronic system according to the variation of the atmospheric pressure; and to obtain results accelerated in time and close to reality. We will let the reader discover the different simulation steps described in this thesis.

Keywords: Atmospheric pressure; measuring amplifier; voltage comparator; monostable with NOR gate; timer.

ملخص

يتكون مشروع نهاية الدراسة هذا من دراسة ومحاكاة جهاز إلكتروني يوفر مؤشر LED مرئيًا للضغط الجوي. بفضل مستشعر الضغط الجوي ، ستعطي هذه الدائرة الإلكترونية معلومات تترجم إلى تعبير عن وجه مبني باستخدام مجموعة من 11 مصباحًا ليديًا تم ترتيبها لإعطاء منجم للوجه اعتمادًا على ما إذا كان الضغط الجوي منخفضًا (الحزن) ؛ عالية (ابتسامة) ؛ أو الضغط الطبيعي المعين بالتوازن أو الثبات (حياد الوجه). تمت دراسة جميع العناصر والوظائف الإلكترونية المساهمة في تشغيل التجميع. حقيقة استبدال مستشعر الضغط بجسر مقسم للجهد ، جعل ذلك من الممكن محاكاة التجميع ، لمعرفة تطور النظام الإلكتروني وفقًا لتغير الضغط الجوي ؛ وللحصول على نتائج متسارعة في الوقت المناسب وقريبة من الواقع. سوف ندع القارئ يكتشف خطوات المحاكاة المختلفة الموضحة في هذه الأطروحة.

الكلمات المفتاحية: الضغط الجوي. مضخم القياس مقارنة الجهد أحادي مع بوابة NOR ؛ جهاز ضبط الوقت.

Remerciements

Nous tenons à remercier notre Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Tout d'abord à nos chers parents, d'avoir été là toutes ces années de nous avoir aidé à faire ce très long parcours, et de nous avoir guidé vers le droit chemin.

Nous remercions. Notre encadreur

Mr LACHACHI DJAMAL

Pour les efforts qu'il a déployés, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger.

*Nous tenons également à remercier le Co-encadrante, **Mme GHEFIR Fatiha Djazia** pour son aide tout long de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier le président de jury **Mr ZOUGAGH Nabil** et l'examinatrice **Mme HEDARA Rachida** de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

Nous remercions aussi tout le corps enseignant et administratif qui a contribué à notre formation universitaire. Sans oublier tous nos amis.

{Dédicaces }

Avant tout, je tiens à remercier le bon Dieu, et l'unique qui m'offre le courage et la volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie.

Je dédie ce mémoire à :

A mon feu père qui j'aurais aimé qu'il soit encore présent car cette soutenance était son rêve.

A ma mère qui m'a toujours soutenu et encouragé pendant tous mes études ; que dieu la garde et la protège.

A mon cher mari qui a fait preuve de patience et de soutien pendant toute la durée de mes études et à qui je voudrais exprimer toute mon gratitude.

A ma fille AMAR.

A ma belle-mère AISHA.

A mes chers frères AMINE et IMAD .

A toute ma famille et belle famille.

A mon binôme LEILA GHENIMI.

NESRINE

{Dédicaces }

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents .Ce travail est le fruit de leurs présences à mes cotés et leurs affections.

A mon mari qui a toujours été là pour moi avec toutes les moyennes possibles.

A mon fils : Wail.

A ma deuxième famille surtout ma belle-mère et mon bon père.

A mes frères : Yassine et Ilyes.

A ma sœur : Farah.

A mes belles sœurs : Chahra et Samia.

Amies : Fatima et Ismahene.

A mon binôme Nesrine Omrani.

A mes professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont aidé dans la poursuite de mes études.

A tous mes amis de la promotion Instrumentation 2021/2022.

LEILA

Liste des figures

Figure 1.1 : Atmosphère terrestre

Figure 1.2 : Structure de l'atmosphère

Figure 1.3 : Pression atmosphérique et altitude

Figure 1.4 : Exemple d'un baromètre

Figure 1.5 : Baromètre à mercure

Figure 1.6 : Baromètre à eau

Figure 1.7 : Baromètre anéroïde

Figure 2.1 : schéma synoptique du montage

Figure 3.1 : Schéma synoptique d'une alimentation stabilisé

Figure 3.2 : Transformateur

Figure 3.3 : Redressement double alternance

Figure 3.4 : Redressement et filtrage d'une tension alternative

Figure 3.5 : Allure de la tension redressée après filtrage

Figure 3.6 : Courbe de réponse du capteur MPX2200AP

Figure 3.7 : Image et Brochage du capteur MPX2200AP

Figure 3.8 : Amplificateur de mesure à 1ampli Op

Figure 3.9 : L'amplificateur opérationnel comme comparateur

Figure 3.10 : Comparaison des signaux d'entrée

Figure 3.11 : Brochage du circuit intégré LM324

Figure 3.12 : Symbole et table de vérité de la porte NOR

Figure 3.13 : Brochage du circuit intégré 4001

Figure 3.14 : Brochage du CD4001

Figure 3.15 : Monostable à porte NOR

Figure 4.1 : Environnement du travail ISIS de PROTEUS

Figure 4.2 : La barre d'outils principale

Figure 4.3 : Environnement de travail ARES de PROTEUS

Figure 4.4 : Schéma du circuit globale: configuration réelle

Figure 4.5 : Circuit électrique générale de l'indicateur de pression atmosphérique pour la simulation avec de tension

Figure 4.6 : Circuit électrique générale de l'indicateur de pression atmosphérique en simulation

Figure 4.7 : Alimentation avec capteur de pression

Figure 4.8 : Simulation de l'alimentation stabilisée avec sortie à 20mv

Figure 4.9 : Le capteur de pression remplacé par un diviseur de tension

Figure 4.10 : Simulation de l'étage d'amplificateur

Figure 4.11 : Simulation de l'étage de comparaison

Figure 4.12 : Simulation de l'étage de comparaison situation d'équilibre

Figure 4.13 : Affichage situation d'équilibre où de neutralité

Figure 4.14 : Simulation en situation haute pression (BT)

Figure 4.15 : Affichage situation haute pression: mine sourire

Figure 4.16 : Comparaison des états en basse pression (MT)

Figure 4.17 : Affichage situation basse pression : mine tristesse

Figure 4.18 : Affichage du circuit globale à l'état de neutralité

Figure 4.19 : Le monostable à l'état actif

Figure 4.20 : Retour à l'état stable du monostable

Figure 4.21 : Monostable 2 actif : affichage d'une mine attristé

Figure 4.22 : Circuit de comptage du temps : contrôle de stabilité

Figure 4.23 : Remise à zéro du compteur CD4060 par le biais de D10

Figure 4.24 : schéma d'implantation du circuit indicateur de pression atmosphérique sous ares

Figure 4.25 : typon du circuit indicateur de pression atmosphérique
Face supérieure

Figure 4.26 : typon du circuit indicateur de pression atmosphérique
Face inférieure

Figure 4.27 : image 3D du circuit indicateur de pression atmosphérique

Liste des tableaux

Tableau 3.1: Différents types de capteurs	25
Tableau 4.1: Etat des tensions d'entrées et de sorties en situation de Neutralité...	49
Tableau 4.2 : Etat des tensions d'entrées et sorties en Haute Pression (BT).....	51
Tableau 4.3 : Etat des tensions d'entrées et sorties en Basse Pression (MT).....	53

Liste des abréviations

TTL : Transistor Transistor Logique.

CAO : Conception Assisté par Ordinateur.

ISIS : Intelligent Schematic Input System.

ARES : Advanced Routing and Editing Software

Gnd : Ground ou la masse.

Vcc : Alimentation.

CI : Circuit intégré.

Vref : tension de référence.

AOP : Amplificateur Opérateur.

CMOS: Complementary Metal Oxyde Semiconductor.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
------------------------------------	-----------

CHAPITRE 1 : NOTIONS SUR LA PRESSION

ATMOSPHERIQUE	03
1.1. Atmosphère :.....	04
1.1. 1. Atmosphère terrestre :.....	04
1.1.2. Structure de l'atmosphère :.....	04
1.2. Pression atmosphérique :	05
1.2.1. Définition :.....	05
1.2.2. Principe :	06
1.2.3. Pression et atmosphère :.....	06
1.3. Pression atmosphérique et météo :	06
1.4. Mesure de pression atmosphérique :	06
1.4.1. Histoire de la mesure de la pression atmosphérique :	07
1.4.2. Caractéristiques de la pression atmosphérique :	07
1.4.3. Unités de mesure de la pression atmosphérique :	08
1.4.4. Notions d'isobares et de géopotentiels :	09
1.5. Appareils de mesure de la pression atmosphérique :	10
1.5.1. Baromètre :	10
1.5.2. Différents types de baromètres :	10

CHAPITRE 2 : SCHEMA SYNOPTIQUE DU MONTAGE

2.1. Introduction :	14
2.2. Principe :	15
2.3. Rôle des étages du montage :	15
2.3.1. Alimentation :	15
2.3.2. Détection pression atmosphérique :	15
2.3.3. Amplification :	15
2.3.4. Etage comparateurs :	16
2.3.5. Contrôle d'état :	16
2.3.6. Circuits d'affichage :	16
2.3.7. Circuits de temporisation :	16
2.3.8. Remise à zéro :	17

CHAPITRE 3 : ETUDE DES ELEMENTS DU MONTAGE

3.1. Introduction :.....	19
--------------------------	----

3.2. Alimentation stabilisée :	19
3.2.1. Le transformateur :	20
3.2.2. Le redressement :	21
3.2.3. Le filtrage :	21
3.2.4. La régulation :	22
3.3. Introduction sur les capteurs :	22
3.3.1. Différents types de capteurs :	23
3.3.2. Le capteur MPX2200AP :	25
3.3.2.1. Caractéristiques :	25
3.3.2.2. Exemple d'applications :	25
3.4. Amplificateur opérationnel :	26
3.4.1. Définition :	26
3.4.2. Amplificateur de mesure :	27
3.4.3. Amplificateur opérationnel comme comparateur :	28
3.5. Le circuit intégré LM324 :	30
3.5.1. Définition :	30
3.5.2. Fonctionnalités :	30
3.5.3. Applications :	31
3.5.4. Brochage du LM324 :	31
3.6. Le circuit intégré CD4001 :	31
3.6.1. La porte logique NOR :	31
3.6.2. Brochage du circuit intégré CI4001 :	32
3.7. Le circuit intégré CD4060 :	32
3.7.1. Définition :	33
3.7.2. Fonctionnement du CD4060 :	33
3.7.3. Brochage de CD4060 :	33
3.7.4. Caractéristique technique du circuit intégré CD4060 :	33
3.8. Circuit monostable à porte NOR :	34
3.9. Conclusion :	34

CHAPITRE 4 :SIMULATION DU MONTAGE :INDICATEUR DE PRESSION ATMOSPHERIQUE

4.1. Introduction :	36
4.2. Le langage de simulation :	36
4.3. Présentation du logiciel PROTEUS :	36
4.3.1. Présentation de l'environnement ISIS de PROTEUS :	39
4.3.2. Présentation de l'interface d'ISIS de PROTEUS :	39
4.3.2.1. La barre d'outils principale :	40
4.3.3. Présentation de l'interface ARES de PROTEUS :	41

4.4. Schéma électrique général du montage :	43
4.4.1. Le circuit d'alimentation :	45
4.4.2. Simulation de l'étage de détection :	46
4.4.3. Amplification de la mesure de pression :	47
4.4.4. Etage de comparaison :	48
4.4.5. Situation d'équilibre (Neutralité) :	50
4.4.6. Situation haute pression (BT) :	52
4.4.7. Situation basse pression (MT) :	54
4.5. Circuit d'affichage :	56
4.5.1. Affichage à la pression d'équilibre (Neutralité) :	57
4.5.2. Affichage à une augmentation de la pression atmosphérique :	58
4.5.3. Affichage suite à une diminution de pression :	59
4.5.4. Affichage en cas d'une pression restant stable :	60
4.6. Gestion de l'affichage :	62
4.7. Remise à zéro :	63
4.8. Conception du circuit sous l'environnement ARES :	63
4.9. Conclusion :	63
CONCLUSION GENERALE	65
BIBLIOGRAPHIE	68
RESUME	70

**INTRODUCTION
GENERALE**

INTRODUCTION GENERALE

La Pression Atmosphérique est un paramètre important dans les sciences météorologiques puisqu'elle permet de contribuer dans la prévision de la météo ; elle permet entre autre de nous informer sur l'évolution du climat dans une zone donnée de la Terre. Ce sens de variation du climat dépend étroitement de la pression atmosphérique de la Terre en un point donné.

A cet effet et à travers ce projet nous allons étudier et simuler un montage électronique qui nous permet de donner une indication sur la pression atmosphérique. Dans cette étude donc nous allons traduire la relation entre le paramètre pression atmosphérique terrestre et l'évolution du climat météorologique tout en faisant intervenir les composants et les circuits électroniques qui peuvent contribuer à convertir une grandeur physique telle que la pression atmosphérique en une information électrique ou électronique. Par le biais de l'affichage de plusieurs LED ce montage appréciera et nous donnera une information sur la pression atmosphérique actuelle ; par ailleurs ce montage pourra donner une information sur un climat de stabilité ou de neutralité dans le temps. Cette neutralité qui peut être ressentie dans le temps est matérialisée, dans notre montage, par l'introduction d'un circuit de temporisation. Cela permettra donc d'informer l'utilisateur que le climat n'a pas évolué pendant une durée déterminée.

Pour mener à bien ce projet nous avons étudié un montage permettant de répondre à ce besoin d'information qui est une indication sur la pression atmosphérique. Ce dispositif est construit à l'origine à partir d'un capteur de pression atmosphérique auquel on a associé d'autres fonctions électroniques. Ensuite nous avons fait des simulations sous le logiciel isis de Proteus pour pouvoir comprendre le principe de fonctionnement.

Ce mémoire a été donc organisé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre on va donner des généralités sur les caractéristiques météorologiques, l'atmosphère ; la pression atmosphérique, les unités de mesure de la pression atmosphérique et les baromètres.

Le deuxième chapitre consiste à présenter le schéma synoptique du montage dans lequel sont décrites les fonctions principales du montage

Le troisième chapitre sera consacré à l'étude des éléments ou composants électroniques qui constituent le montage proposé.

Dans le chapitre quatre on entamera la présentation du circuit électronique global et la simulation des différentes parties du montage ainsi que la simulation globale du montage. Nous donnerons à la fin de ce chapitre une modèle de réalisation du circuit électronique sur carte de circuit imprimé simulé sous l'environnement Ares de Proteus et sa représentation en image 3D.

Une conclusion générale mettra fin à notre travail.

CHAPITRE 1

NOTIONS SUR LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

CHAPITRE 1 : NOTIONS SUR LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

1. Atmosphère :

1.1. Atmosphère Terrestre :

L'atmosphère terrestre désigne l'enveloppe gazeuse qui entoure notre planète. Les gaz sont maintenus autour de la Terre par la force gravitationnelle qui les retient et les empêche de s'échapper vers l'espace.



Figure1.1 : Atmosphère Terrestre

Les gaz y sont donc concentrés près du sol. 99 % de la masse de l'atmosphère se situe entre 0 et 30 km. La pression atmosphérique décroît rapidement avec l'altitude.

L'épaisseur moyenne de notre atmosphère est d'environ 600 km. Elle fluctue, selon l'activité solaire notamment, entre 350 et 800 km. Au-delà de cette altitude, on est dans l'exosphère : ce n'est pas le vide qui y règne, on y rencontre encore quelques très rares particules gazeuses. Ces particules ne sont plus retenues par la gravité terrestre et peuvent s'échapper vers l'espace. [1]

1.2. Structure de l'Atmosphère

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches caractérisées entre autres par leur profil thermique, c'est-à-dire par la façon dont la température de l'air y varie.

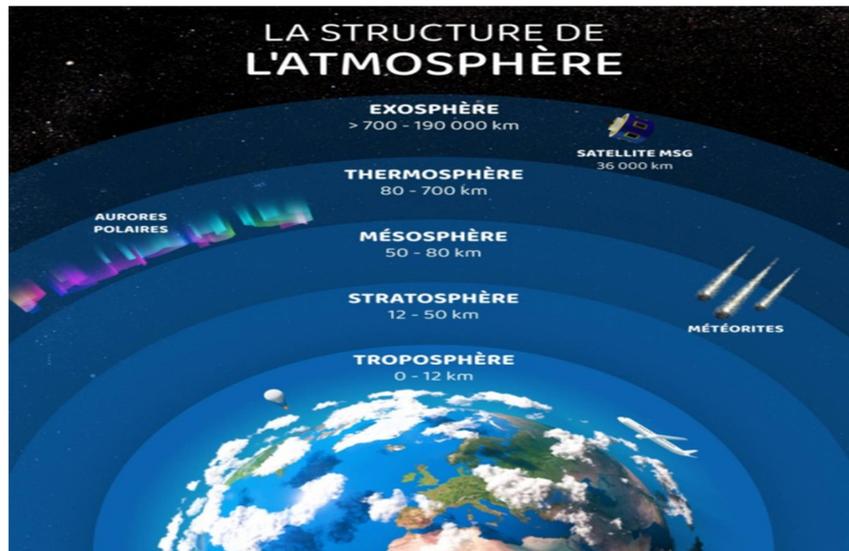


Figure1.2 : Structure de l'Atmosphère

La basse atmosphère s'identifie à la troposphère, riche en vapeur d'eau et en nuages. C'est dans cette couche que se déroule l'essentiel des phénomènes météorologiques. La température y décroît assez régulièrement avec l'altitude. La limite supérieure de la troposphère s'appelle la tropopause. Son altitude varie en fonction de la latitude, ainsi que de la situation météorologique. On la trouve en moyenne vers 6 à 8 km aux pôles, 11 km aux latitudes tempérées et vers 16-18 km aux latitudes équatoriales.

La moyenne atmosphère superpose la stratosphère, jusqu'à une cinquantaine de kilomètres d'altitude, et la mésosphère. La composition gazeuse de la stratosphère (et notamment la présence d'ozone stratosphérique) fournit à l'air de la chaleur. La température y croît avec l'altitude, d'abord faiblement, puis devenant plus nette à partir de 30 km. La limite supérieure de la stratosphère s'appelle la stratopause, avec une température moyenne de 0 °C. Plus haut, dans la mésosphère, la température décroît à nouveau.

On entre ensuite dans la haute atmosphère, au-delà de 85 km environ. C'est la thermosphère : la température y augmente rapidement avec l'altitude. L'air se raréfie et est soumis à une température considérablement croissante. La thermosphère est prolongée par l'exosphère, où l'altitude est désormais suffisante pour qu'une part notable des particules échappe à l'attraction terrestre. [2]

2. Pression atmosphérique

2.1. Définition :

La pression atmosphérique est la pression qu'exerce le mélange gazeux constituant l'atmosphère considérée comme étant de l'air sur Terre, sur une surface quelconque en contact avec elle. [3]

2.2. Principe :

Les molécules de ce mélange, animées d'un mouvement aléatoire incessant, l'agitation thermique, subissent des collisions entre elles et contre les surfaces des objets. Les forces d'impact dues aux chocs de ces molécules sur les objets présents dans l'atmosphère résultent en des forces réparties sur la surface de ces objets et qui sont responsables de la pression atmosphérique.

2.3. Pression et Atmosphère :

Plus précisément, la gravité présente sur Terre comprime l'atmosphère vers le sol de telle sorte qu'à chaque niveau, la pression locale ainsi générée soit suffisante pour supporter le poids total de la colonne d'air sus-jacente. La pression atmosphérique au niveau de la mer est en moyenne de 1013,25 hPa ou 1 atm. Elle dépend essentiellement de la masse de l'atmosphère, qui, étant distribuée de façon complexe par la circulation atmosphérique globale, fait varier la pression d'un endroit à l'autre.[3]

3. Pression atmosphérique et météo

La pression atmosphérique est l'un des facteurs météorologiques essentiels pour déterminer, au cours du temps, les prévisions climatiques sur Terre ou dans l'espace. C'est une grandeur évolutive qu'on surveille en permanence à l'aide d'instruments de mesure spécialisés. Les techniques utilisées sont nombreuses, elles se basent sur différents principes, selon la nature des applications envisagées [4].

Au niveau de la mer, la pression moyenne est de 1013.25 hPa. Météorologiquement parlant, dès lors que la pression descend en dessous de 1010 hPa, il s'agit de basses pressions (on dit aussi : dépression ou conditions dépressionnaires). Le vent est plutôt fort et le temps est mauvais avec un ciel souvent fort encombré et des précipitations fréquentes.

A contrario, lorsque la pression dépasse 1015 hPa, on parle alors de hautes pressions (on dit aussi : conditions anticycloniques). Le vent est faible et le temps est beau avec un ciel souvent bien dégagé.

La pression en mécanique est la force F en Newton exercée sur une surface S en m^2 . Elle est définie comme étant le rapport de F sur S d'où l'unité internationale est le N/m^2 [5].

4. Mesure de la Pression Atmosphérique

La pression atmosphérique se mesure à l'aide d'un baromètre, d'un hypsomètre ou d'un altimètre. Elle a été longtemps mesurée en millimètres de mercure (symbole mmHg ; nommé aussi torr, symbole Torr) à cause de l'utilisation courante du baromètre à colonne de mercure.[3]

4.1 Histoire de la mesure de la Pression Atmosphérique :

La pression atmosphérique est mesurée depuis plusieurs siècles, plus exactement depuis qu'un certain Evangelista Torricelli, en 1644, a inventé le baromètre à mercure. Alors physicien et mathématicien, il a l'idée de remplir un grand tube à essai de mercure, puis de le boucher avec un doigt et de le renverser dans une bassine contenant également de mercure. De ce fait, il constate alors que la hauteur de mercure dans le tube demeure aux environs de 76 cm, correspondant au poids de la colonne d'air s'exerçant sur une section de tube de 1cm². Il en déduit que les variations de la pression correspondent aux variations de la hauteur de mercure dans ce même tube.

199 ans plus tard, Lucien Vidie (un français) dépose le brevet du « baromètre anéroïde » qui est une capsule métallique en forme d'accordéon, dans laquelle on fait le vide d'air et qui se déforme en fonction des variations de la pression. Les déformations se répercutent sur une aiguille qui indique à l'observateur la pression atmosphérique et qui fait de ce baromètre : un baromètre à cadran. [6]

4.2. Caractéristiques de la Pression Atmosphérique

Tout d'abord il faut signaler que la pression atmosphérique, pour être rationnelle, doit être mesurée à une certaine altitude. En effet, selon un profil vertical, la pression diminue (de moitié à 5500 m) au fur et à mesure que l'altitude augmente, puisque le poids de l'air qui nous surplombe est moins important. (figure 1.3)

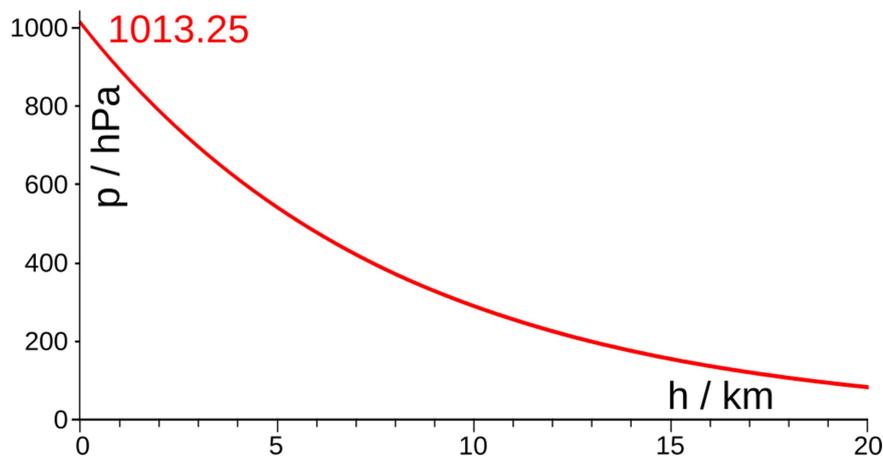


Figure1.3 : Pression Atmosphérique et Altitude. [7]

A noter également le fait que 90 % de la pression atmosphérique se concentre presque dans les 15 premiers kilomètres de l'atmosphère. Autrement dit, la pression va avoir tendance à diminuer plus intensément dans les basses couches qu'en altitude.

Toutefois, cette variation n'est pas linéaire. Pour la déterminer, il existe des calculs tenant compte de la variation d'altitude et de la température (loi du nivellement barométrique). La diminution est plus importante en basse altitude

qu'en haute altitude. Selon ces mêmes calculs, pour que la pression diminue de 1hPa, il faut monter de 8,5 mètres au niveau de la mer et 30 m vers 3000 mètres.

Afin de mieux appréhender les systèmes météorologiques à l'échelle mondiale, les météorologues analysent les variations de la pression atmosphérique. Cela permet de définir les anticyclones (A ou H) dont la pression est supérieure à 1013.25 hPa, et les dépressions (D ou L) dont la pression est inférieure à 1013.25 hPa.

Dans les régions de latitudes moyennes, la pression atmosphérique est un paramètre qui s'avère très fluctuant. Le palier inférieur est fixé autour des 950 hPa tandis que le palier supérieur se situe aux environs des 1050 hPa, soit une différence de 100 hPa.[6]

4.3. Unités de mesure de la Pression Atmosphérique

Depuis l'adoption du pascal dans le Système international d'unités (SI) comme unité de la pression, les météorologues utilisent un multiple de cette unité, l'hectopascal (hPa), qui a l'avantage de correspondre exactement au millibar utilisé auparavant : 1 hPa = 1 mbar.

Les météorologistes du monde entier ont depuis longtemps mesuré la pression atmosphérique en bar, qui était à l'origine égale à la pression moyenne de l'air sur la Terre. Aujourd'hui, de nombreux météorologistes utilisent hectopascals (hPa) pour la pression de l'air, équivalant à des millibars, alors que des pressions similaires sont données en kilo pascals dans pratiquement tous les autres domaines,

Ainsi, la pression atmosphérique représente le poids de la colonne d'air qui surmonte un point donné.

$P=F/S$: La pression en Pascal (Pa)

F : La force en Newton (N)

S : La surface en Mètre carré (m²)

[8]

Liste des différentes unités :

La pression atmosphérique normale est de :

101325 Pa = 1013,25 hPa = 1,01325 bar=1013,25 mbar

1 hectopascal (hPa) = 100 Pa = 1 mbar.

1 kilopascal (kPa) = 1000 Pa = 10 hPa = 10 mbar.

Le bar :

1 bar = 100 000 Pa.

1mbar= 1 hPa =100 Pa

L'atmosphère normale (symbole atm) :

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa.}$$

Le millimètre de mercure (symbole mmHg), encore appelé torr en hommage au physicien italien Evangelista Torricelli :

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ torr} = 133,3 \text{ Pa.}$$

Le millimètre d'eau (mmH₂O), ou le centimètre d'eau (cmH₂O) :

$$1 \text{ cmH}_2\text{O} = 98,0638 \text{ Pa.}$$

L'atmosphère technique (symbole at), ou ATA :

$$1 \text{ at} = 98\,066,5 \text{ Pa.}$$

Le psi, de l'anglais pound per square inch (livre par pouce carré) est une unité anglo-saxonne très utilisée notamment en hydraulique, en oléohydraulique et en hydrostatique :

$$1 \text{ psi} = 6\,894 \text{ Pa.}$$

Dans le système CGS, l'unité de pression est le **barye** (symbole **ba**), qui est égale à un décipascal = 0,1Pa

En science des matériaux, le méga pascal (MPa = N/mm²) ou giga pascal (GPa = kN/mm²) sont couramment utilisés pour mesurer la rigidité ou de résistance à la traction des matériaux.

En thermodynamique, le pascal est aussi équivalent à l'unité SI de la densité d'énergie, J/m³. Cela s'applique non seulement à la thermodynamique des gaz sous pression, mais aussi de la densité d'énergie électriques, magnétiques et gravitationnelles des champs. [9]

4.4. Notions d'isobares et de géopotentiels

Pour analyser une situation météorologique, le champ de pression est un élément fondamental. Chaque observation de pression à l'échelle du globe est ramenée au niveau de la mer, de façon à ce que les mesures soient comparables entre elles.

Un tracé de lignes isobares est ensuite réalisé, reliant les points d'égale pression, effectués généralement de 5 hPa en 5 hPa. Ainsi, on obtient une carte isobarique permettant de délimiter les zones dépressionnaires et les zones anticycloniques.

La pression peut également être représentée sous une autre forme : « les géopotentiels ». Il est d'ailleurs plus pratique de reporter les altitudes où se

situent les mêmes pressions de manière à cartographier le champ de pression à différentes altitudes.

Les lignes d'égalité altitude sont appelés des isohypses. Celles-ci sont mentionnées en décamètre (dam) de 4 en 4 unités. Ce type de cartographie est généralement utilisé pour des pressions standards (700, 500 et 300 hPa).

Pour la topographie de la surface 500 hPa (géopotentiels à 500 hPa : c'est l'altitude à laquelle on atteint 500 hPa), l'altitude moyenne est de 556 dam. En deçà de cette valeur, nous trouvons sur la zone, une dépression relative. A contrario, si les valeurs se situent au-dessus, nous trouvons sur la zone, un anticyclone relatif. [10]

5. Appareils de mesure de la Pression Atmosphérique

5.1. Baromètre :

Le **baromètre** est un instrument de mesure, utilisé en physique et en météorologie, qui sert à mesurer la pression atmosphérique. Il peut, de façon secondaire, servir d'altimètre pour déterminer, de manière approximative, l'altitude. [11]



Figure1.4 : exemple d'un Baromètre

5.2. Différents types de baromètres :[12]

On distingue principalement :

- **le baromètre à mercure** : la pression atmosphérique est équilibrée par une colonne de mercure surmontée d'un espace clos et vide. Il a été inventé par Evangelista Torricelli en 1643 ;

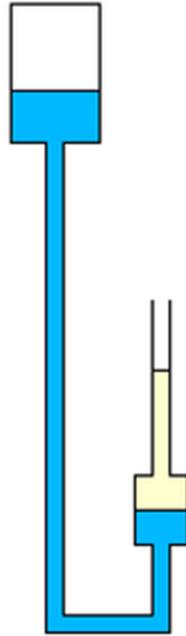


Figure 1.5 : Baromètre à Mercure : Principe du baromètre de Huygens

- **les baromètres à gaz** : ils utilisent la variation de volume d'un certain volume de gaz sous l'effet des variations de la pression atmosphérique.
- **les baromètres à eau** : Lorsque la pression atmosphérique augmente, le niveau du liquide dans le tube descend. Inversement, lorsque la pression baisse, il y a moins d'appui sur l'eau et le liquide monte. Les indications des baromètres à eau sont évidemment très liées à la température, et on ne se sert plus de ces appareils qu'à des fins décoratives.



Figure 1.6 : Baromètre à eau

- **le baromètre anéroïde** : la pression atmosphérique s'exerce sur une enceinte métallique, hermétiquement close et partiellement vide d'air. Celle-ci se déforme de façon élastique et un système mécanique permet

d'amplifier les mouvements qui résultent des variations de pression pour les rendre visibles sur un cadran.



Figure 1.7 : Baromètre anéroïde, début XXe siècle

CHAPITRE 2 :
SCHEMA SYNOPTIQUE DU
MONTAGE

CHAPITRE 2 : SCHEMA SYNOPTIQUE

2.1. Introduction :

Dans ce deuxième chapitre nous allons présenter les différents étages (ou Blocs) constituant les fonctions essentielles du montage : notre dispositif permet de donner une indication de la pression atmosphérique, cette indication permet de suivre l'évolution du climat, sachant que l'information reçue se traduit par l'affichage de plusieurs LED formant une interprétation de la mine d'un visage.

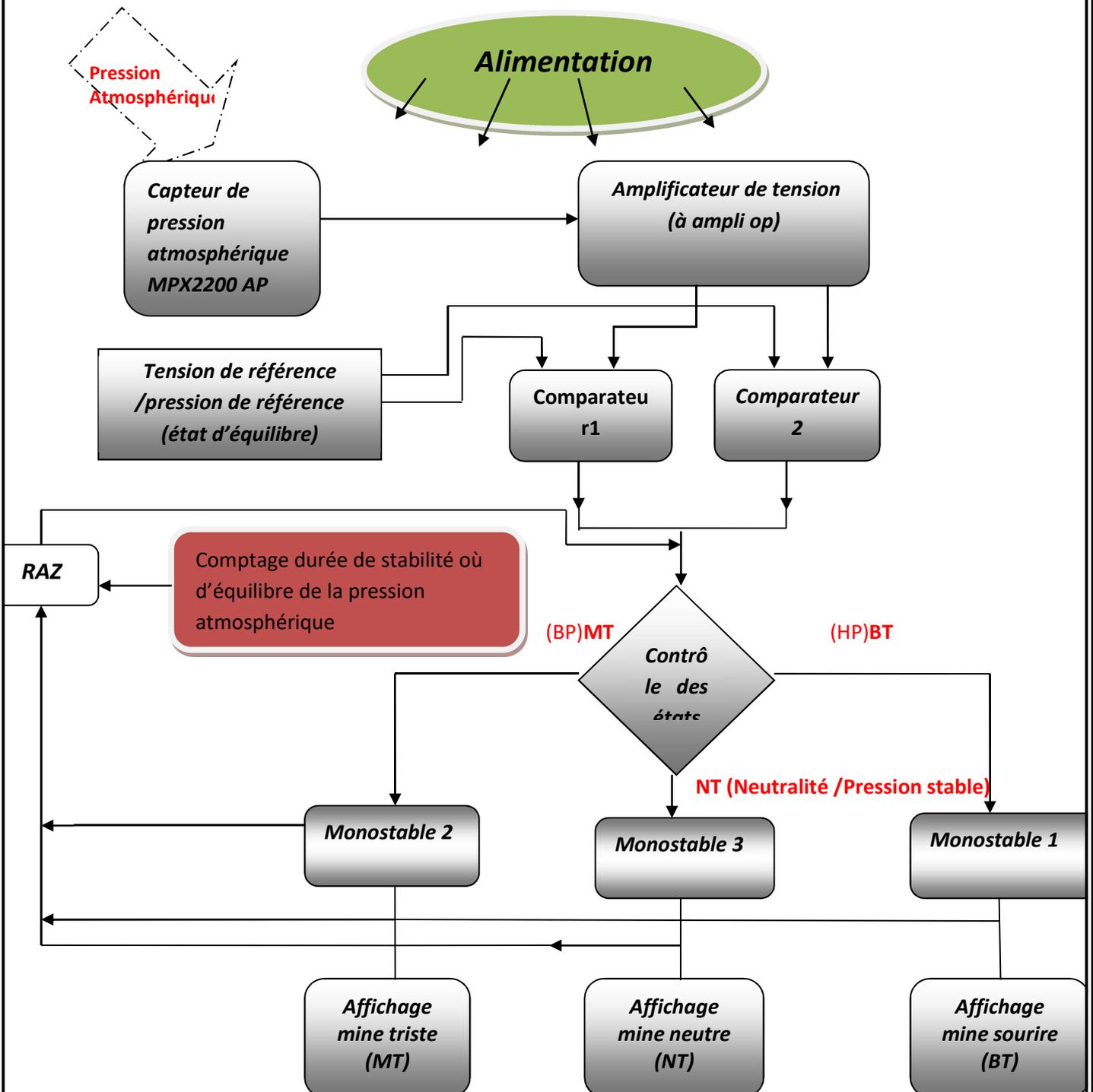


Figure 2.1 : Schéma Synoptique du Montage

2.2. Principe :

- Le système réagit par allumage des LED, dès que la pression atmosphérique varie dans un sens ou dans un autre, au delà d'un écart fixé, et dans un intervalle de temps donné.
- Au delà d'un temps fixé ou pré déterminé par l'utilisateur, le dispositif peut prendre une situation de stabilité ou de neutralité ou d'équilibre : dans ce cas l'indicateur de pression atmosphérique prend un air sérieux de neutralité (mine neutre) : allumage des LED du milieu.

2.3. Rôle des étages du montage :

2.3.1. Alimentation :

Certains équipements électroniques ont besoin d'une source de courant continu qui peut être une pile ou une batterie pour avoir une autonomie d'alimentation, mais généralement l'alimentation des appareillages est constituée d'un circuit transformant le courant alternatif du secteur (220V, 50Hz) en courant continu : c'est l'alimentation stabilisée. Le Bloc d'alimentation prévue pour alimenter notre dispositif permet de fournir une tension continue à tous les éléments du montage.

En outre L'alimentation prévue ; permettra d'alimenter en permanence plusieurs LED disposées en forme d'un visage ; donnant à l'allumage, une mine du visage (sourire ; tristesse ou Neutralité) en fonction des conditions météorologiques c'est-à-dire en fonction de la pression atmosphérique actuelle.

2.3.2. Détection pression atmosphérique :

Ce bloc est construit à base d'un capteur de pression atmosphérique. Le composant capteur de pression atmosphérique est de type MPX2200AP ; C'est un capteur linéaire; il est basé sur le principe de la piézoélectricité ; il permet donc de convertir une pression atmosphérique à partir d'une entrée d'air au capteur (une énergie mécanique) en une faible tension électrique (énergie électrique).

2.3.3. Amplification :

L'étage amplificateur est un amplificateur de mesure ou amplificateur d'instrumentation qui est construit à base d'un amplificateur opérationnel fonctionnant en différentiel ; il permet donc de recevoir à ces entrées inverseuse

(-) et non inverseuse (+) le signal sortant du capteur de pression qui est une tension très faible. Cette tension étant très faible nécessite une amplification de tension pour qu'elle puisse être traitée par les étages comparateurs suivants.

2.3.4. Etage comparateurs :

Ce dispositif nécessite 2 étages comparateurs qui permettent de comparer les signaux provenant de l'étage amplificateur et de l'étage de référence. Par ailleurs ces comparaisons vont permettre d'identifier ou de reconnaître les 3 états climatiques ressentis à savoir :

- l'état Basse Pression (BP) ou Mauvais Temps (MT)
- l'état Haute Pression(HP) ou Beau Temps (BT)
- l'état de Neutralité (NT) ou de stabilité (ou d'équilibre)

2.3.5. Contrôle d'état :

Cet étage comme son nom l'indique permet de contrôler ou de donner une information provenant des étages comparateurs ; il permet grâce à des portes logiques de donner les 3 états logiques fournissant des informations correspondant à la nature de la pression atmosphérique actuelle (BT) ; (MT) ou (NT).

2.3.6. Circuits d'affichage :

Les circuits d'affichage sont construits à base de 3 circuits monostables et des LED ainsi que des circuits dérivateurs de réinitialisation des LED. L'ensemble est relié au circuit à LED qui affichera en fonction de la pression atmosphérique actuelle une mine sourire du visage (BT) ou une mine tristesse du visage (MT) ou une mine neutre du visage (Temps Normale ou stable).

2.3.7. Circuit de temporisation :

Cet étage est construit à base du circuit intégré CD4060, qui est un compteur binaire 14 étages, commandé par la fréquence d'horloge d'un oscillateur interne qui fonctionne en fonction d'un choix sur R et C reliés à ce circuit, et qui en réalité à travers ses sorties Q0 à Q13 fournit des créneaux séquentiels diviseurs de fréquence en fonction de la fréquence d'horloge (de période T_H), c'est-à-dire que chaque sortie Q_n voit sa période s'allonger au fur et à mesure que n augmente. Chaque sortie Q_n est régie par la relation de sa période :

$$T_n = 2^n T_H \quad (2.1)$$

T_H étant la période de l'entrée Horloge du compteur

2.3.8. Remise à zéro :

Ce circuit permet de remettre le montage à zéro et remet le circuit à son état de neutralité soit manuellement à l'aide de boutons poussoirs, soit automatiquement en sélectionnant le comptage du temps à l'aide du circuit de temporisation. L'utilisateur pourra à sa volonté choisir un état de neutralité ou d'équilibre en appuyant sur le Reset et faire un réglage ou une mise au point du circuit.

CHAPITRE3 :
ETUDES DES ELEMENTS DU
MONTAGE

CHAPITRE 3 : ETUDES DES ELEMENTS DU MONTAGE

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons étudier les différentes fonctions électroniques et les différents composants électroniques qui ont une relation avec notre montage.

Notre montage est composé essentiellement :

D'une alimentation stabilisée

D'un capteur de pression Atmosphérique

D'une série d'amplificateurs opérationnels jouant le rôle d'amplificateur de mesure et de comparateurs utilisant le circuit intégré LM324

Du circuit intégré logique à porte NOR : CD4001

D'un compteur binaire 14 étages: CD4060.

Différentes fonctions électroniques font partie du fonctionnement de notre montage: dont le circuit monostable à porte NOR qui sera traitée dans cette partie.

3.2. Alimentation Stabilisée :[13]

Les circuits électroniques courants ont généralement besoin d'une tension de +5V quand il s'agit de circuits logiques TTL ; les transistors fonctionnent sous des tensions 9, 12 ou 24V. Quant aux amplificateurs opérationnels, ils nécessitent souvent une alimentation de +15 et -15V. Le rôle d'une alimentation continue est de fournir les tensions et courants nécessaires au fonctionnement des circuits électroniques avec le minimum d'ondulation résiduelle et la meilleure régulation possible. Elles doivent, de plus, souvent limiter le courant fourni en cas de surcharge ainsi que la tension continue qu'elle délivre, ceci afin de protéger les composants fragiles. Il existe des moyens divers pour produire une tension continue stable à partir d'une tension alternative.

Deux méthodes seulement sont fréquemment employées :

1. La stabilisation linéaire
2. La stabilisation par découpage.

Le principe de l'alimentation stabilisée que nous avons utilisé pour notre montage est dite classique, elle est donnée sur le schéma bloc de la figure 3.1 suivante :

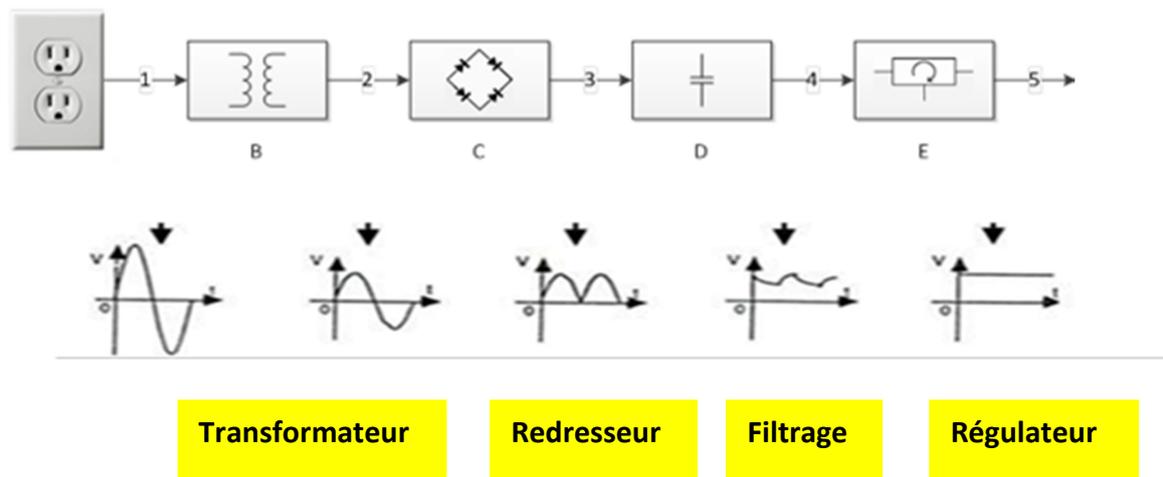


Figure 3.1 : Schéma synoptique d'une alimentation stabilisée.

Une alimentation est un montage transformant la tension alternative du secteur en une tension continue basse tension linéaire. Le schéma synoptique d'une alimentation classique est composé d'un transformateur, d'un redresseur, d'un filtre et d'un régulateur de tension selon les besoins.(figure 3.1)

3.2.1. Le transformateur :

Le transformateur est un élément statique à induction électromagnétique, il permet de transformer la tension du réseau électrique vers une tension plus basse, il se compose d'un enroulement primaire de N_1 spires, et d'un enroulement secondaire de N_2 spires et d'un circuit magnétique appelé noyau qui sert à canaliser le champ magnétique produit par le primaire (Figure 3.2).

Le transformateur remplit généralement deux fonctions : l'isolement galvanique entre l'équipement et le secteur ; et la transformation de la tension alternative du réseau.

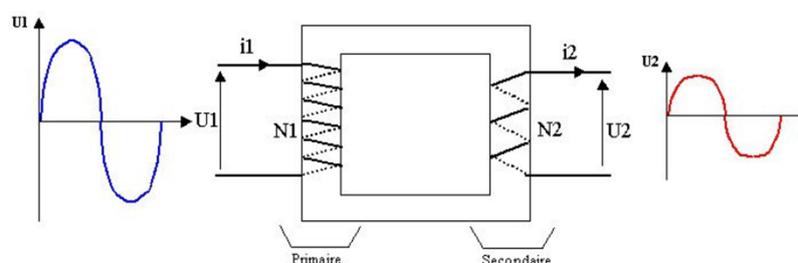


Figure 3.2 : Transformateur.

3.2.2. Le redressement :

Il convertit la tension alternative du secondaire du transformateur en impulsions unidirectionnelles du courant. Pour introduire cette notion de redressement il faut tout d'abord introduire la notion de diode parce que tout simplement le redressement s'effectue à l'aide des diodes.

On n'utilise généralement : le redressement double alternance ou onde entière par pont de Graetz. Le pont de Graetz est constitué de quatre diodes disposées en losange. Il existe des ponts de diodes intégrés, c'est à dire moulées dans un seul boîtier.

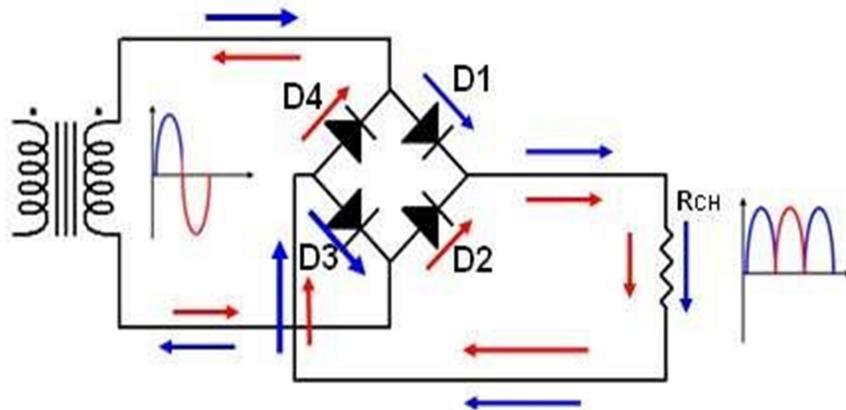


Figure 3.3 : Redressement double alternance

3.2.3. Le filtrage:

Le filtrage sert à lisser le courant redressé brut fourni par le redresseur sous forme de tension pulsée. Sur nos matériels de faible puissance on utilise des filtres à capacité d'entrée (condensateur), celle-ci servant de stockage pour les impulsions débitées par le redresseur. Le filtrage s'effectue à l'aide des capacités de filtrage.

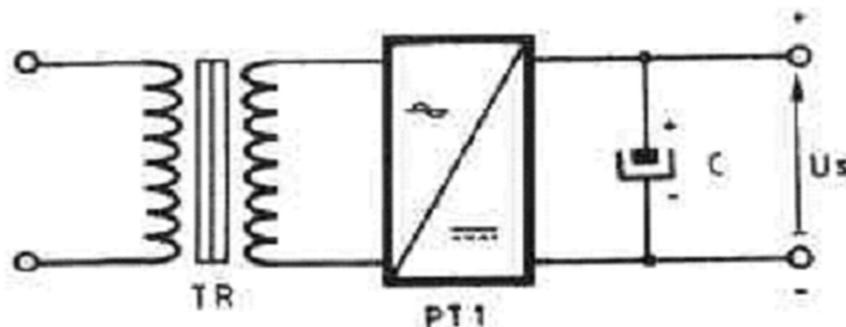


Figure3.4 : Redressement et filtrage d'une tension alternative

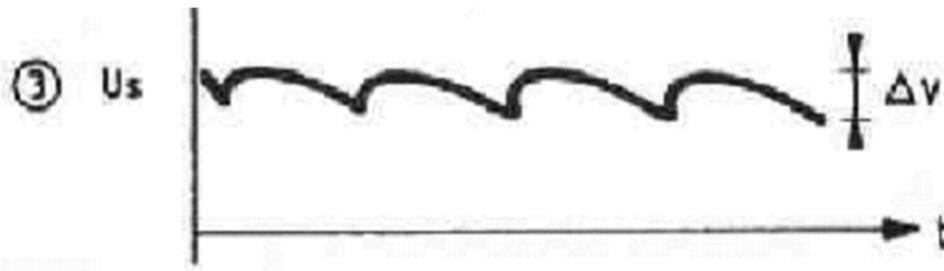


Figure 3.5 : allure de la tension redressée après filtrage.

Pour éliminer les ondulations on utilise un condensateur de forte capacité.

3.2.4. La Régulation :

La fonction d'un régulateur de tension est de convertir une tension ayant une certaine ondulation en une tension particulièrement stable. Il doit maintenir ces conditions de stabilité dans une large gamme de variation du courant de charges mais également des fluctuations de la tension d'entrée. Le schéma fonctionnel d'un régulateur se caractérise par une boucle de contre réaction : Le fonctionnement est celui des systèmes asservis ou systèmes bouclés.

3.3. Introduction sur les capteurs :[14]

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. En d'autres termes, les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande (donc sous une forme électrique). Le but étant de faire évoluer le système aux caractéristiques de l'environnement extérieur.

Dans les systèmes automatisés séquentiels, la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numériques (valeur discrète) ou analogique.

Nous pouvons caractériser les capteurs selon deux critères :

- en fonction de la grandeur mesurée ; on parle de capteurs de position, de température, de vitesse, de force, de pression etc.
- en fonction du caractère de l'information délivrée ; on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques, pneumatique. Pour choisir un capteur spécifique, il faut donc chercher à délimiter les principales caractéristiques que l'on souhaite lui attacher. Globalement, voici les caractéristiques que nous avons cherché à délimiter :

- L'étendu de la mesure : C'est plus ou moins la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible.
- La précision : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande.

Tous les capteurs présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter ou mesurer un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire un événement en un signal compréhensible par un système de contrôle PC. Pour choisir correctement un capteur,

il est donc important de définir :

- Le type d'évènement à détecter
- La nature de l'évènement.
- La grandeur de l'évènement.

En fonction de ces paramètres, on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un type de détection. D'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser.

- Ses performances.
- Son encombrement.
- Sa fiabilité.
- La nature du signal délivré par le capteur (électrique, pneumatique etc.)
- Son prix.

3.3.1. Différents types de capteurs : [15]

Nous présentons dans le tableau 3.1 ci-dessous les différents types de capteurs selon leurs spécificités.

LES CAPTEURS LES PLUS FREQUENTS	
Inductif.	Produisent dans l'axe du capteur un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par système constitué d'une self et d'une capacité montée en parallèle. Lorsqu'un objet métallique pénètre dans ce champ, il y a perturbation de ce champ, atténuation du champ oscillant.
Capacitif.	Capteurs de proximité qui permettent de détecter des objets métalliques ou isolants. Lorsqu'un objet entre dans le champ de détection des électrodes sensibles du capteur, la fréquence des oscillations est modifiée en même temps que la capacité de couplage du condensateur.
Capteur photoélectrique ou optique.	se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur. La détection d'un objet se fait par coupure du faisceau lumineux
Capteur de position	Ce sont des capteurs à contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien et peut être électrique ou pneumatique.
Capteur ILS (Interrupteur à lame Souple)	Un capteur ILS est un capteur de proximité composé d'une lame souple sensible à la présence d'un champ magnétique mobile. Lorsque le champ se trouve sous la lame, il ferme le contact du circuit provoquant la commutation du capteur. Ce capteur se monte directement sur un vérin et permet de détecter des positions autres que les positions extrêmes. Pour utiliser ce type de capteur, il est nécessaire d'utiliser un vérin comportant un aimant sur le piston.
Capteurs à fuite.	Les capteurs à fuite sont des capteurs de contact. Le contact avec l'objet à détecter peut se faire soit par une tige souple, soit par une bille. Pour pouvoir fonctionner correctement, ces capteurs doivent être couplés avec un relais pour capteur à fuite. Le capteur est alimenté en pression par le relais. L'air peut alors s'échapper de ce capteur par un orifice prévu à cet effet. Lorsque la bille ou la lame souple est déplacée dans son logement, elle obture l'orifice d'évacuation d'air et le relais pour capteur à fuite se déclenche et émet un signal à la pression industrielle.
Capteur de température :	pyromètre, thermomètre, sonde PT100, thermocouple, thermistance...
Capteur de pression :	tube de Bourdon, capsule anéroïde, piézo-électrique, corde vibrante, baromètre, hypsomètre...
Capteur de lumière :	photodiode ou phototransistor, capteur photographique, cellule

	photoélectrique...
Capteur de débit :	débitmètre à turbine, roues ovales, plaque à orifice, tube de Pitot, débitmètre à effet vortex, débitmètre, lectromagnétique, débitmètre à Venturi, débitmètre à ultrasons, débitmètre ionique, débitmètre massique...
Capteur de courant :	Capteur de courant à effet Hall, Shunt...
Capteur de son :	microphone, hydrophone...

Tableau 3.1 : Différents types de capteurs

Dans notre circuit on a utilisé le capteur de pression de type : MPX2200AP

3.3.2. Le capteur MPX2200AP : [16]

Le MPX22000AP est un capteur de pression piézorésistif au silicium fournissant une tension de sortie très précise, linéaire et directement proportionnelle à la pression appliquée (figure 3.6)

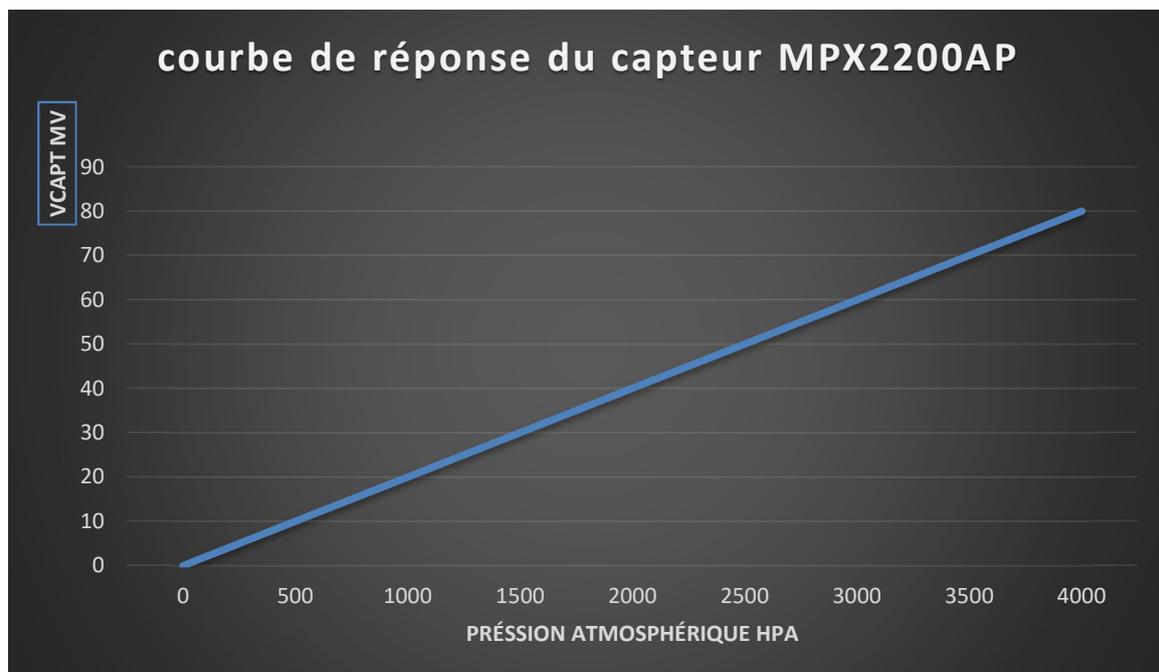


Figure 3.6 : courbe de réponse du capteur MPX2200AP

Le capteur de pression MPX2200ap est un composant électronique qui dispose de quatre broches (figure 3.7) :

Le pin 1 est la masse, le pin 3 sert pour l'alimentation Vcc et les pins 2 et 4 sont des sorties fournissant une faible tension connectée à l'entrée d'un amplificateur de mesure ou d'instrumentation.

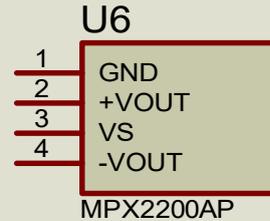


Figure 3.7 : Image et Brochage du capteur MPX2200AP

3.3.2.1. Caractéristiques :

- Température compensée sur 0°C à + 85°C
- Alimentation électronique : 10....16 V
- Plage de pression : 0 à 2000 hPa.
- Sensibilité : 0.2 mv / KPa.
- Résistance 2.5 ohm.
- Jauge de contrainte de cisaillement en silicone brevetée
- ±0,25 % de linéarité (MPX2200D)
- Ensemble de support de puce facile à utiliser
- Disponible en configurations absolue, différentielle et manométrique.

3.3.2.2. Exemples d'applications :

- Contrôleurs de pompe/moteur
- Robotique
- Indicateurs de niveau
- Diagnostic médical
- Commutation de pression
- Baromètres

3.4. Amplificateur opérationnel :

3.4.1. Définition :[17]

L'amplificateur opérationnel est un dispositif ou élément électronique se comportant comme une source de tension contrôlée par la tension. Un ampli op est un dispositif électronique complexe composé de résistances, de condensateurs, de transistors et de diodes. Il est disponible dans le commerce sous forme de circuit intégré.

Outre les diverses fonctions mathématiques que peut produire l'amplificateur opérationnel telles que : amplificateur direct, inverseur, suiveur, soustracteur, additionneur, dérivateur, intégrateur, il peut fonctionner aussi comme comparateur, ou comme amplificateur de mesure qui sont des applications utilisées dans notre projet.

3.4.2. Amplificateur de mesure :

Un amplificateur de mesure (en anglais Instrumentation Amplifier, in-amp ou INA) est un dispositif électronique destiné au traitement de faibles signaux électriques. On le trouve également dans la littérature sous le nom d'amplificateur d'instrumentation.

L'amplificateur de mesure est un élément essentiel dans la partie de conditionnement d'une chaîne d'acquisition : il permet le traitement de signaux issus de capteurs de mesure.

En fait l'amplificateur de mesure est un amplificateur différentiel ;

L'amplificateur différentiel classique est réalisé à partir d'un amplificateur opérationnel, utilisé en mode linéaire (la contre réaction de la sortie est prise sur son entrée négative).

Dans le cadre de notre projet nous avons utilisé un amplificateur de mesure utilisant un Ampli Op (figure 3.8) ; Calculons alors le gain de cet Amplificateur :

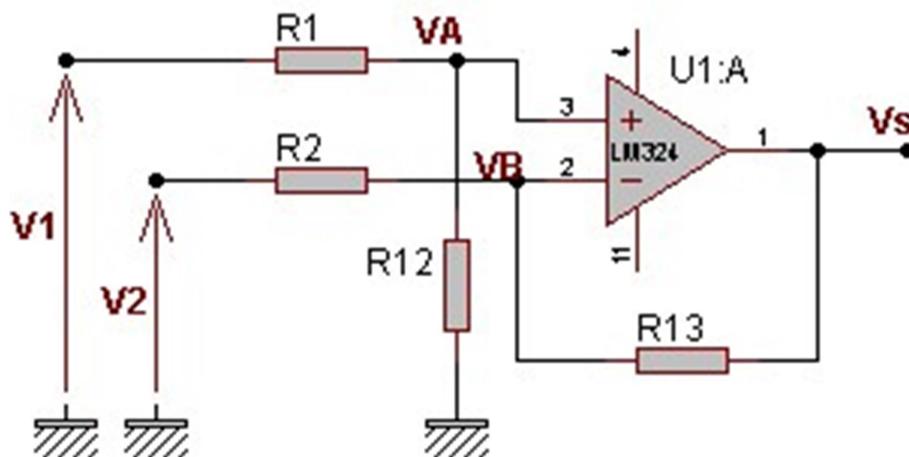


Figure 3.8 : Amplificateur de mesure à 1 ampli Op

$$G = V_s / (V_1 - V_2) \quad (3.1)$$

D'après le théorème de Millman :

$$\bullet V_A = (V_1/R_1) / (1/R_1 + 1/R_{12}) \quad (3.2)$$

$$V_A = (V_1 R_{12}) / (R_1 + R_{12})$$

et

$$\bullet V_B = (V_2 / R_2 + V_S / R_{13}) / (1/R_2 + 1/R_{13}) \quad (3.3)$$

$$V_B = (V_2 R_{13} + V_S R_2) / (R_2 + R_{13})$$

Puisque : $V_A = V_B$ dans le cas d'un ampli op parfait, donc :

$$(V_1 R_{12}) / (R_1 + R_{12}) = (V_2 R_{13} + V_S R_2) / (R_2 + R_{13})$$

$$(V_1 R_{12}) / (R_1 + R_{12}) = (V_2 R_{13}) / (R_2 + R_{13}) + (V_S R_2) / (R_2 + R_{13})$$

$$(V_S R_2) / (R_2 + R_{13}) = (V_1 R_{12}) / (R_1 + R_{12}) - (V_2 R_{13}) / (R_2 + R_{13})$$

$$V_S = [(R_2 + R_{13}) / R_2] * [(V_1 R_{12}) / (R_1 + R_{12}) - (V_2 R_{13}) / (R_2 + R_{13})]$$

$$V_S = [(R_2 + R_{13}) / R_2] * (V_1 R_{12}) / (R_1 + R_{12}) - [(R_2 + R_{13}) / R_2] * (V_2 R_{13}) / (R_2 + R_{13}).$$

Finalement la tension de sortie s'exprime :

$$V_S = V_1 * [R_{12} / (R_1 + R_{12})] * [(R_2 + R_{13}) / R_2] - V_2 * R_{13} / R_2 \quad (3.4)$$

En général, on prend :

$$R_1 = R_2 \quad \text{Et} \quad R_{12} = R_{13}$$

Donc :

$$V_S = V_1 * [R_{12} / (R_1 + R_{12})] * [(R_1 + R_{12}) / R_1] - V_2 * R_{12} / R_1 \quad (3.5)$$

$$V_S = V_1 * R_{12} / R_1 - V_2 * R_{12} / R_1$$

$$V_S = (V_1 - V_2) * R_{12} / R_1 \quad (3.6)$$

Et donc le gain se réduit à :

$$G = R_{12} / R_1 = R_{13} / R_2 \quad (3.7)$$

3.4.3. L'amplificateur opérationnel comme comparateur : [18]

Le comparateur est un dispositif permettant de comparer une tension par rapport à une référence donnée. Son niveau de sortie est soit positif soit négatif (au potentiel de la tension d'alimentation). Le montage du comparateur se fait sans contre-réaction (en boucle ouverte).

Une tension de référence donne le point de basculement de l'amplificateur opérationnel.

Dans un comparateur (figure 3.9), une tension de référence est mise en place sur l'une des entrées de l'AOp, par exemple la borne non inverseuse, alors que l'autre borne d'entrée reçoit la tension à comparer. La tension de référence peut être obtenue par exemple par un pont diviseur de tension.

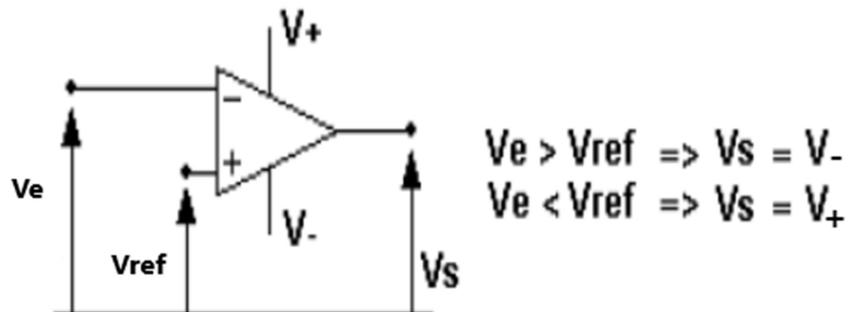


Figure 3.9 :L'amplificateur opérationnel comme comparateur

- Si la tension à la borne - est supérieure à la tension de référence (entrée +), la tension de sortie sera « négative » et correspond la tension minimale de saturation.
- Si la tension à la borne - est inférieure à la tension de référence (entrée+), la tension de sortie sera « positive » et correspond la tension maximale de saturation.

La figure (3.10) interprète la comparaison entre les 2 signaux d'entrée où la tension de référence se situe sur la borne(+) non inverseuse. Le signal S à la sortie prend 2 états (Bas ou Haut).

- Si ($e^- > e^+$) alors : Vs est au niveau bas.
- Si ($e^- < e^+$) alors : Vs est au niveau haut.

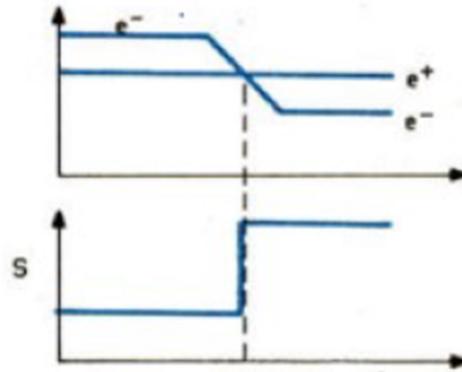


Figure 3.10 : Comparaison des signaux d'entrée.

On a utilisée dans notre circuit le comparateur à base du circuit intégré LM324 :

3.5. Le Circuit Intégré LM324 : [19]

3.5.1. Définition :

Le LM324 comporte 4 amplificateurs Opérationnels indépendants à gain élevé.

Il est conçu pour fonctionner à partir d'une alimentation simple ou double symétrique sur une vaste plage de tensions allant de 5V à 32V.

La température de fonctionnement varie de 0 ° C à 70 ° C à température ambiante alors que la température maximale de jonction peut atteindre 150 °C.

Développant un courant au grand maximum de 60mA (en court-circuit), il est préférable de ne pas se mettre dans cette configuration pour que notre LM324 puisse résister le plus longtemps possible, mais plutôt préférable pour lui de fonctionner autour de 20mA.

3.5.2. Fonctionnalités :

Vaste plage d'alimentation :

*Alimentation simple : 3V à 32V.

*Alimentation doubles : $\pm 1.5V$ à $\pm 16V$.

Faible courant absorbé indépendant de la tension d'alimentation : 0,8 ma typ.

La plage de tension d'entrée en mode commun inclut la masse ce qui permet une détection directe près de la masse.

Plage de la tension d'entrée différentielles égale à la tension d'alimentation nominale maximale : 32V.

Faible polarisation d'entrée et paramètres de décalage

Tension de décalage en entrée : 3mv typ.

Amplification de tension différentielle à boucle ouverte : 100V/mv typ.

Compensation de fréquence interne.

Gain100Db.

3.5.3. Applications :

Leurs domaines d'application comprennent:

- Intégrateur, différentiateur, additionneur, suiveur de tension, etc.
- Transducteurs Amplificateurs.
- Circuits de filtrage.
- Comparateurs (Contrôle de boucle et régulation).
- Blocs de gain DC etc.

3.5.4. Brochage du LM324 :

Le LM324 ainsi que ses circuits équivalents se présentent selon le brochage de la figure ci-dessous. Ils peuvent donc être installés ou prendre place sur le même support de 14 broches prévu pour subir le test de fonctionnement.

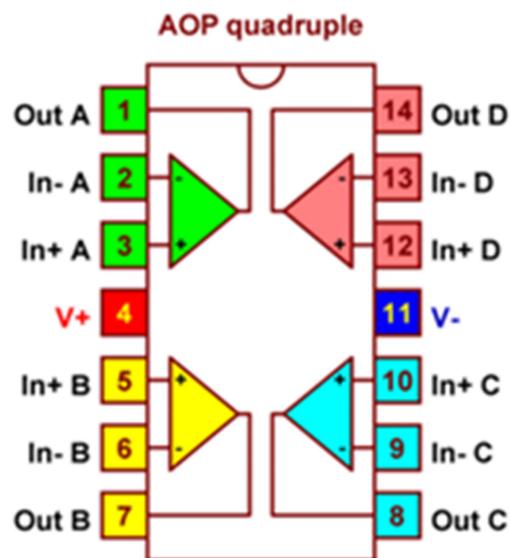


Figure 3.11 : Brochage du CI LM324

3.6. Le Circuit Intégré CD4001 : [20]

Le CD4001 fait partie de la série des circuits intégrés 4000 utilisant la technologie CMOS. Ce circuit est composé de 4 portes logiques indépendantes NON-OU à deux entrées. La porte NOR est une porte logique numérique qui met en œuvre la logique.

3.6.1. La porte logique NOR :

La porte NOR présente l'inverse de l'état de la sortie de la porte OR.

Le symbole de la porte NOR ou Non OU est donnée par la figure suivante :



INPUT		OUTPUT
A	B	A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Figure 3.12 : symbole et table de vérité de la porte NOR. [21]

3.6.2. Brochage du CI 4001 :

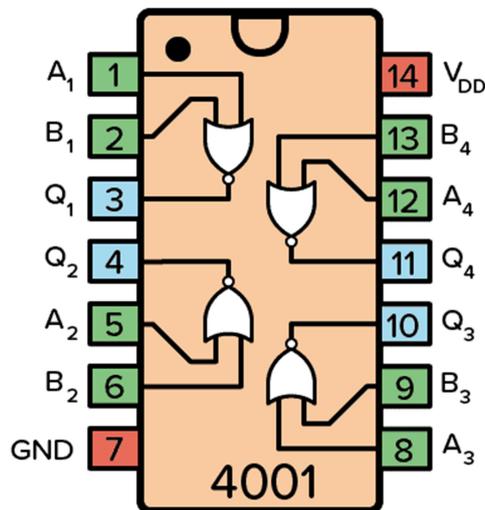


Figure 3.13 : Brochage du Circuit Intégré 4001

Le CD4001 (portes logiques NOR) et le CD4081 (portes logiques AND) interviennent dans les différentes parties de notre circuit étudié, pour la simulation et le fonctionnement de notre montage.

Outre les diverses portes logiques utilisées dans notre montage, la porte NOR a été particulièrement exploitée dans notre projet pour réaliser un circuit monostable comme nous allons le voir un peu plus loin.

3.7. Le Circuit Intégré CD4060 : [23]

3.7.1. Définition :

Le CD4060 est un compteur binaire à 14 étages. Il comporte des portes logiques nécessaires pour réaliser à l'aide d'un circuit RC ou d'un quartz extérieur un oscillateur.

3.7.2. Fonctionnement du CD4060 :

Le CD4060 est un Circuit intégré à 16 broches, son utilisation courante consiste à diviser la fréquence d'entrée par des puissances de 2. Son point fort est qu'il possède un oscillateur intégré, donc on n'a pas besoin d'une puce supplémentaire pour générer l'horloge.

Ce circuit comporte en outre une entrée de remise à zéro générale active au niveau haut (RAZ). Un niveau logique haut sur cette entrée, initialise tous les étages et force toutes les sorties au niveau logique bas.

3.7.3. Brochage de CD4060 :

Le CD4060 comporte 16 broches. Notons particulièrement les broches «alimentation » et « masse » en rouge et les sorties en bleu.

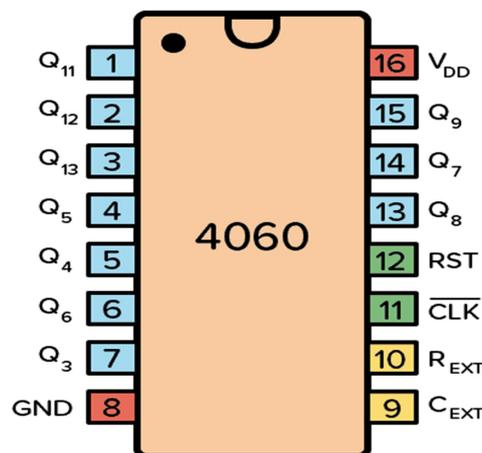


Figure 3.14 : Brochage du CI 4060

3.7.4 Caractéristiques technique du circuit intégré CD4060 :

Boîtier : SOIC-16

Type : compteur binaire

Cadence de comptage : 30 MHz

Type de déclenchement : Front négatif

Tension d'alimentation min : 3V

Tension d'alimentation max : 15 V

Température de fonctionnement min : -40° C

Température de fonctionnement max : +85 °C

Applications : Compteurs de contrôle, Minuteriers, Séparateurs de fréquence, Circuits temporisés.

3.8. Circuit Monostable à portes NOR :[24]

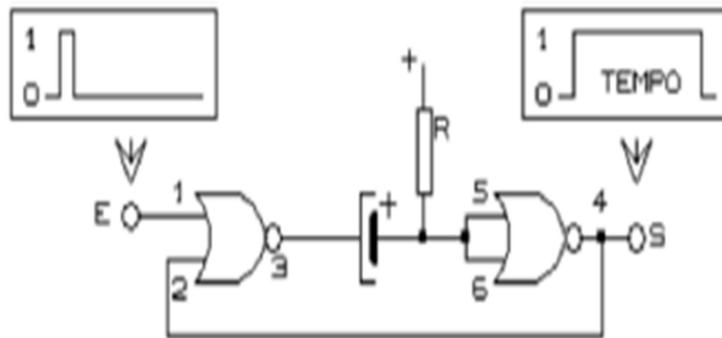


Figure 3.15 : Monostable à portes NOR.

A l'état de repos, l'entrée E et la sortie S sont à l'état bas, la sortie de la porte NOR1 et les entrées réunies de la porte NOR2 sont donc à l'état haut, la capacité C dont les armatures sont au même potentiel positif, se trouve donc déchargée.

Dès l'apparition d'un état haut sur l'entrée E de la porte NOR1, sa sortie passe à un état bas.

Cet état bas se transmet aux entrées de la porte NOR2 et donc sa sortie passe à l'état haut. Le condensateur commence à se charger et poursuit sa charge à travers R jusqu'au moment où le potentiel aux entrées réunies de la porte NOR2 dépasse le seuil de basculement.

La sortie de la porte NOR2 revient à ce moment à l'état bas, et l'entrée de la porte NOR1 se trouve de nouveau soumise à un état bas.

La durée du niveau haut de sortie est proportionnelle à la constante de temps RC. Cette durée de fonctionnement du circuit monostable est donnée par :

$$T = \ln 2 * RC = 0,69 * RC \approx 0.7 RC \quad (3.8)$$

On peut donc régler la durée du monostable en fixant les valeurs de R et C.

3.9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté et étudié les éléments essentiels qui constituent notre montage. Par ailleurs nous avons étudié et montré les fonctions électroniques contribuant au fonctionnement et à la simulation de notre circuit. Ces fonctions font appel à des ampli Op pour amplifier un signal provenant d'un capteur, ou pour compare des tensions. Les portes logiques ont été exploitées pour réaliser des circuits monostables ou pour contrôler des états logiques et pour commander des circuits d'affichage.

CHAPITRE 4:
SIMULATION DU MONTAGE :
INDICATEUR DE PRESSION
ATMOSPHERIQUE

Chapitre 4: Simulation du montage : indicateur de Pression Atmosphérique

4.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons donner une présentation sur le logiciel de simulation PROTEUS ensuite nous présenterons le schéma électrique du montage sous sa configuration réelle et sous sa configuration simulée. Pour expliquer le fonctionnement de notre montage indicateur de pression atmosphérique nous avons décomposé notre circuit en plusieurs sous-ensembles afin que l'explication et la simulation soit plus claire.

4.2. Le langage de Simulation :

La simulation représente un vaste champ pour le développement scientifique et Technologique. Outre le gain du temps, elle permet de réduire les coûts engendrés par une suite d'essais expérimentaux. Elle offre ainsi aux fabricants de circuits aux utilisateurs, aux étudiants et aux enseignants la possibilité de simuler les différents circuits avant de passer à la réalisation.

Il existe plusieurs logiciels de simulation comme multi Sim, PDN Analyzer...etc. mais le simulateur le plus utilisé reste le logiciel "PROTEUS". Donc, il est intéressant de donner un Aperçu sur ce logiciel.

4.3. Présentation du logiciel PROTEUS :

PROTEUS représente une suite logicielle de conception assisté par ordinateur (CAO) destinée au domaine de l'électronique.[25].

Cet environnement, développé par la société Labcenter Electronics, permet la conception et la simulation d'un système électronique complet y compris le code du microcontrôleur.

De manière générale, le logiciel PROTEUS est constitué principalement de deux modules :

- ISIS : permet d'éditer et de vérifier le fonctionnement du circuit

- ARES : est un outil destiné à la réalisation des circuits électroniques imprimés.

Avantages de PROTEUS :[26]

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et Utiliser.
- Le support technique est performant.
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

4.3.1. Présentation de l'environnement ISIS de PROTEUS

Le logiciel ISIS : Intelligent Schematic Input System de PROTEUS est principalement connu pour éditer des schémas. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler des schémas électroniques ce qui permet de vérifier le fonctionnement du circuit ou de déclarer certaines fautes dès l'étape de préparation, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de vérifier la majorité de l'aspect graphique des circuits. [27]

4.3.2. Présentation de l'interface d'ISIS de PROTEUS :

Le lancement de PROTEUS donne un environnement classique de type Windows, composé d'une fenêtre principale, et d'un ensemble de barres d'outils. Outre le menu classique permettant la gestion des fichiers, de l'affichage, et des options des projets, la fenêtre important comprend une Zone de travail destinée au développement des circuits à simuler et à tester. Une Bibliothèque d'objets annonce la liste des objets (circuits électriques, électroniques,...) utilisés dans l'application en cours. Les différentes Touches magnétoscope constituent des raccourcis permettant le lancement de la simulation, ainsi que la mise en pause, l'exécution pas à pas, et l'arrêt de la simulation.

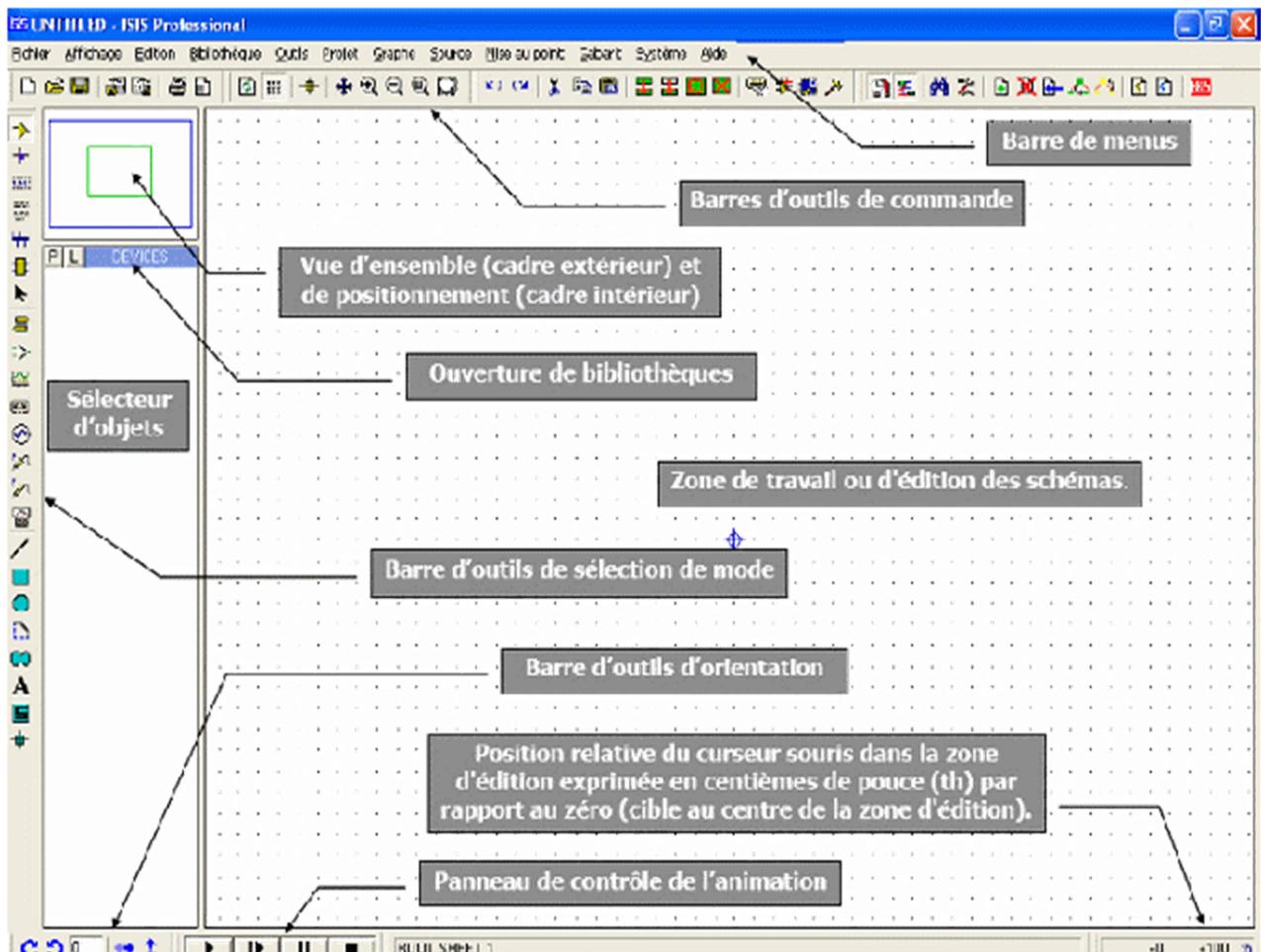


Figure 4.1 : environnement de travail ISIS de Proteus.[28]

4.3.2.1 La barre d'outils principale :

La boîte verticale de boutons, comprend les principaux raccourcis nécessaires au développement rapide d'applications. En plaçant le curseur de la souris sur un bouton, sans cliquer, une info-bulle affiche le nom du bouton, dont les plus importants sont :

- ✓ **Component mode (Mode Composant)**

Un clic sur ce bouton puis Component from libraires, permet l'ajout de différents composants.

- ✓ **Génération Mode (Mode Générateur)**

Permettant l'accès aux différents types de générateurs.

- ✓ **Instruments**

Un raccourci permettant l'ajout des appareils de mesure tels que le voltmètre, l'ampèremètre, et l'oscilloscope.

✓ **Terminal**

Permettant d'ajouter des points particuliers dans un schéma tels que les entrées/sorties ou Gnd.

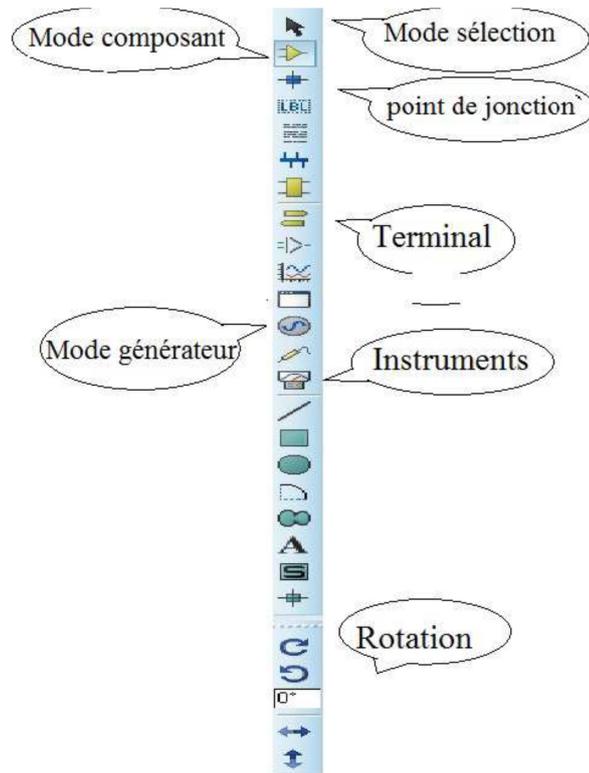


Figure 4.2 : La barre d'outils principale.

4.3.3 Présentation de l'interface ARES de PROTEUS :

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement. Ce logiciel ARES permet dans un premier temps de placer les différents composants du circuit selon leur package ou boîtier disponible [29] et par la suite, il suffit de lier les différents composants en utilisant les différents modes de routages (routage manuel ou automatique). Il permet par ailleurs de

donner un aperçu ou une visualisation en 3D de la carte à réaliser avant même sa création. [26]

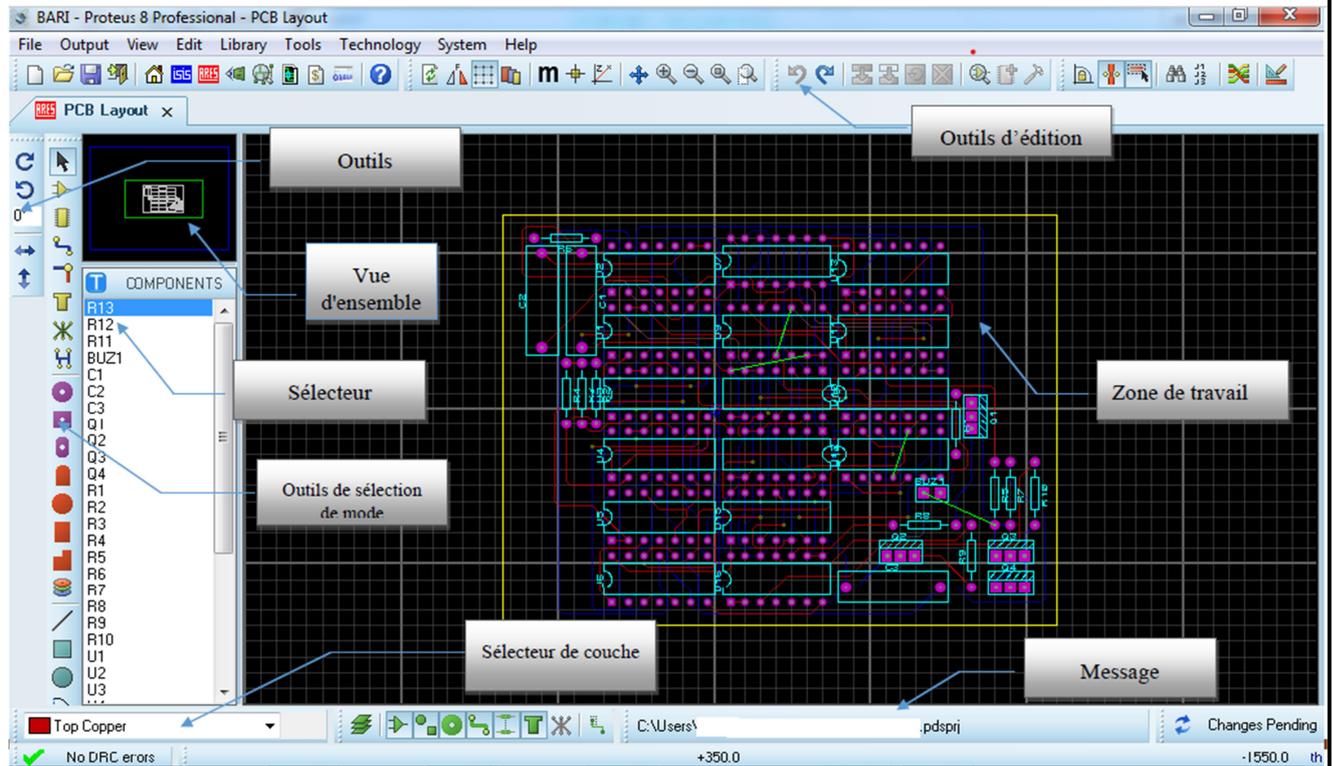


Figure 4.3 : Environnement de Travail ARES de PROTEUS

4.4. Schéma électrique général du montage :

Le schéma électrique réel du montage comprend le capteur de pression atmosphérique MPX2200 et une alimentation stabilisée de 10V (figure 4.4)

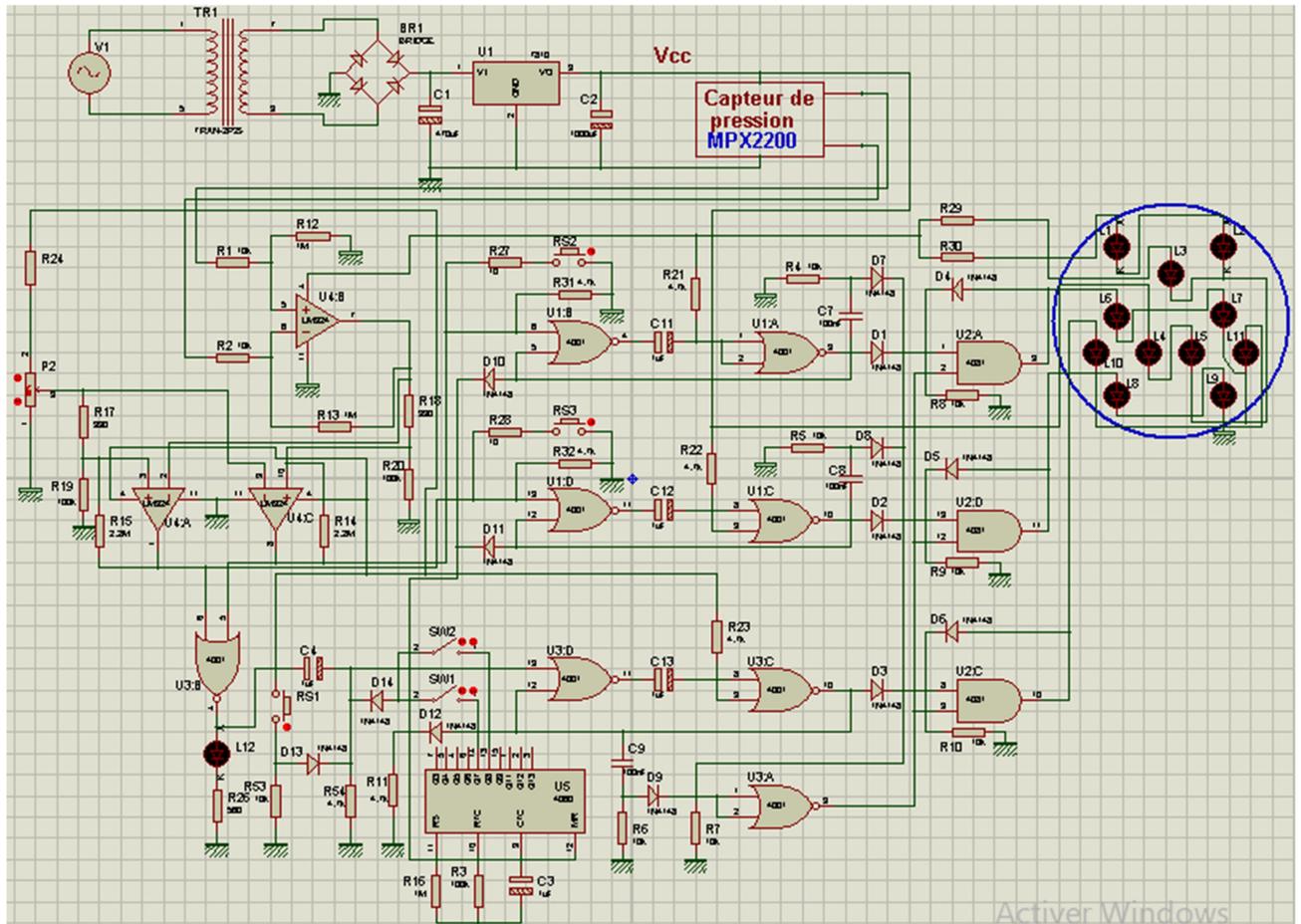


Figure 4.4 : Schéma du circuit globale : configuration réelle

Dans le cadre de notre projet basé sur l'étude et la simulation d'un indicateur de pression atmosphérique, nous avons remplacé le capteur de pression par un diviseur de tension fournissant une tension de sortie de 20mV équivalente à celle du capteur. Par ailleurs les circuits intégrés sur ISIS de PROTEUS sont directement alimentés par la tension interne du logiciel ISIS, donc on peut utiliser cette alimentation pour la simulation de notre montage.

Le schéma électrique général de simulation de notre montage se présente sur la figure suivante (figure 4.5) :

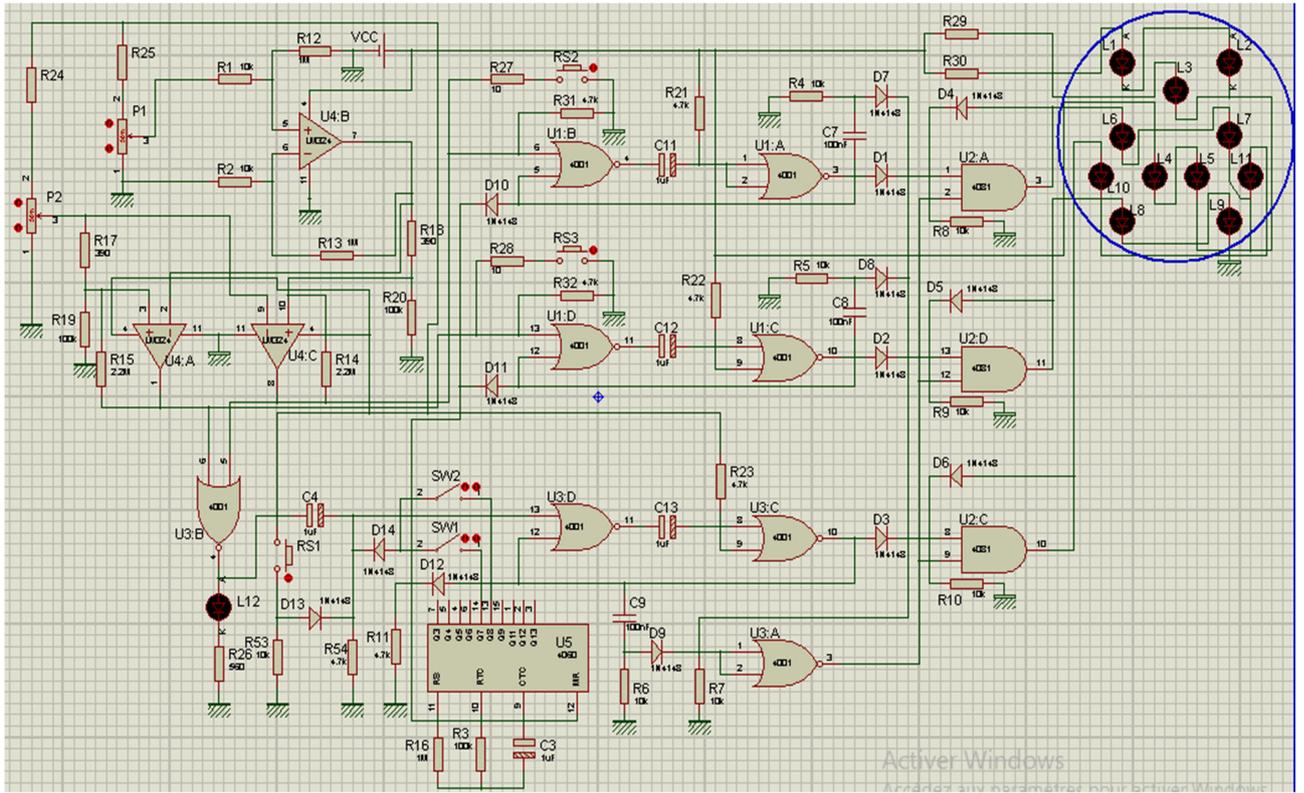


Figure 4.5 : Circuit électrique générale de l'indicateur de Pression Atmosphérique pour la simulation avec diviseur de tension.

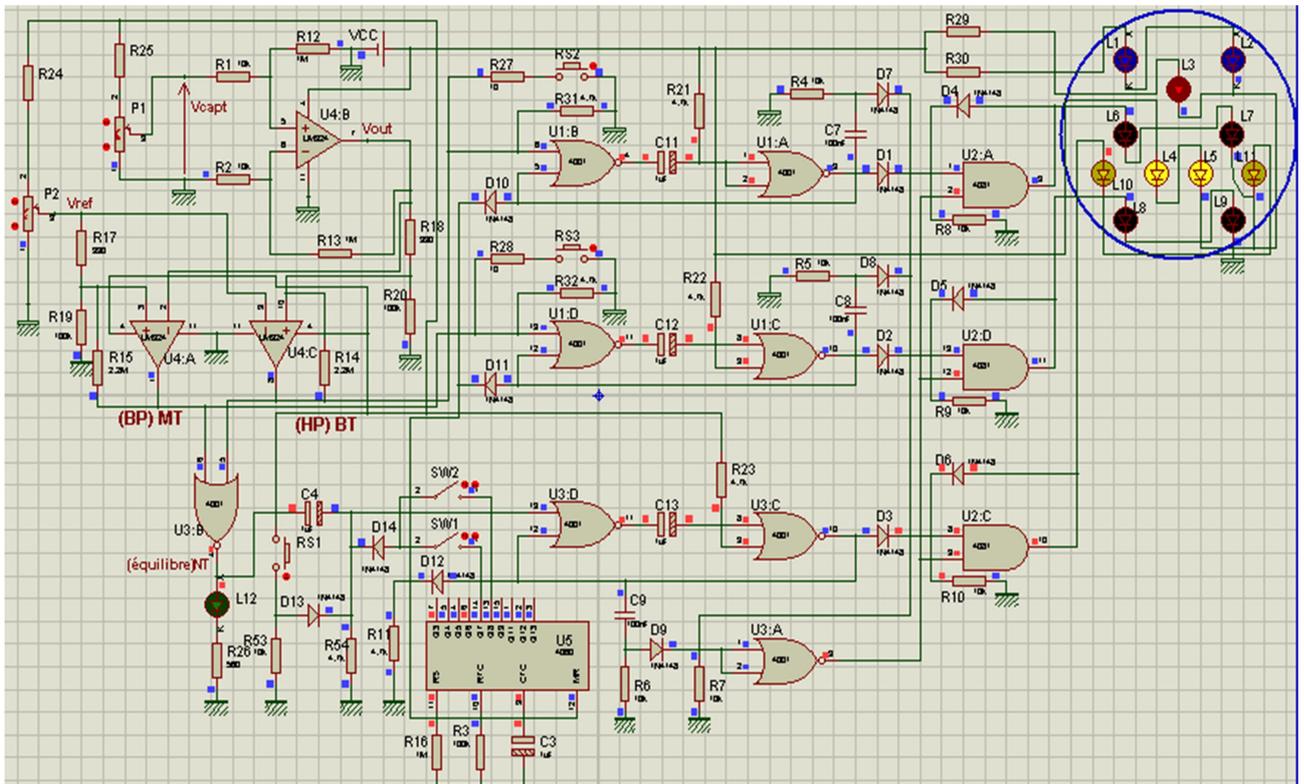


Figure 4.6 : Circuit électrique de l'indicateur de Pression Atmosphérique en simulation

Pour comprendre le principe de fonctionnement nous allons étudier les différentes parties qui constituent notre montage.

4.4.1 Le circuit d'alimentation :

L'alimentation stabilisée classique délivrant une tension continue de 10V est construite à l'aide d'un Transformateur (220V/12V), d'un pont de diodes, de 2 condensateurs C1 et C2 jouant le rôle de filtrage à l'entrée et à la sortie du régulateur (fig 4.7).

Le circuit d'alimentation réalisé est prévu pour alimenter tous les éléments du circuit et en particulier le capteur de pression atmosphérique. Celui-ci nécessite, dans un cas réel, une alimentation de 10V ; il devrait délivrer une tension à ses sorties de 20mV lorsque la pression atmosphérique est de 1000hPa. (figure 4....) :

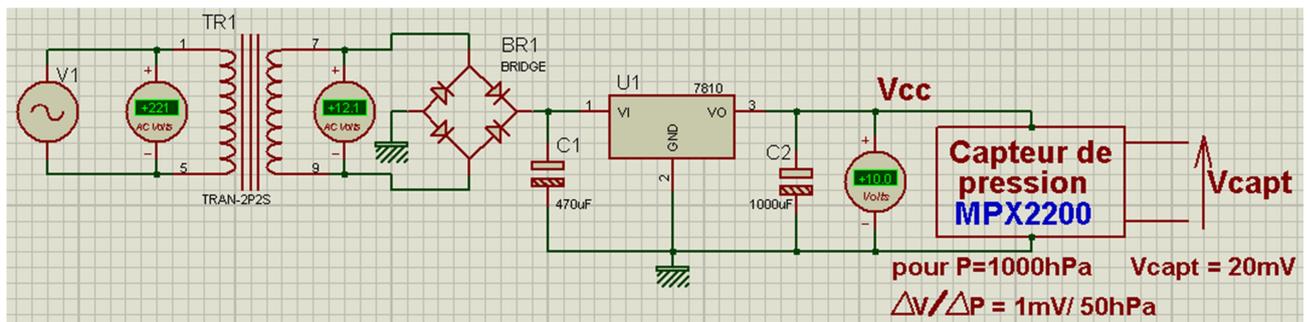


Figure 4.7 : Alimentation avec capteur de pression

Puisqu'en simulation, ce n'est pas évident de produire un phénomène physique réel telle que la pression atmosphérique ; et afin d'obtenir les mêmes effets qu'un capteur de pression c'est-à-dire obtenir une tension de sortie de 20 mV à la sortie du capteur ; nous avons remplacé le capteur de pression par un diviseur de tension qui peut nous donner une tension de sortie faible et précise de 20mV.

La figure ci-dessous (Figure 4.8) montre l'alimentation en simulation avec le pont diviseur de tension qui délivre une tension de sortie très faible, précise et réglable autour de 20mV et donc qui correspondrait à une pression atmosphérique de 1000hPa.

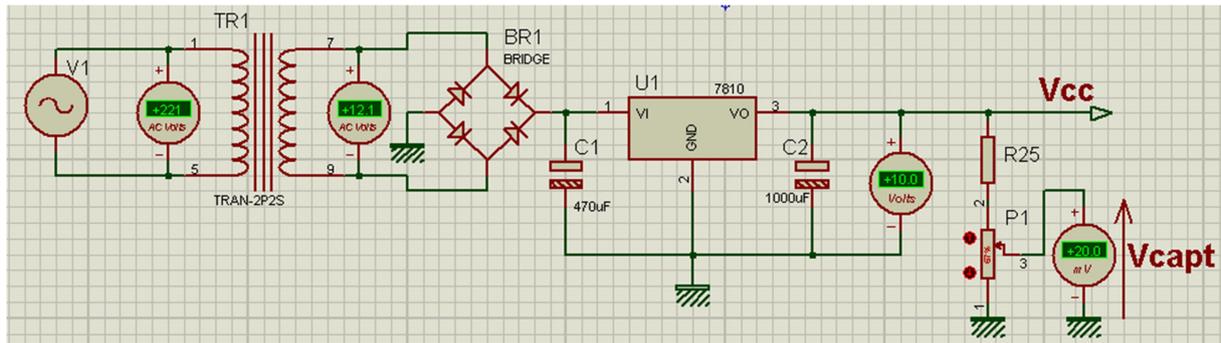


Figure 4.8 : Simulation de l'alimentation stabilisée avec sortie à 20mV.

Cette alimentation permet non seulement de fournir cette faible tension de 20mV (qui remplace la tension de sortie du capteur), mais elle permet aussi de délivrer la tension Vcc nécessaire à tous les éléments du montage indicateur de pression atmosphérique, et en particulier aux composants permettant le fonctionnement en alimentation basse tension tels que les circuits intégrés, les amplificateurs opérationnels, les LED, les Diodes, les diviseurs de tensions,...etc.

4.4.2 Simulation de l'étage de détection :

L'élément important de cette mission est le capteur de pression atmosphérique. Ce capteur est un composant qui mesure électroniquement la pression atmosphérique à laquelle il est soumis, il est fait appel aux propriétés piézoélectriques d'un quartz.[30]

Dans le cadre de notre projet nous avons utilisé le capteur de pression MPX2200. Ce capteur est prévu pour fonctionner dans une plage de 0 à 2000hPa. Il mesure une pression absolue c'est à dire de référence par rapport au vide. Rappelons que la pression atmosphérique évolue généralement dans un intervalle de 950hPa à 1050hPa.

Par ailleurs ce capteur est linéaire et par suite la tension de sortie du capteur est rigoureusement proportionnelle à la pression atmosphérique absolue :

Pour une Pression Atmosphérique de 1000hPa la tension de sortie est de 20mV

Et pour une Pression Atmosphérique de 2000hPa la tension de sortie est de 40mV

Soit une variation relative de 0,1mV pour 5hPa .[30]

En simulation nous avons remplacé le capteur de pression par un diviseur de tension fournissant une tension de 20mV (figure 4.9)

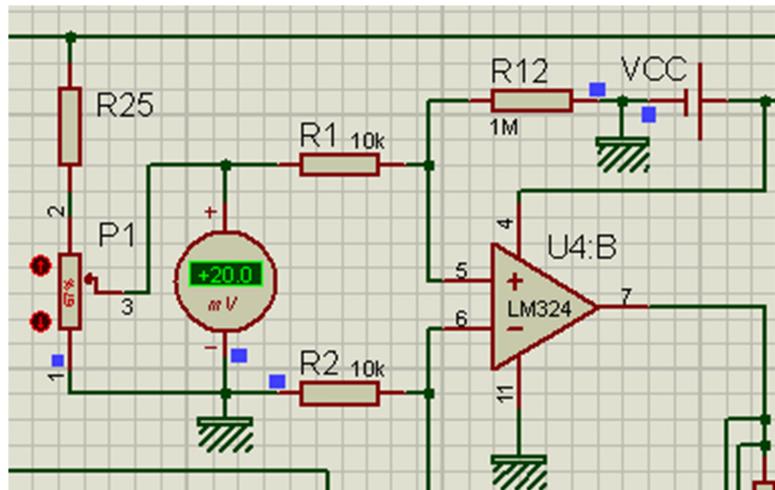


Figure 4.9 : Le capteur de pression remplacé par un diviseur de tension.

La tension qui sort du diviseur de tension est :

$$V_d = [\alpha P1 / (R25 + P1)] * V_{cc} = 20\text{mV} \quad (4.1)$$

α : est le taux en % de la position du curseur du potentiomètre (par rapport à la valeur max du potentiomètre).

4.4.2. Amplification de la mesure de pression :

Sachant que le capteur de pression permet de fournir une très faible tension à sa sortie (de l'ordre de 20mV), ceci nécessite donc une amplification de tension ; l'opération d'amplification est réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel fonctionnant comme amplificateur d'instrumentation ou amplificateur de mesure : il permet donc d'amplifier la tension aux entrées + et - de l'amplificateur opérationnel.

L'amplificateur est monté en différentiel : la tension de sortie de ce type de montage est donnée par la relation :

$$V_s = V_1 * [R12 / (R1 + R12)] * [(R2 + R13) / R2] - V_2 * R13 / R2 \quad (4.2)$$

Etant donné l'égalité les résistances $R1 = R2$ d'une part et $R12 = R13$ d'autre part, nous avons montré théoriquement que le gain en tension de cet d'amplificateur est réduit à :

$$G = R12 / R1 = R13 / R2 \quad (4.3)$$

Donc $G = 1\text{M}\Omega / 10\text{K}\Omega = 100$

En conséquence pour une pression atmosphérique de 1000hPa, la tension délivrée à la sortie de l'ampli Op est de : $20\text{mV} * 100 = 2000 \text{ mV} = 2\text{V}$

En simulation nous avons réglé l'entrée à 20mV et nous avons obtenu à la sortie une tension de 2.20 V soit un gain de $G = 110$ qui très proche du résultat théorique. (figure 4.10)

Nous devons tenir compte de ces valeurs pour le reste de la simulation.

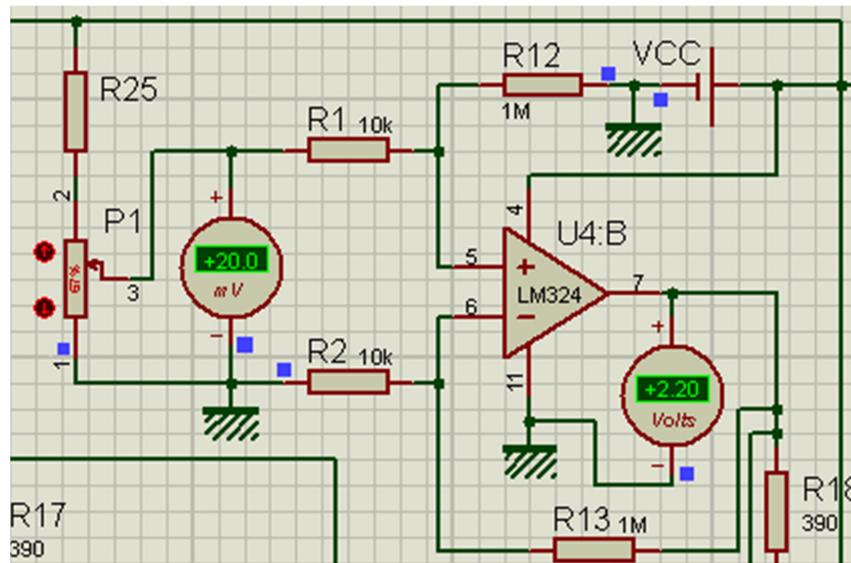


Figure 4.10 : Simulation de l'étage d'amplification.

4.4.3. Etage de Comparaison :

L'étage de comparaison est construit à partir de 2 amplificateurs opérationnels et d'un circuit de référence. (figure 4.11)

Cet étage permet de comparer la tension issue de l'amplificateur de mesure V_{out} pour être comparée avec une tension de référence V_{ref} . Nous aurons dans ce cas à simuler 3 situations selon les conditions atmosphériques.

- Etat d'équilibre ou de stabilité qui correspond à un Temps Neutre (NT)
- Etat Hasse Pression (HP) qui correspond au Beau Temps (BT)
- Etat Basse Pression (BP) qui correspond au Mauvais Temps (MT)

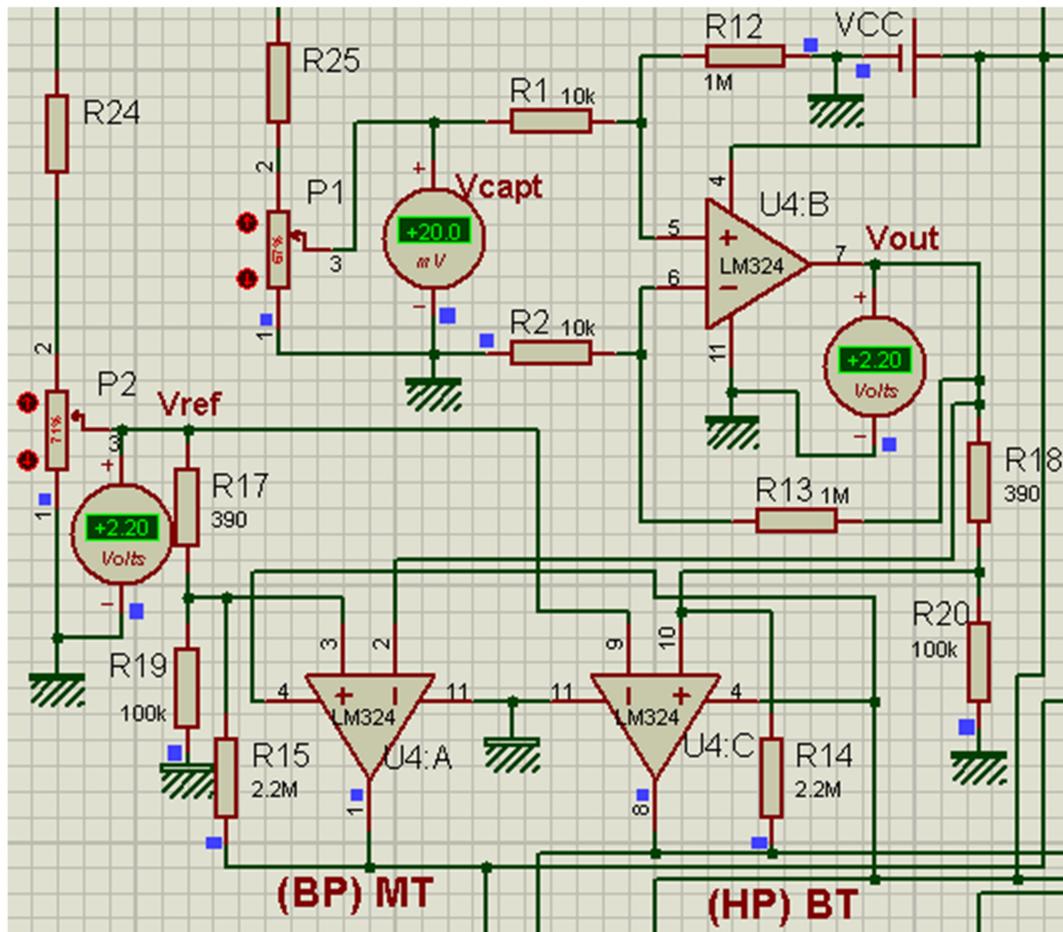


Figure 4.11 : Simulation de l'étage de comparaison

Notons que la tension de référence est obtenue à partir d'un diviseur de tension réglable à l'aide du potentiomètre P2. Cette tension de référence V_{ref} est ajustée à une tension égale à la tension sortant de l'Ampli Op V_{out} dans les conditions normales de stabilité ou d'équilibre (NT) de la pression atmosphérique.

Donc
$$V_{ref} = [\beta P2 / (R24 + P2)] * V_{cc} = 2.20 \text{ V} \quad (4.4)$$

β : étant le taux en % de la position du curseur du potentiomètre P2 (par rapport à la valeur max du potentiomètre).

Par ailleurs, les résistances R14 e R15 sont introduites dans les circuits comparateurs et font une réaction positive lors des basculements d'état des comparateurs, celles-ci permettent d'accélérer le changement d'état; et donnent une stabilité au changement d'états

4.4.4. Situation d'équilibre (Neutralité):

En prendra dans notre cas la Pression Atmosphérique de 1000hPa comme pression de référence c'est-à-dire une situation d'équilibre ou de Neutralité ce qui correspond à une tension de 20mV soit une tension de sortie : $V_{out} = 2.20V$.

Observons en simulation ce qui se produit à la sortie des étages comparateurs U4A(comparateur1) et U4C(comparateur2) (figure 4.12)

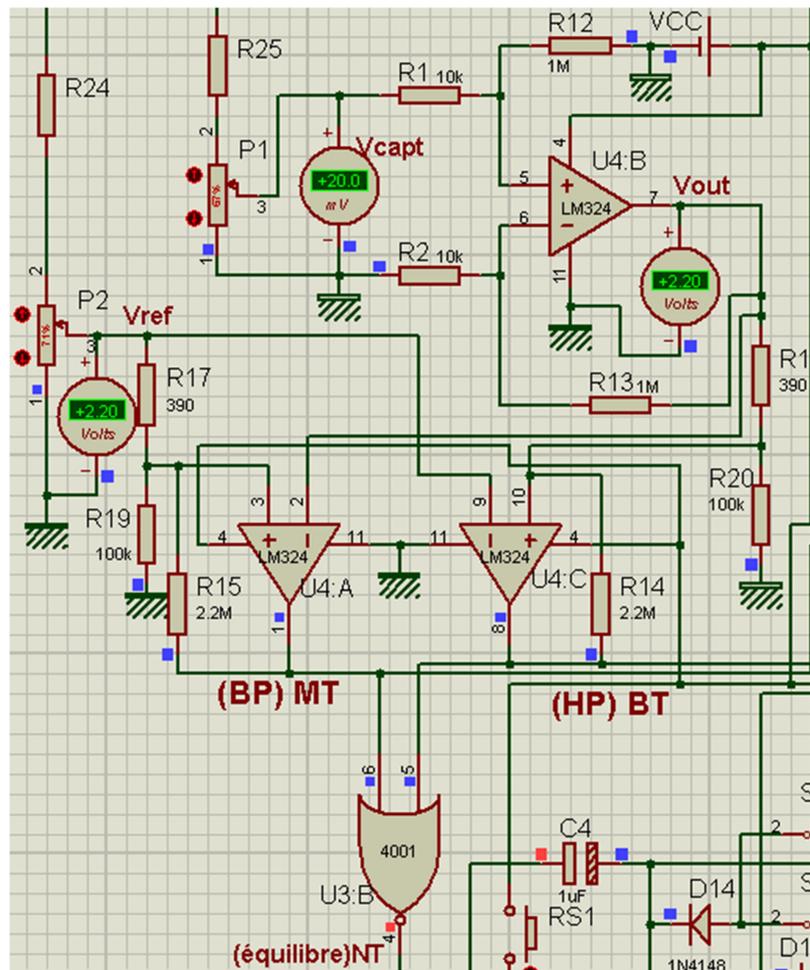


Figure 4.12 : Simulation de l'étage de comparaison situation d'équilibre (ou Neutralité)

La fonction des ampli Op U4A et U4C est de comparer les tensions provenant de l'amplificateur de mesure U4B de la pression atmosphérique, avec une tension de référence réglée sur la situation d'équilibre, celle-ci étant obtenue à partir de R24 et du potentiomètre P2. Les tensions provenant des 2 diviseurs de tensions R18 et

R20 d'une part et de R17 et R19 d'autre part agissent aussi dans cet étage de comparaison.

Nous observons sur ce cas de simulation en cette situation d'équilibre ou de Neutralité que les sorties des 2 comparateurs sont au niveau bas et que seul la sortie 4 de la porte NOR de U3B est au niveau Haut qui permettra d'indiquer un état de neutralité sur l'afficheur à LED.

Par une simple application des règles du diviseurs de tension que constituent le branches R18 et R20 d'un côté et R17 et R19 d'un autre coté les potentiels répercutés sur les entrées inverseuses et non inverseuses des ampli Op comparateur peuvent être calculés. Pour l'exemple qu'on a pris et pour une pression atmosphérique de 1000hPa:

La tension de sortie $V_{out} = 2.20V$

Dans ce cas, les tensions des entrées inverseuses des comparateurs sont supérieures à celles des entrées non inverseuses.

Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau 4.1 ci-dessous :

Pression Atmos	Vcapt	Vout	Vref	comparateur 1(MT) (à gauche)			Comparateur 2(BT) (à droite)			Sortie Porte NOR
				e+(V)	e-(V)	S1	e+(V)	e-(V)	S2	
1000hPa	20mV	2,20V	2,20V	2,191	2,20	0	2,191	2,20	0	1

Tableau 4.1 : Etat des tensions d'entrées et de sorties en situation de Neutralité.

L'information de cette situation d'équilibre se traduit par l'affichage de quelques LED représentées et disposées de sorte à exprimer la mine neutre d'un visage. Dans la situation actuelle du cas présent on se situe dans une situation d'équilibre ou de neutralité ce qui se traduit par une mine neutre du visage (figure 4.13).

L1 et L2 : représentent les yeux

L3 : représente le nez

L4, L5, L10, L11 : représente la bouche « neutre » du visage.

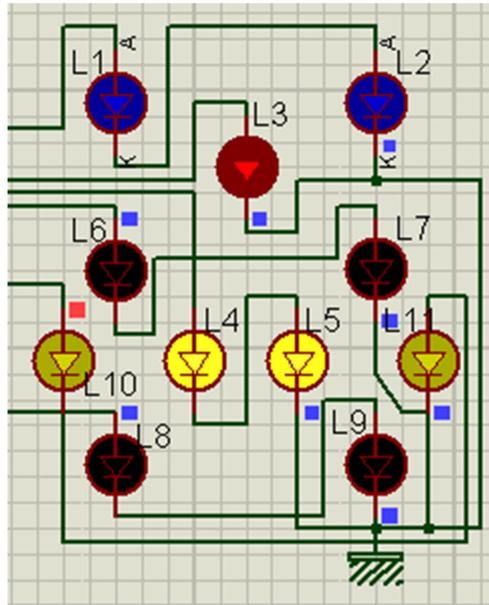


Figure 4.13 : Affichage Situation d'équilibre ou de Neutralité : Mine Neutre

4.4.5. Situation Haute pression (BT) :

Lorsque la pression atmosphérique évolue dans le temps et augmente de 1005hPa jusqu'à 1050hPa, ceci se traduit par une augmentation de la tension au niveau du capteur de pression. Cette tension peut varier de 20,1mV à 21mV (car la variation relative du capteur est de 1mV par 50hPa).

Nous constaterons à partir de ces évolutions progressives atmosphériques des changements d'état au niveau des sorties des comparateurs.

Dans notre cas de simulation nous avons pris les cas où la tension du capteur est de 20,3mV ; 20,6mV ; 20,9mV (soit des Pressions atmosphériques de 1015hPa ; 1030hPa et 1045hPa). La figure 4.14 représente les différents états à la sortie des comparateurs 1 et 2 et à la sortie de la porte NOR.

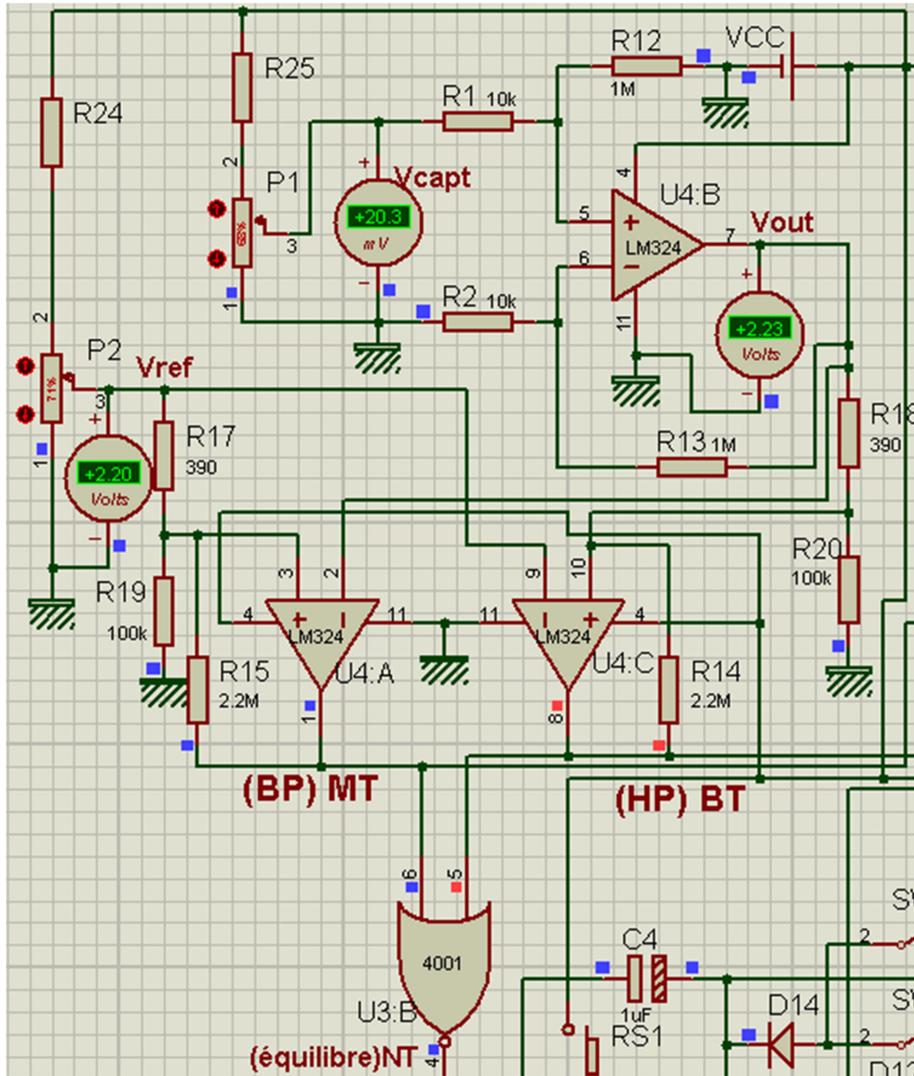


Figure 4.14 : Simulation en situation Haute Pression (BT)

Le calcul des différentes tensions aux entrées des comparateurs U4A et U4C sont donnés sur le tableau 4.2 ci-dessous.

Pression Atmos	Vcapt	Vout	Vref	comparateur 1(MT) (à gauche)			Comparateur 2(BT) (à droite)			Sortie Porte NOR
				e+(V)	e-(V)	S1	e+(V)	e-(V)	S2	
1015hPa	20,3mV	2,23V	2,20V	2,191	2,23	0	2,221	2,20	1	0
1030hPa	20,6mV	2,26V	2,20V	2,191	2,26	0	2,251	2,20	1	0
1045hPa	20,9mV	2,29V	2,20V	2,191	2,29	0	2,281	2,20	1	0

Tableau 4.2 : Etat des tensions d'entrées et sorties en Haute Pression (BT)

L'information de cette situation HP (BT) se traduit par l'affichage de quelques LED représentées et disposées de sorte à exprimer la mine d'un visage « sourire ».

Dans la situation actuelle du cas présent on se situe dans une situation haute pression qui exprime aussi le Beau Temps ce qui se traduit par une mine avec sourire du visage (figure 4.15)

L1 et L2 : représentent les yeux

L3 : représente le nez

L4, L5, L6, L7 : représentent la bouche « sourire » du visage.

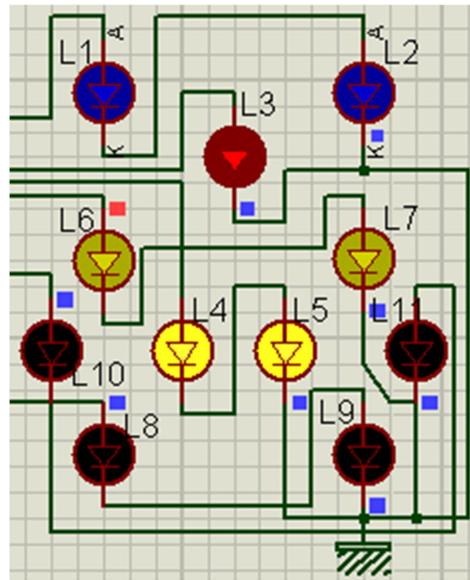


Figure 4.15 : Affichage Situation Haute pression : Mine Sourire

4.4.6. Situation Base Pression (MT) :

Si la pression atmosphérique évolue dans le temps et diminue à 995hPa jusqu'à 950hPa ceci se traduit par une diminution de la tension au niveau du capteur de pression. Cette tension qui peut varier de 19.9mV à 19mV (puisque la variation relative du capteur est de 1mV par 50hPa).

Nous constaterons qu'à partir de ces évolutions régressives atmosphériques il se produit des changements d'état au niveau des sorties des comparateurs.

Dans notre cas de simulation nous avons pris les cas où la tension du capteur est de 19.7mV ; 19,4mV ; 19,1mV (soit une Pression Atmosphérique de 985hPa ;

970hPa et 955hPa). La figure 4.16 représente les différents états à la sortie des comparateurs 1 et 2 et à la sortie de la porte NOR.

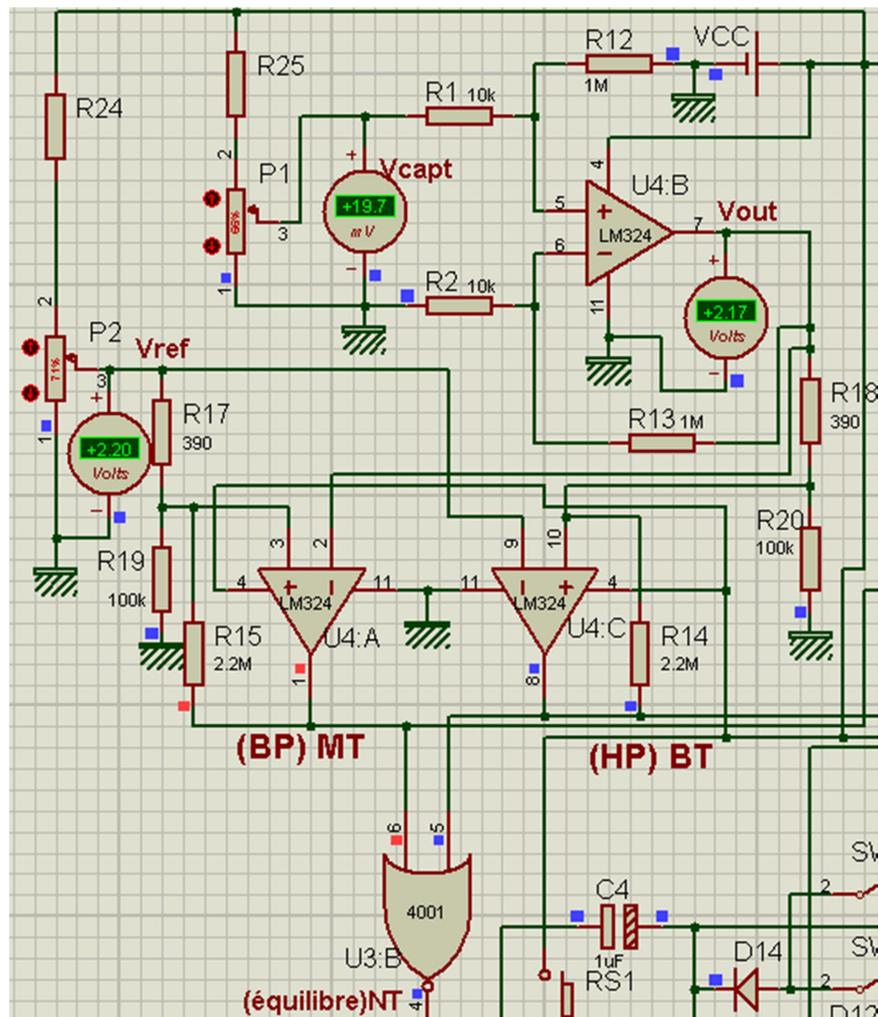


Figure 4.16 : comparaison des états en Basse Pression (MT)

Le calcul des différentes tensions au niveau des entrées de comparateurs U4A et U4C sont donnés sur le tableau 4.3 suivant :

Pression Atmos	Vcapt	Vout	Vref	comparateur 1(MT) (à gauche)			Comparateur 2(BT) (à droite)			Sortie Porte NOR
				e+(V)	e-(V)	S1	e+(V)	e-(V)	S2	
985hPa	19,7mV	2,17V	2,20V	2,191	2,17	1	2,1615	2,20	0	0
970hPa	19,4mV	2,14V	2,20V	2,191	2,14	1	2,1317	2,20	0	0
955hPa	19,1mV	2,11V	2,20V	2,191	2,11	1	2,1018	2,20	0	0

Tableau 4.3 : Etat des tensions d'entrées et sorties en Basse Pression (MT)

L'information de cette situation BP (MT) se traduit par l'affichage de quelques LED représentées et disposées de sorte à exprimer la mine d'un visage « tristesse ». Dans la situation actuelle du cas présent on se situe dans une situation Basse Pression qui exprime aussi le Mauvais Temps ce qui se traduit par une mine triste du visage (figure 4.17)

L1 et L2 : représentent les yeux

L3 : représente le nez

L4, L5, L8, L9 : représentent la bouche « tristesse » du visage

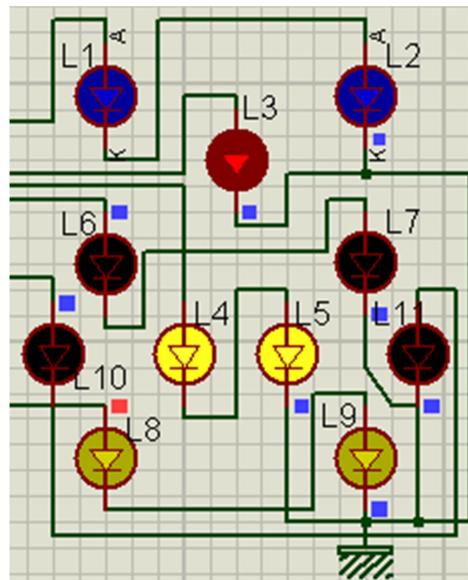


Figure 4.17 : Affichage Situation Basse pression : Mine Tristesse

4.5. Circuit d'affichage :

Le circuit d'affichage est construit à partir d'un ensemble de 11LED disposées pour donner une forme d'expression d'un visage. Celles-ci vont s'allumer pour exprimer une mine du visage (Neutralité ; Sourire ou Tristesse).

Le circuit d'affichage est composé de :

5 LED (L1 ; L2 ; L3 ; L4 ; L5) qui s'allument en permanence.

2 LED (L6 ; L7) qui expriment le sourire (Beau Temps)

2LED (L8 ; L9) qui expriment la tristesse (Mauvais Temps)

2 LED (L10 ; L11) qui expriment la Neutralité (équilibre)

Ces différentes situations d'affichages sont gérées d'une manière similaire à l'aide de 3 circuits monostables et de trois circuits de maintien et de remise à zéro.

Nous étudierons donc un seul cas de basculement.

4.5.1. Affichage à la pression d'équilibre (neutralité) :

Lorsque la pression atmosphérique se situe autour de 1000hPa on se situe dans la position d'équilibre ou de neutralité ;

La tension de référence doit être préréglée par rapport à cette valeur de 2.2V qui correspond à la tension sortant de l'amplificateur de mesure pour une pression atmosphérique de 1000hPa. Ce réglage peut être effectué à l'aide du potentiomètre P2 et se confirme par l'allumage de la LED verte L12.

Dans ce cas le monostable 3 composé des portes (U3C et U3D) est mis en action et le visage stylisé par les LED L10 ; L4 ; L5 ; L11 affiche une mine neutre.(Figure 4.18)

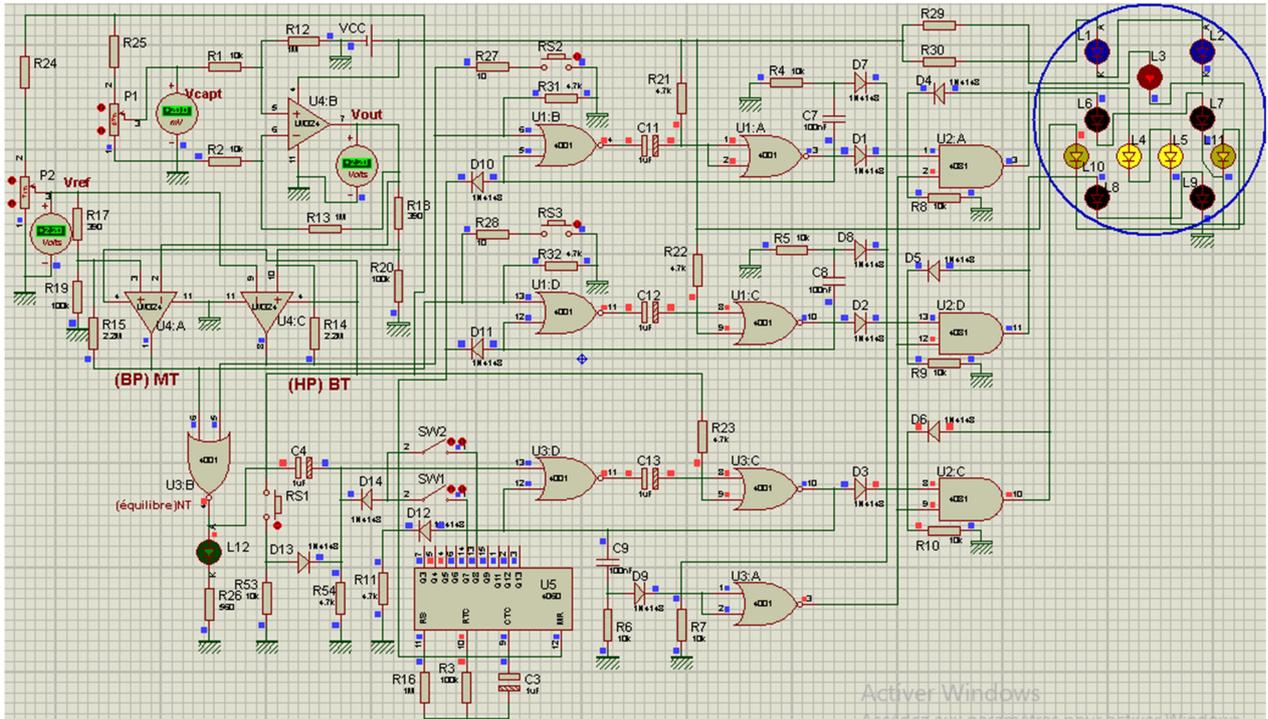


Figure 4.18 : Affichage du circuit global à l'état de Neutralité

4.5.2. Affichage à une augmentation de la pression atmosphérique

Rappelons que lorsque la pression atmosphérique augmente : ceci se traduit par l'apparition d'un état haut à la sortie du comparateur2(BT). Il en résulte la mise en action de la bascule monostable1 formée par le portes NOR :U1A et U1B (figure 4.18)

Le monostable reçoit donc une impulsion à son entrée 6 (U1B) il rentre en action et sa sortie 3(U1A) passe à un état haut pendant une durée de :

$$T = 0,7 \cdot R_{21} \cdot C_{11} = 0,7 \cdot 100\text{k}\Omega \cdot 1\mu\text{F} = 70\text{ms} \quad (4.5)$$

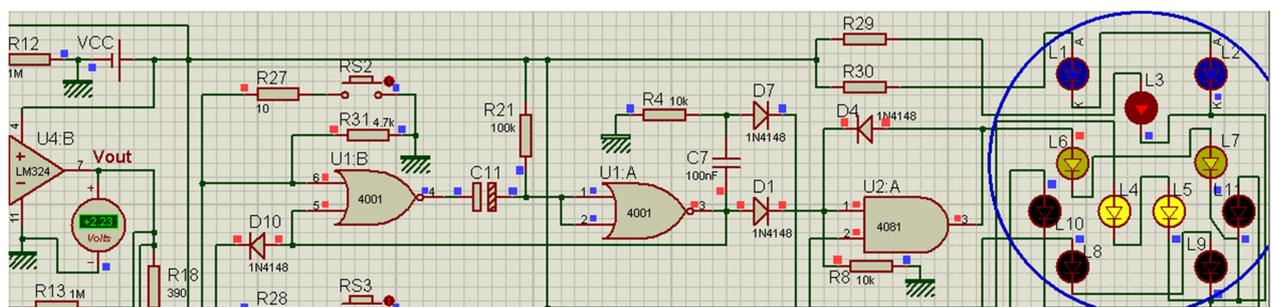


Figure 4.19 : le monostable1 à l'état actif.

Cet état haut est aussitôt transmis par l'intermédiaire de la diode D1 à l'entrée 1 de la porte AND (U2A) ; l'autre entrée étant généralement soumise à un état Haut, donc sa sortie passe à l'état Haut. Et cet état Haut reste stable même si l'impulsion de commande issue du monostable 1 disparaît ; et cela grâce à l'auto maintien d'un état haut sur l'entrée 1 de la porte AND (U2A) par le biais de la diode D4. Les LED L6 et L7 s'allument montrant le sourire d'un visage.(Figure 4.20)

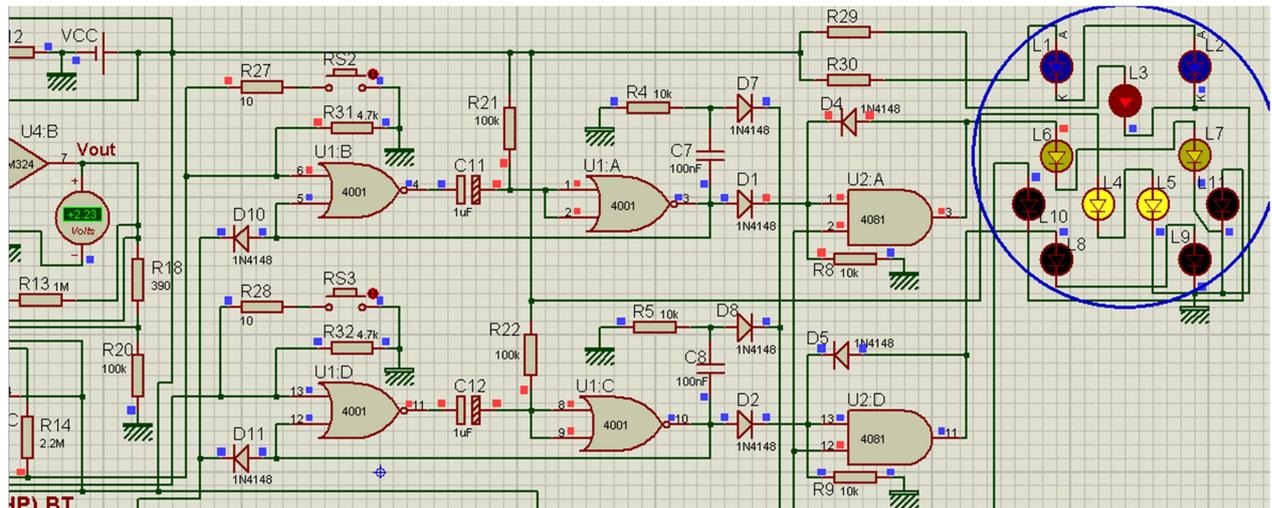


Figure 4.20 : Retour à l'état stable du monostable 1 (sortie 3 à l'état bas) : les LED restent allumées.

4.5.3. Affichage suite à une diminution de pression

Dans ce cas c'est le point MT (sortie du comparateur U4A) qui présente un état Haut. La bascule monostable 2 rentre en action et délivre à sa sortie une impulsion positive de durée 70ms. Et par le même principe que précédemment la porte AND (U2D) passe au niveau Haut et les LED L8 et L9 s'allument. Elles correspondent à l'affichage d'une mine attristée du visage.(figure 4.21)

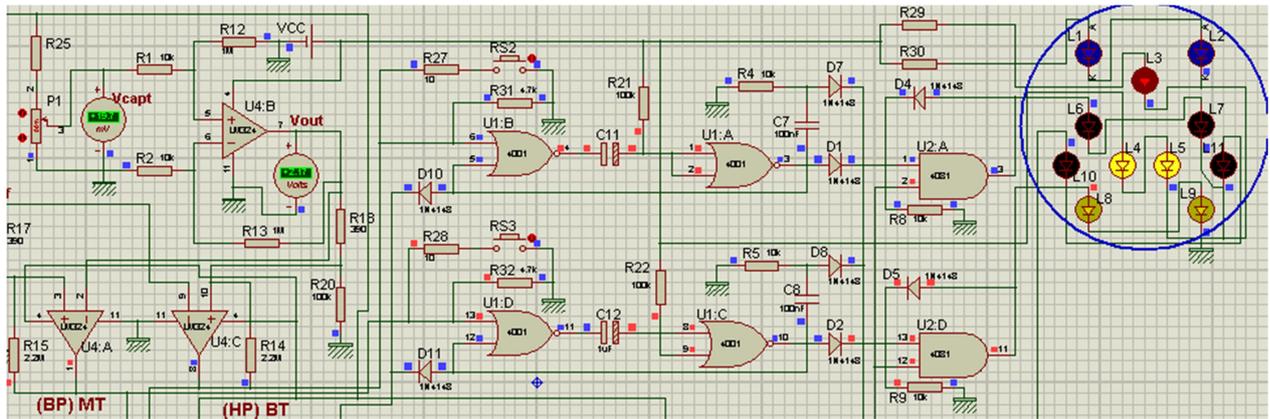


Figure 4.21 : Monostable 2 actif : affichage d'une mine attristée

4.5.4. Affichage en cas d'une pression restant stable

Dans la réalité un changement climatique peut évoluer lentement ou rapidement. Ce changement climatique peut rester dans un état stable pendant un temps très long, ce qui peut donner une situation de neutralité pour un utilisateur. Dans notre cas on peut considérer qu'une durée de 6Heures est retenu comme critère de neutralité, c'est-à-dire critère retenu pour la constance de la pression atmosphérique.

Ce phénomène de stabilité dans le temps ou d'invariabilité de la pression atmosphérique ou du climat peut être ressenti par l'utilisateur. A cet effet nous avons doté notre montage d'un circuit de comptage du temps et qui permettra selon la volonté de l'utilisateur de s'apercevoir d'un état de neutralité dans le temps. Le dispositif sera remis à zéro automatiquement après une durée déterminée de 6H ou 3H selon la sélection de SW1 ou de SW2. Ce comptage peut être réalisé grâce à l'introduction dans notre montage du circuit intégré CD4060 qui est un compteur binaire 14 étages.

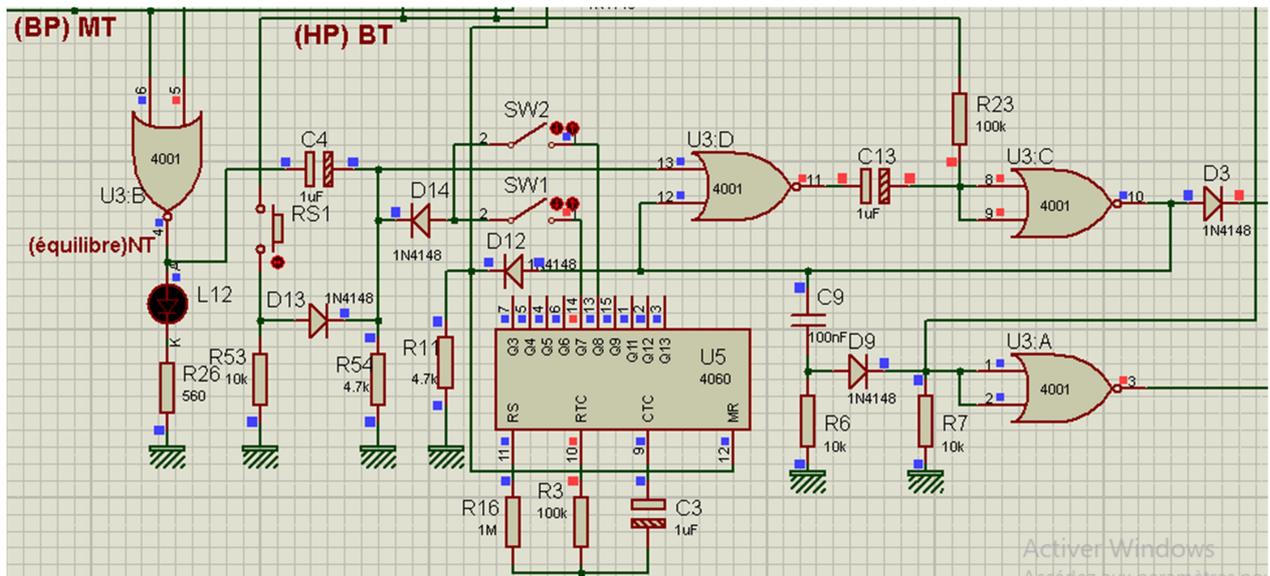


Figure 4.22 : Circuit de comptage du temps : contrôle de stabilité

Pour faire fonctionner le compteur et la temporisation, l'utilisateur devra appuyer sur l'un des switch SW1 ou SW2 il peut choisir la fréquence d'horloge de l'oscillateur en faisant un choix sur les éléments R3 et C3.(figure 4.21)

Toutefois l'utilisateur peut ignorer cette option s'il désire laisser le système réagir avec le temps.

Au niveau de la sortie patte9 du CD4060 on obtient une fréquence d'horloge de période :

$$T_H = 2,2 * R3 * C3 = 2,2 * 100K\Omega * 1\mu F = 2.6s$$

Pour choisir un temps d'environ 6H il faudra sélectionner la sortie Q13 :

puisque :

$$T_{13} = 2^{13} * 2,6s = 5,92 \text{ heures}$$

Mais pour le cas de la simulation nous avons pris une période très courte :

Soit :

$$T_H = 2.2 * 100K\Omega * 1\mu F = 0,22s = 220ms$$

Sur la sortie 7 on obtient :

$$T_7 = 2^7 * 0,22s = 28s$$

Sur la sortie 8 on obtient :

$$T_8 = 2^8 * 0,22s = 56s$$

Chaque fois qu'une variation de pression est détectée (augmentation ou diminution) par l'intermédiaire de D10 ou D11, le compteur U5(CD4060) est remis à 0. Etant donné la présentation d'un état haut sur son entrée 12(MR) qui est la RAZ.

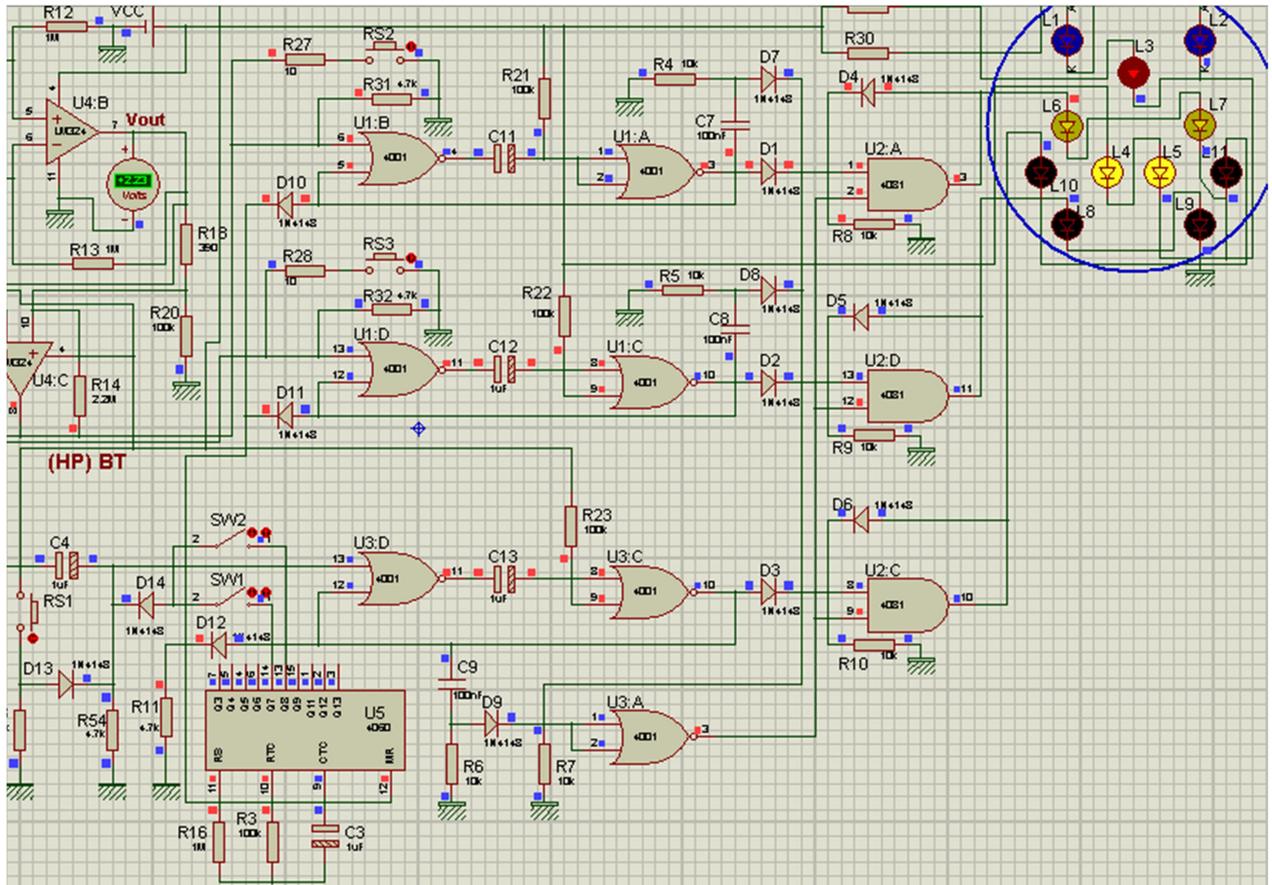


Figure 4.23 : Remise à 0 du compteur CD4060 par le biais de D10

Si aucune variation suffisamment importante ne se produit pendant cette durée au moment de l'apparition du front montant sur la sortie sélectionnée (Q7 ou Q8) du circuit U5, la bascule monostable3 formée par les portes U3C et U3D devient opérationnelle. Dans ce cas les LED L10 et L11 s'allument pour exprimer une mine neutre du visage.

4.6. Gestion de l'affichage :

Chaque fois qu'un changement se produit au niveau de l'affichage, nous constatons que l'une des 3 bascules monostables (bascule1=Sourire ; Bascule2=Tristesse ; bascule3= Neutralité) réagissait.

Le front montant de l'impulsion délivrée est pris en compte par un circuit dérivateur. (C7 ; R4) ou (C8 ; R5) ou (C9 ; R6).

Prenons le cas lorsque le monostable 1 est actif : le condensateur C7 se charge rapidement à travers R4, ce qui a pour conséquence l'apparition d'une brève impulsion positive au niveau de l'armature positive du condensateur C7. Cette impulsion est transmise par l'intermédiaire de D7 aux entrées réunies de la porte NOR de U3A. qui présente sur sa sortie un bref état bas.

Il en résulte l'effacement systématique des LED reliées à la porte AND de U2A concernée par l'affichage précédent. Et il en est de même pour les autres portes AND qui sont reliées aux autres LED.

Un nouvel affichage se réalise ainsi à partir de cette réinitialisation préalable.

4.7. Remise à zéro du circuit général.

Afin d'éviter toute erreur à la mise en marche du dispositif ; nous avons équipé notre montage par des boutons de remise à 0 du circuit général. Ceci permet d'éviter un allumage aléatoire des LED d'affichage, lors du lancement de la simulation ou de la mise en marche du circuit, et permet par suite de donner une indication fiable sur l'état actuel de la pression atmosphérique.

RS1 : remise à 0 du circuit général et mise à l'état de la mine Neutre.

RS2 : remise à 0 de l'état mine sourire.

RS3 : remise à 0 de l'état mine tristesse.

4.8. Conception du circuit sous l'environnement ARES

Après avoir fait la simulation du circuit sous ISIS de proteus nous avons proposé la réalisation du circuit imprimé de ce circuit en utilisant le logiciel ARES de proteus sur figure 4.24

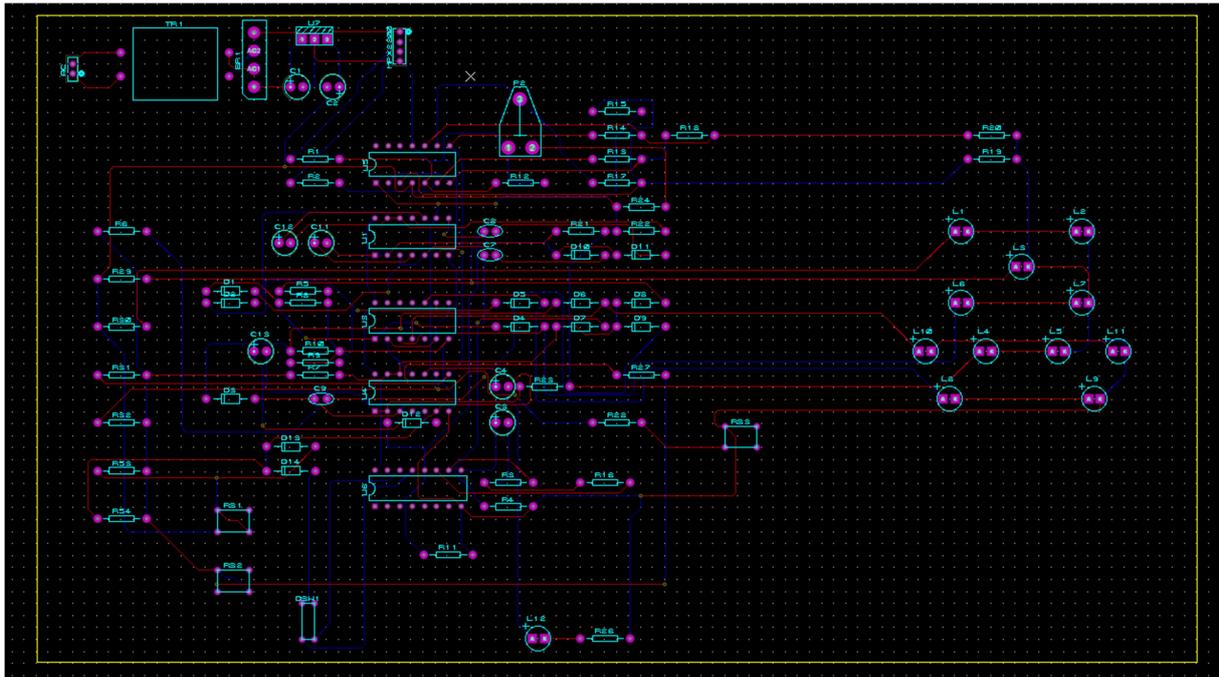


Figure 4.24 : schéma d'implantation du circuit indicateur de pression atmosphérique sous ares

. Le typon est un dessin du circuit imprimé (pistes et pastilles) effectué sur un film transparent. Le typon sera utilisé pour réaliser le circuit imprimé par photogravure.

A l'aide du logiciel ARES nous présentons sur les figures 4.25 et 4.26 les typons des 2 faces (supérieure et inférieure) de notre circuit indicateur de pression atmosphérique.

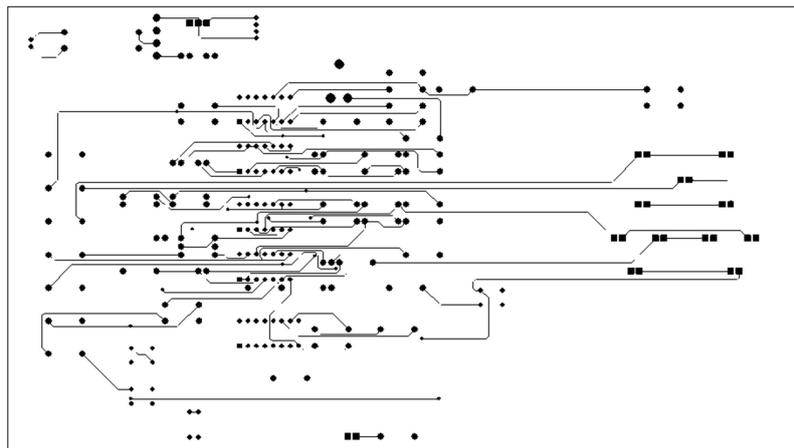


Figure 4.25 : typon du circuit indicateur de pression atmosphérique Face supérieure

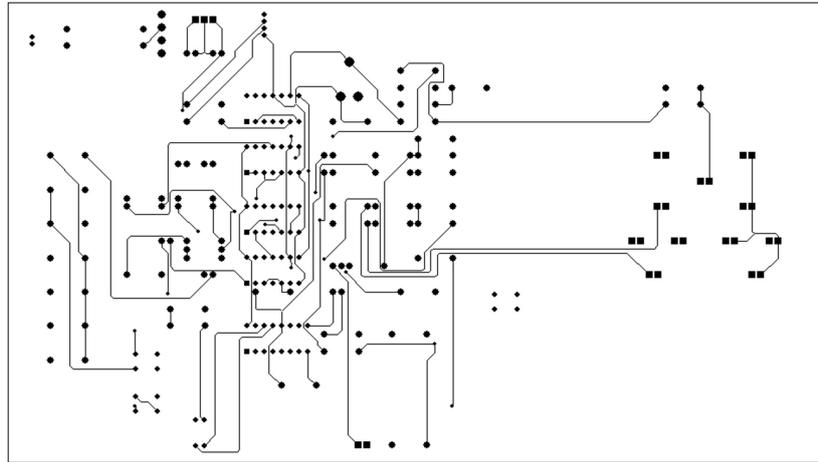


Figure 4.26 : typon du circuit indicateur de pression atmosphérique
Face inférieure

La figure 4.27 présente une maquette du circuit de notre montage étudié, simulé et représenté en image 3D.

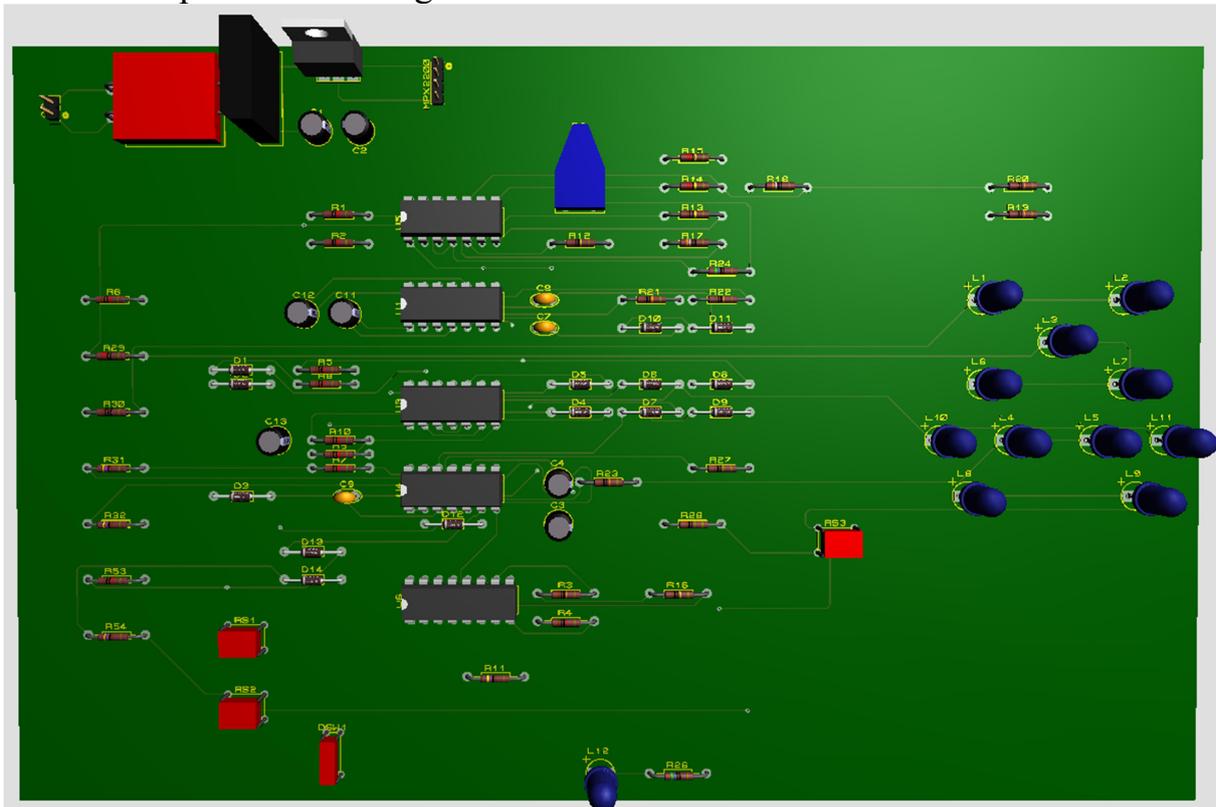


Figure 4.27 : image 3D du circuit indicateur de pression atmosphérique

4.9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons traité la simulation d'un circuit électronique. La simulation en réalité n'est pas toujours facile à réaliser surtout lorsqu'elle dépend

d'un paramètre physique réel tel que la pression atmosphérique ; en effet nous devons adapter le circuit réel à un modèle de simulation pour pouvoir vérifier le fonctionnement du montage. Notamment par exemple le remplacement du capteur de pression par un diviseur de tension avec une tension de sortie très faible et précise; et aussi l'utilisation de l'alimentation interne du logiciel, ceci nous a permis d'éviter l'affichage des messages d'erreurs. Pour comprendre le principe de fonctionnement de notre montage nous avons détaillé et simulé les différentes parties qui composent le montage.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Notre montage indicateur de Pression atmosphérique que nous avons étudié et simulé est un dispositif électronique qui permet de fournir à l'utilisateur une information importante sur le climat qui a une relation avec la pression atmosphérique. A travers l'étude de ce montage, le lecteur pourra comprendre le principe de fonctionnement de ce circuit électronique. En effet ce circuit par le biais du capteur de pression Atmosphérique va indiquer La situation actuelle de la pression atmosphérique, il affichera donc une mine neutre si la pression est normale dite équilibrée ou stable, celle-ci sera calibrée autour d'une tension de référence, qui dans notre cas a été prise égale à 2.20V ce qui correspond à une pression atmosphérique de 1000hPa. Par ailleurs ce dispositif affichera par le biais d'un ensemble de LED formant une expression du visage : une mine triste si la pression atmosphérique diminue ce qui correspond au Mauvais Temps(MT) ; par contre ce circuit électronique affichera une mine sourire du visage si la pression atmosphérique augmente ce qui correspond au Beau Temps (BT).

Le montage étudié et simulé dans ce projet est constitué à base des circuits intégrés : LM324 ,CD4060, CD4001, LED....etc. Le capteur de pression atmosphérique MPX2200 est l'élément essentiel du montage. Pour comprendre le principe de fonctionnement du montage, plusieurs fonctions de l'électronique ont été traitées dans ce projet telle que, l'alimentation stabilisée, l'amplificateur de mesure ou amplificateur d'instrumentation ; les comparateurs de tension ; les diviseurs de tension de précision ; les circuits monostables à porte NOR ; les circuits dérivateurs ; les temporisateurs ; l'affichage à plusieurs LED ; et de vérifier et d'observer de près les circuits de basculement ou de commutation et de réinitialisation...etc.

Notre projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et simulation, de comprendre les applications des fonctions

de l'électronique et de maîtriser des circuits importants de l'électronique. Les difficultés rencontrées durant l'étude et la simulation de ce projet nous ont appris : l'interprétation et la lecture d'un schéma, le raisonnement, la persévérance ; la patience, le compter sur soi, et le sens de la responsabilité.

A travers la simulation de ce montage nous avons appris à adapter notre circuit pour la simulation tout en tenant compte des paramètres réels.

Nous avons par ailleurs compris que malgré les problèmes rencontrés lors de la simulation et la conception d'un circuit, que la simulation contribue actuellement énormément pour faire de l'expérimentation virtuelle et permet de gagner beaucoup de temps et permet aussi de ne pas détruire les composants.

Par la suite d'une simulation et de la compréhension de tous les phénomènes d'un montage en simulation, cela permettra d'aboutir à une réalisation beaucoup plus certaine, sans toutefois négliger les résultats qu'on peut obtenir dans la réalité concrète c'est-à-dire que l'expérimentation pratique aura aussi son mot à dire et pourra nous révéler des surprises.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/comprendre-la-meteo/cest-quoi-latmosphere>.
- [2] : <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/comprendre-la-meteo/cest-quoi-latmosphere>.
- [3] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression_atmosph%C3%A9rique.
- [4] : <http://mohammed.berrada.over-blog.com/article-mesure-pression-atmospherique-technique-applications-86186760.html>.
- [5] : Mohamed Bouassida, Instruments de la régulation industrielle, PDF, Version 2010, page :28-29.
- [6] : <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/la-pression-atmospherique#:~:text=A%20un%20endroit%20pr%C3%A9cis%2C%20la,ou%20encore%20%C3%A0%201%20millibar>.
- [7] : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pressure_air.svg?uselang=fr.
- [8] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_\(unit%C3%A9\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_(unit%C3%A9))
- [9] : <https://www.cfmetrologie.com/fr/faq-mesure/14-maitrise-des-mesures/1135-quelle-est-lunite-de-pression> .
- [10] : <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/la-pression-atmospherique#:~:text=La%20pression%20se%20mesure%20%C3%A0,est%20de%201%200013.25%20hPa>.
- [11] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Barom%C3%A8tre>.
- [12] : <https://www.guide-accastillage.com/quels-types-de-barometres-choisir>.
- [13] : <http://schema-montage-electronique.blogspot.com/2011/12/alimentation-stabilisee.html?m=1>.
- [14] : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Capteur.html>.
- [15] : <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/maths/astuce/tous-niveaux-7/tpe-2010-physique.html>.

- [16] : <https://fr.farnell.com/nxp/mpx2200ap/ic-sensor-abs-press-29psi-344b/dp/1457149>
- [17] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_de_mesure.
- [18] : « SACI Sara et KHETTAL Layla » Mémoire de fin d'étude « Etude et Réalisation d'un Simulateur de Présence » 2018/2019
- [19] : http://www.electronique-3d.fr/Le_LM324.html.
- [20] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_int%C3%A9gr%C3%A9_4001
- [21] : <https://image.tubefr.com/upload/f/e4/fe4893eeb45d463be50e0cffb318f28a.jpg>
- [22] <https://www.positron-libre.com/cours/electronique/logique-combinatoire/fonctions-logiques/fonction-nor.php>.
- [23] <https://www.elektormagazine.fr/news/la-curieuse-affaire-du-cd4060>.
<https://www.elektormagazine.fr/news/la-curieuse-affaire-du-cd4060>
- [24] : « BENMILOUD Réda, BENRAOUTI Yacine », Mémoire fin d'étude «Etude et réalisation d'une minuterie digitale» [2002-2003].
- [25] : Aftis Fatah, Akkouche Merzouk. Conception et simulation d'un multi-afficheur pour une ligne de production. Bejaï99a : Université A/MIRA Bejaïa, Faculté de Technologie, 2014-2015.
- [26] : <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>.
- [27] : <https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=5323>.
- [28] : https://ar.21-bal.com/pars_docs/refs/10/9083/9083_html_m38ed7c7a.gif8de7.
- [29] : <http://blewando.fr/elv/Promo2016/th4/pag1.html>.
- [30] : Revue Electronique pratique, N°361, Juin 2011.

Résumé :

Ce Projet de fin d'étude consiste en une étude et simulation d'un dispositif électronique qui permet de donner une indication visuelle à LED de la pression atmosphérique. Grâce à un capteur de pression atmosphérique ce circuit électronique va donner une information qui se traduit par l'expression d'un visage construit à l'aide d'une combinaison de 11 LED disposées pour donner une mine d'un visage selon que la pression atmosphérique est basse (tristesse) ; haute (Sourire) ; ou une pression normale désignée équilibre ou stabilité (neutralité du visage). Tous les éléments et fonctions électroniques contribuant au fonctionnement du montage ont été étudiés. Le fait de remplacer le capteur de pression par un pont diviseur de tension, cela a permis de simuler le montage, de voir l'évolution du système électronique en fonction de la variation de la pression atmosphérique ; et d'obtenir des résultats accélérés dans le temps et proches de la réalité. Nous laisserons le lecteur découvrir les différentes étapes de simulation décrites dans ce mémoire.

Mots clé : Pression atmosphérique ; amplificateur de mesure ; comparateur de tension ; monostable à porte NOR ; temporisateur.

Abstract :

This end-of-study project consists of a study and simulation of an electronic device that provides a visual LED indication of atmospheric pressure. Thanks to an atmospheric pressure sensor, this electronic circuit will give information which translates into the expression of a face built using a combination of 11 LEDs arranged to give a mine of a face depending on whether the pressure atmospheric is low (sadness); high (Smile); or normal pressure designated balance or stability (neutrality of the face). All the electronic elements and functions contributing to the operation of the assembly have been studied. The fact of replacing the pressure sensor by a voltage divider bridge, this made it possible to simulate the assembly, to see the evolution of the electronic system according to the variation of the atmospheric pressure; and to obtain results accelerated in time and close to reality. We will let the reader discover the different simulation steps described in this thesis.

Keywords: Atmospheric pressure; measuring amplifier; voltage comparator; monostable with NOR gate; timer.

ملخص

يتكون مشروع نهاية الدراسة هذا من دراسة ومحاكاة جهاز إلكتروني يوفر مؤشر LED مرئيًا للضغط الجوي. بفضل مستشعر الضغط الجوي ، ستعطي هذه الدائرة الإلكترونية معلومات تترجم إلى تعبير عن وجه مبني باستخدام مجموعة من 11 مصباحًا ليديًا تم ترتيبها لإعطاء منجم للوجه اعتمادًا على ما إذا كان الضغط الجوي منخفضًا (الحزن) ؛ عالية (ابتسامة) ؛ أو الضغط الطبيعي المعين بالتوازن أو الثبات (حياد الوجه). تمت دراسة جميع العناصر والوظائف الإلكترونية المساهمة في تشغيل التجميع. حقيقة استبدال مستشعر الضغط بجسر مقسم للجهد ، جعل ذلك من الممكن محاكاة التجميع ، لمعرفة تطور النظام الإلكتروني وفقًا لتغير الضغط الجوي ؛ وللحصول على نتائج متسارعة في الوقت المناسب وقريبة من الواقع. سوف ندع القارئ يكتشف خطوات المحاكاة المختلفة الموضحة في هذه الأطروحة.

الكلمات المفتاحية: الضغط الجوي. مضخم القياس مقارنة الجهد أحادي مع بوابة NOR ؛ جهاز ضبط الوقت.