

# Conclusion générale

Ce mémoire a été consacré à la modélisation et l'étude et l'amélioration d'un vapo-détendeur. La modélisation est basée sur le vapo-détendeur LANDIRENZO EC04. Nous avons apportés des modifications au niveau des matériaux utilisé.

Les principaux apports de notre travail sont les suivants :

- Nous avons vérifié le vapo-détendeur et étudié sa géométrie aux différentes pressions, et nous avons fait des calculs des contraintes et des déplacements et des déformations.
- Afin que notre mémoire puisse servir de base à une autre étude, amélioration ou bien conception similaire, nous avons mentionné la procédure de modélisation géométrique ainsi que les dessins techniques (voir l'annexe) à l'aide du logiciel SolidWorks. Nous avons procédé de même, et dans le même but, avec la procédure de modélisation par la méthode des éléments finis à l'aide du logiciel ANSYS work-bench.

Cette étude nous a permis:

- Déterminer où se passe l'explosion à la pression d'explosion (chambre 1) d'après les études qu'on a fait à l'aide du logiciel ANSYS.
- Déterminer la pièce la moins résistante (le bloc).
- Améliorer la résistance du bloc en changeant son matériau.
- Augmenter la pression maximale ainsi que la pression d'explosion du vapo-détendeur.

Sur un plan personnel, ce travail nous a permis de compléter notre formation, en améliorant nos compétences dans les domaines suivants:

- CAO DAO (Solidworks).
- Calcul des structures et Méthode des éléments finis (ANSYS).

## **Chapitre I Description des éléments du kit GPL**

I.1. Introduction :	2
I.2. Historique :	2
I.3. Définition GPL :	3
I.4. La technologie GPL automobile :	4
I.5. Moteur GPL :	5
I.6. Liquéfaction :	6
I.7. Dilatation :	6
I.8. Principe de fonctionnement :	7
I.9. Les Composants essentiel de kit GPL	9
I.9.1. Dispositif de remplissage :	10
I.9.2. Polyvanne :	10
I.9.3. Le réservoir :	11
I.8.4. Calculateur :	12
I.8.5. Commutateur– indicateur :	13
I.8.6. La rampe d’injecteurs :	14
I.8.7. L’électrovanne :	14
I.8.8. vapo-détendeur :	15
I.10. Schéma de raccordement d’un kit GPL :	16
I.11. Bilan des émissions :	17
I.12. Avantages de la voiture GPL :	18
I.12.1. Avantage économique :	18
I.12.2. Avantage écologique :	18
I.13. Inconvénients d’une voiture GPL :	19
I.14. Conclusion :	20

## **Chapitre 2 Composante et fonctionnement du vapo-détendeur**

II.1. Introduction :	21
II.2. Définition du vapo-détendeur :	21
II.3. Les Composants :	22
II.3.1. Le bloc détendeur :	23
II.3.2. Soupape du premier étage :	24
II.3.3. Levier du premier étage :	24
II.3.3. l’axe de rotation du levier de premier étage :	24
II.3.4. Membrane du premier étage :	25
II.3.5. Cache du premier étage :	25
II.3.6. Soupape du deuxième étage :	25
II.3.7. Levier du deuxième étage :	26
II.3.8. l’axe du deuxième étage :	26
II.3.9. Membrane du deuxième étage :	26
II.3.10. Cache de deuxième étage :	27
II.3.11. Ressort du premier étage :	27
II.3.12. Vis de registre minimum :	27
II.3.13. Bouchon de vidange :	28
II.4. Principe de fonctionnement du détendeur :	29
II.5. Principe de la vaporisation :	32
II.6. Le réchauffage du vapo-détendeur : (12)	33
II.7. Avertissement généraux pour l’installation du vapo-détendeur :	33
II.8. Conclusion :	34

## **Chapitre 3      Présentation, modélisation et l'étude du vapo-détendeur**

III.1. Introduction : .....	35
III.2. Caractéristique du vapo-détendeur Landirezo EC04: .....	35
III.3. Présentation du vapo-détendeur sous le logiciel Solidworks : .....	36
III.4. Modélisation de la structure par ANSYS : .....	42
III.4.1. Etapes de réalisation du modèle éléments finis : .....	42
III.4.2. Spécification des propriétés des matériaux : .....	43
III.4.3. Géométrie : .....	44
III.4.4. Le maillage : .....	45
III.5. Présentation des résultats : .....	49
III.5.1. Membrane et soupape assemblé de la première chambre : .....	49
III.5.1.1. Contrainte Von mises : .....	49
III.5.1.2. Déplacement : .....	51
III.5.1.3. Les déformations élastiques : .....	53
III.5.2. Bloc: .....	55
III.5.2.1. Contrainte Von mises : .....	55
III.5.2.2. Déplacement : .....	57
III.5.2.3. Les déformations élastiques : .....	59
III.6. Conclusion : .....	61

## **Chapitre 4                                  Amélioration du vapo-détendeur**

IV.1. Introduction : .....	62
IV.2. Améliorations du bloc : .....	62
IV.2.1. Contraintes Von mises : .....	63
IV.2.2. Les déplacements : .....	65
IV.2.3. Les déformations : .....	66
IV.2.4. Calcule de la masse du bloc : .....	66
IV.3. Amélioration de la membrane, levier et soupape : .....	67
IV.3.1. Contraintes Von-mises : .....	67
IV.3.2. Les déplacements : .....	67
IV.3.3. Les déformations élastiques : .....	68
IV.4. Conclusion .....	69

Tableau 1 : liste des principales composantes du kit GPL .....	9
Tableau 2 : Mesures comparatives d'émissions de CO, HC, Nox [2] .....	17
Tableau 3 : taux de consommation de carburant et de rejet de CO2 [11] .....	19
Tableau 4 : les composantes du vapo-détendeur. ....	22
Tableau 5 : Nomenclature du vapo-détendeur. ....	30
Tableau 6 : Les caractéristiques mécaniques des matériaux. ....	43
Tableau 7 : Le nombre total d'éléments et de nœuds. ....	45
Tableau 8 : propriétés mécaniques du AU 2GN .....	62
Tableau 9 : comparaison des contraintes des deux matériaux .....	64
Tableau 10 : comparaison des masses du bloc .....	66

Figure 1 : voiture équipé d'un kit GPL .....	4
Figure 2 : moteur modifier pour GPL.....	5
Figure 3 : liquéfaction par pressurisation et décrémentation de la température .....	6
Figure 4: schéma de principe d'un système évolué [5] .....	7
Figure 5: Les Composants essentiel de kit GPL .....	9
Figure 6: emplacement du dispositif de remplissage .....	10
Figure 7: la polyvanne du kit GPL. ....	10
Figure 8 : Cylindrique, version utilitaire .....	11
Figure 9 : Cylindrique, version berline.....	11
Figure 10 : Torique, sous le véhicule ou dans le bac de la roue de secours .....	11
Figure 11 : En " L " sous le véhicule .....	11
Figure 12 : le calculateur GPL. ....	12
Figure 13 : le commutateur GPL. ....	13
Figure 14 : la rampe d'injecteurs .....	14
Figure 15: électrovanne. ....	14
Figure 16 : le vapo-détendeur .....	15
Figure 17 : schéma d'installation et de raccordement d'un kit GPL [10] .....	16
Figure 18: Bilan des émissions de plusieurs carburants. [2] .....	17
Figure 19 : Taux démission de co2 g eq/Mj de plusieurs carburants [11] .....	19
Figure 20: deux étages du vapo-détendeur. ....	21
Figure 21 : Les Composantes du vapo-détendeur .....	22
Figure 22 : vu des deux chambres du vapo-détendeur. ....	23
Figure 23 : vu de la soupape du premier étage. ....	24
Figure 24: vu du levier du premier étage .....	24
Figure 25 : axe de rotation de levier du premier étage .....	24
Figure 26 : Membrane du premier étage. ....	25
Figure 27 : cache du premier étage. ....	25
Figure 28 : soupape du deuxième étage. ....	25
Figure 29 : axe de rotation de la soupape du deuxième étage .....	26
Figure 30 : levier de soupape du deuxième étage. ....	26
Figure 31 : Membrane du deuxième étage .....	26
Figure 32 : Cache de deuxième étage. ....	27
Figure 33 : ressort du premier étage. ....	27
Figure 34 : vis de registre minimum. ....	27
Figure 35 : bouchon de vidange. ....	28
Figure 36 : schéma technique du vapo-détendeur EC04. [8] .....	29
Figure 37 : entre du gaz de la première chambre. ....	31
Figure 38 : entre du gaz de la deuxième chambre .....	31
Figure 39 : type de réchauffage du vapo-détendeur. ....	33
Figure 40: Bloc du vapo-détendeur Landirenzo EC04. ....	36
Figure 41: Soupape du deuxième étage après assemblage. ....	37
Figure 42: Membrane du deuxième étage après assemblage .....	37
Figure 43: Cache du deuxième étage. ....	38
Figure 44: Ressort de rappelle de la membrane du premier étage. ....	38
Figure 45: ressort de rappelle de la membrane du deuxième étage .....	38
Figure 46: Soupape du premier étage après assemblage. ....	39
Figure 47: Membrane du premier étage après assemblage. ....	39
Figure 48: Cache du premier étage. ....	40
Figure 49: Bouchon de vidange. ....	40
Figure 50: Vis de registre .....	40
Figure 51: Tuyau de raccordement au moteur. ....	41
Figure 52: Choix du système d'analyse. ....	42
Figure 53: Spécification des propriétés du matériau. ....	43
Figure 54: Importation de la géométrie. ....	44
Figure 55: La case modèle. ....	44

Figure 56: Menu du maillage. ....	45
Figure 57: Maillage de la soupape et de la membrane du premier étage vu de la face extérieur. ....	46
Figure 58: Maillage de la soupape et de la membrane du premier étage vu de la face intérieur. ....	46
Figure 59: Maillage de la soupape et de la membrane du deuxième étage vu de la face extérieur ....	47
Figure 60: Maillage de la soupape et de la membrane du deuxième étage vu de la face intérieur. ....	47
Figure 61: Maillage du bloc .....	48
Figure 62: Zoom sur certaines zones mailées du bloc .....	48
Figure 63: zoom de la zone dangereuse de la soupape du premier étage à une pression de 2.5 Bar. ....	49
Figure 64: zoom de la zone dangereuse de la soupape du premier étage à une pression de 30 Bar. ....	49
Figure 65: zoom de la zone dangereuse de la soupape du premier étage à une pression de 67.5 bars.....	50
Figure 66: le déplacement total en mm de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 2.5. .....	51
Figure 67: le déplacement de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 30 Bar. ....	51
Figure 68: le déplacement de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 67.5 bars.....	52
Figure 69: la déformation élastique de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 2.5 Bar .....	53
Figure 70: la déformation élastique de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 30 Bar.....	53
Figure 71: la déformation élastique de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 67.5 bars .....	54
Figure 72: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 2.5 Bar .....	55
Figure 73: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 30 Bar. ....	55
Figure 74: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 67.5 bars. ....	56
Figure 75: le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 2.5 bars .....	57
Figure 76: le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 30 bars .....	57
Figure 77: le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 67.5 bars .....	58
Figure 78: la déformation élastique du bloc à une pression de 2.5 bar .....	59
Figure 79: la déformation élastique du bloc à une pression de 30 bars .....	59
Figure 80: la déformation élastique du bloc à une pression de 67.5 bar .....	60
Figure 81 : distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 30 Bars (AU 2GN)....	63
Figure 82: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 67.5 bars (AU 2GN)...	63
Figure 83: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 78 Bar (AU2GN).....	64
Figure 84: le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 78 bars .....	65
Figure 85: la déformation élastique du bloc à une pression de 78 bars .....	66
Figure 86: distribution des contraintes à une pression de 78 .....	67
Figure 87: déplacement du levier, soupape et la membrane à une pression de 78 bars .....	67
Figure 88: les déformations élastiques de la membrane, levier, soupape à une pression de 78 bars. ....	68

---

# INTRODUCTION

---

---

# Chapitre 1

Description des éléments du  
kit GPL

---



---

# Chapitre 3

Présentation, modélisation et  
l'étude du vapo-détendeur

---

---

# Chapitre 2

## Composante et fonctionnement du vapo- détendeur

---

---

# Chapitre 4

## Amélioration du vapo- détendeur

---

---

# CONCLUSION

---

---

# ANNEXE

## A

---



## I.1. Introduction :

Le gaz naturel, qui représente une réserve importante d'énergie, est à terme intéressant non seulement sur l'impact environnemental moindre qu'il procure, mais aussi pour la technologie existante aujourd'hui qui demande peu d'adaptation aux professionnels de l'automobile. Seuls les résultats d'émission de CO<sub>2</sub> restent modérés et peut être pas suffisants pour freiner l'arrivée puis l'essor des véhicules dit évolués utilisant des moyens de propulsion différents, comme la pile à combustible par exemple.

Les GPL présentent une grande diversité d'utilisation, telle que la production d'eau chaude, le chauffage ou les carburants. Egalement, les GPL rejetant principalement de la vapeur d'eau et du CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) sont des gaz à combustion écologique.

Le GPL est un combustible gazeux. Il peut alimenter, après adaptations, les moteurs à allumage commandé.

## I.2. Historique :

- **1921** : Le GPL apparaît pour la première fois aux États-Unis d'Amérique, dans l'état du Michigan sur une flotte de camions transporteurs.
- **1969** : La législation française autorise le propane comme carburant. Uniquement pour les chariots élévateurs et les petits engins destinés au transport de marchandises n'excédant pas deux mètres de longueur. Interdiction pour ceux-ci d'emprunter le réseau routier ou d'évoluer en agglomération.
- **1978** : Volvo développe un moteur fonctionnant au gaz de pétrole liquéfié et en équipe un break 245 qui sera testé durant 10 000 km. Le projet est abandonné au fil d'une étude sur le méthanol.
- **1978** : Le GPL est autorisé en France, en mono carburation uniquement. Mercedes-Benz annonce la fabrication d'une turbine à gaz développant 115 CH, consommant entre 8,3 et 10 litres suivant le cycle de marche.
- **1980** : Renault s'engage dans le développement de véhicules GPL avec la R4 Fourgonnette et la R5 Société.
- **1985** : Le GPL est autorisé en France en bicarburation. Son prix est aligné sur celui du gazole.

- **1987** : 590 000 véhicules roulant au GPL sont recensés au Pays-Bas, dont 130 000 camions.
- **1988** : 1380 stations-services distribuent du GPL en France sur le réseau routier et autoroutier.
- **1989** : À Tokyo, la flotte de taxis utilisant le GPL en bicarburation atteint 250 000 véhicules.
- **1994** : 1 100 000 véhicules roulant au GPL sont recensés en Italie.
- **1995** : En France, le parc automobile GPL atteint à peine 30 000 unités, représenté essentiellement par des flottes de sociétés. Le nombre de stations-services distribuant du GPL tombe à 700.
- **1996** : Au mois de janvier, le gouvernement français allège la fiscalisation du GPL. Le litre passe de 4,70 F à 2,55 F. Renault propose pour la première fois à son catalogue, deux modèles : une Clio 1,2 l et un Express 1,4 l. Dans le même temps, un projet de loi sur l'air prévoit de nombreux avantages fiscaux liés à ce nouveau carburant (exonération de la vignette et de la carte grise). [2]

### I.3. Définition GPL :

L'appellation « Gaz de Pétrole Liquéfiés » ou « GPL » (*LPG* en anglais) peut qualifier deux gaz à l'état liquide : le propane ( $C_3H_8$ ) et le butane ( $C_4H_{10}$ ). Ce sont tous les deux des hydrocarbures « saturés » qui sont composés de liaisons simples d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ils présentent l'intérêt de se liquéfier sous une pression moins forte que les autres gaz (notamment le méthane) : entre 1,5 et 7 bar, soit une pression équivalente à celle de l'eau du robinet ou à celle de l'air dans un pneu. [3]

Plus de 60% des volumes de propane et de butane produits dans le monde proviennent de champs de gaz, le reste étant issu du raffinage du pétrole brut. L'usage des GPL est aujourd'hui largement répandu en raison de leur facilité de stockage et de transport.

Notons que les GPL ne doivent pas être confondus avec le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) dont la température de liquéfaction est beaucoup plus basse.



#### I.4. La technologie GPL automobile :

La technologie de base du GPL automobile s'appuie sur la bicarburant. En effet, toute voiture GPL est également équipée d'un réservoir à essence en état de fonctionnement.

Au niveau de la technologie GPL automobile, on distingue les véhicules GPL équipés initialement lors de leur fabrication en usine et les voitures essence équipées à postériori.

A la base, la technologie GPL est donc toujours installée sur une voiture à essence, car le démarrage ne peut s'effectuer qu'à partir de cette énergie. C'est seulement une fois que le moteur est monté en température que le fonctionnement de la voiture bascule sur le GPL.

Pour les voitures à essence équipées ultérieurement d'un kit GPL, la technique consiste à monter un réservoir de stockage du carburant GPL placé dans le compartiment à bagages ou sous le plancher du véhicule ainsi qu'une ligne d'alimentation supplémentaire, le contrôle de l'alimentation au GPL est confié à un calculateur.

Il est aussi installé divers organes tels que le vapo-détendeur qui va détendre le GPL liquide en GPL gazeux, les injecteurs ou le diffuseur qui vont libérer le gaz en amont des soupapes. L'équipement d'injection essence est conservé, le démarrage ne pouvant se faire au GPL moteur froid. [10]



Figure 2 : voiture équipé d'un kit GPL

### I.5. Moteur GPL :

Ce mélange de gaz butane et propane à parts égales, ayant un indice d'octane élevé, possède des propriétés proches de celles de l'essence. Malgré un pouvoir calorifique supérieur à la même masse d'essence, le moteur alimenté en GPL devient plus gourmand et légèrement moins tonique, sauf s'il s'agit d'une injection GPL en phase liquide. L'agrément de conduite, la souplesse du moteur et l'économie supérieure à l'essence compensent toutefois cette légère perte de puissance maximale (2 à 5%).

Un moteur modifié pour fonctionner au GPL est également capable de tourner avec son carburant classique, il n'y a donc pas de risque de tomber en panne sèche loin d'une pompe.

Le principe de fonctionnement du moteur GPL, on retrouve donc le cycle à 4 temps des moteurs à essence, mais ce carburant est remplacé par le GPL-C.

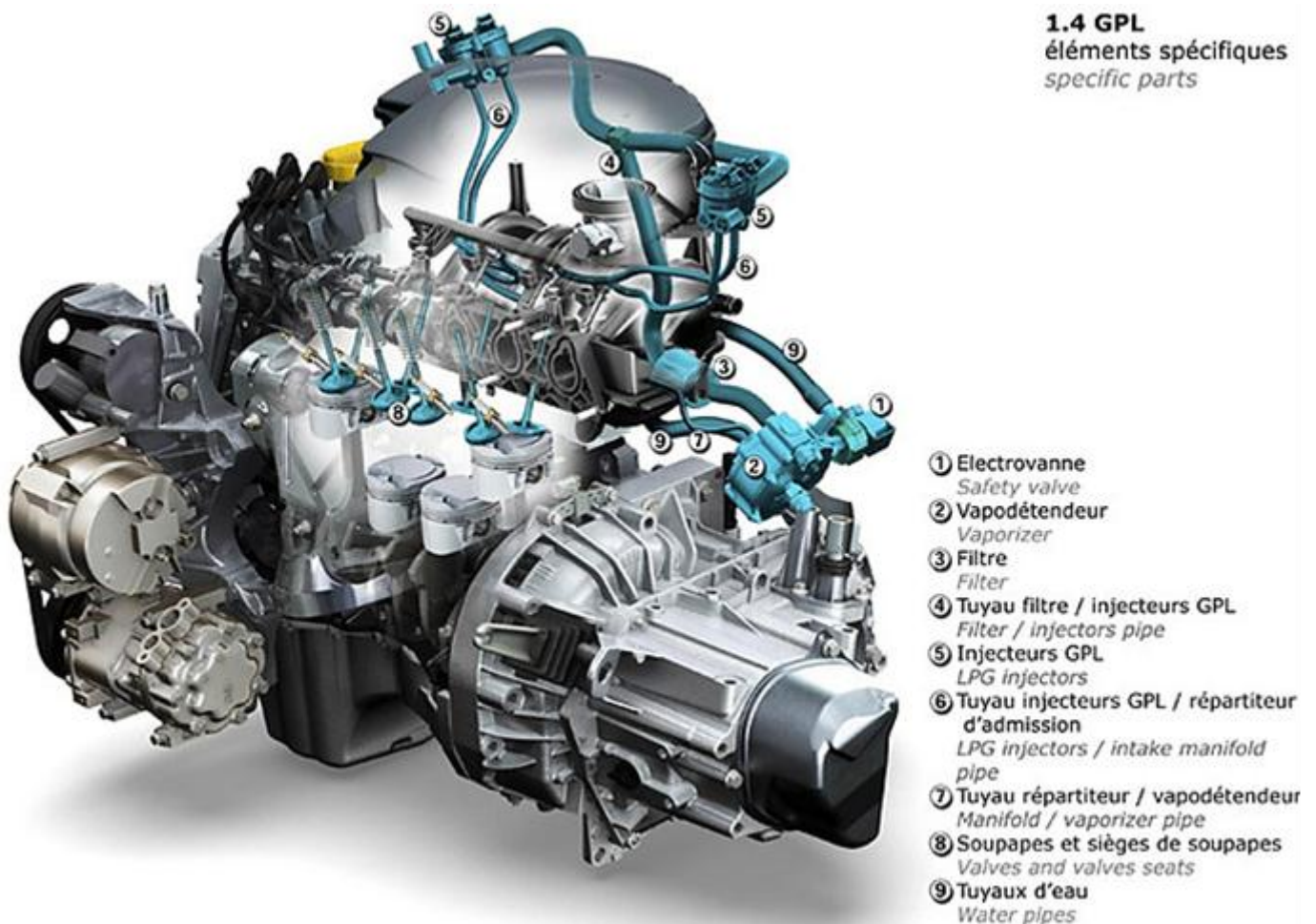


Figure 3 : moteur modifié pour GPL

### I.6. Liquéfaction :

Les gaz de pétrole liquéfiés utilisés comme carburant sont des hydrocarbures qui peuvent être aisément condensés en phase liquide sous une pression limitée (la liquéfaction du carburant GPL est obtenue par compression et/ou refroidissement) ; elle est nécessaire pour assurer le stockage d'une quantité suffisante de carburant GAZ (autonomie) dans le réservoir d'un véhicule automobile. [2]

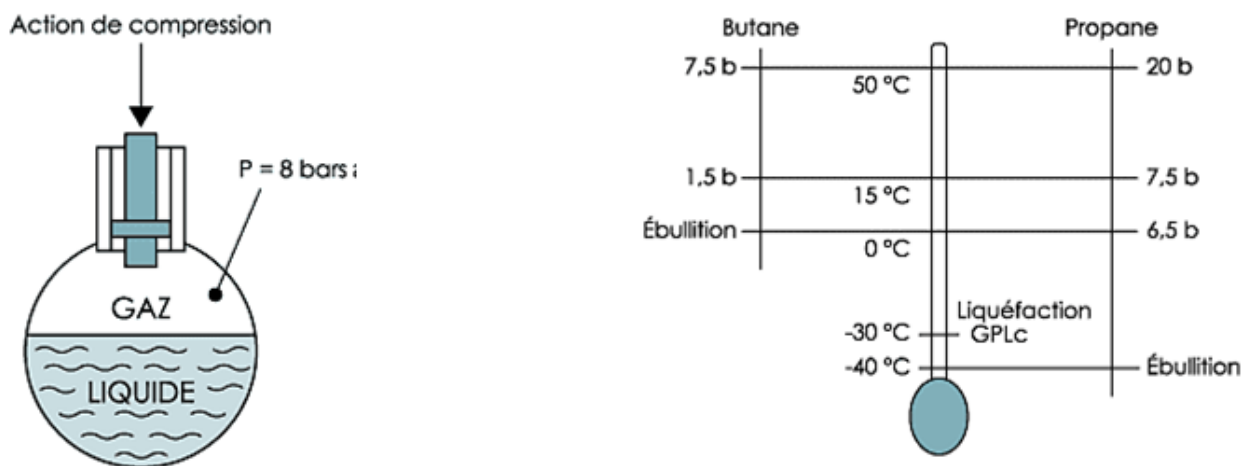


Figure 1 : liquéfaction par pressurisation et décrémentation de la température

- La norme EN 589 préconise une pression de 2,5 bars à - 10 °C.
- Le GPL se liquéfie à une température de - 30 °C ; son comportement est relativement proche de celui du propane.
- Le taux d'inflammabilité du propane (indice d'octane 104 à 110) est de 2,4 % à 9,6 % dans l'air, sa température d'auto-inflammation de 855 °F (457 °C).

### I.7. Dilatation :

La dilatation du GPLc est de 0,25 % par degré Celsius, d'où l'impératif de n'autoriser le remplissage du réservoir de carburant qu'en deçà de 80 à 85 % de son volume (dispositif limiteur).

À 15 °C et sous une pression de 1 013 mb :

- une masse de 1 kg de GPLc à l'état liquide occupe un volume de 1,8 dm<sup>3</sup> ;
- un volume de 1 dm<sup>3</sup> de GPLc à l'état liquide a pour équivalent un volume de 242 dm<sup>3</sup> de GPLc gazeux. [2]

## I.8. Principe de fonctionnement :

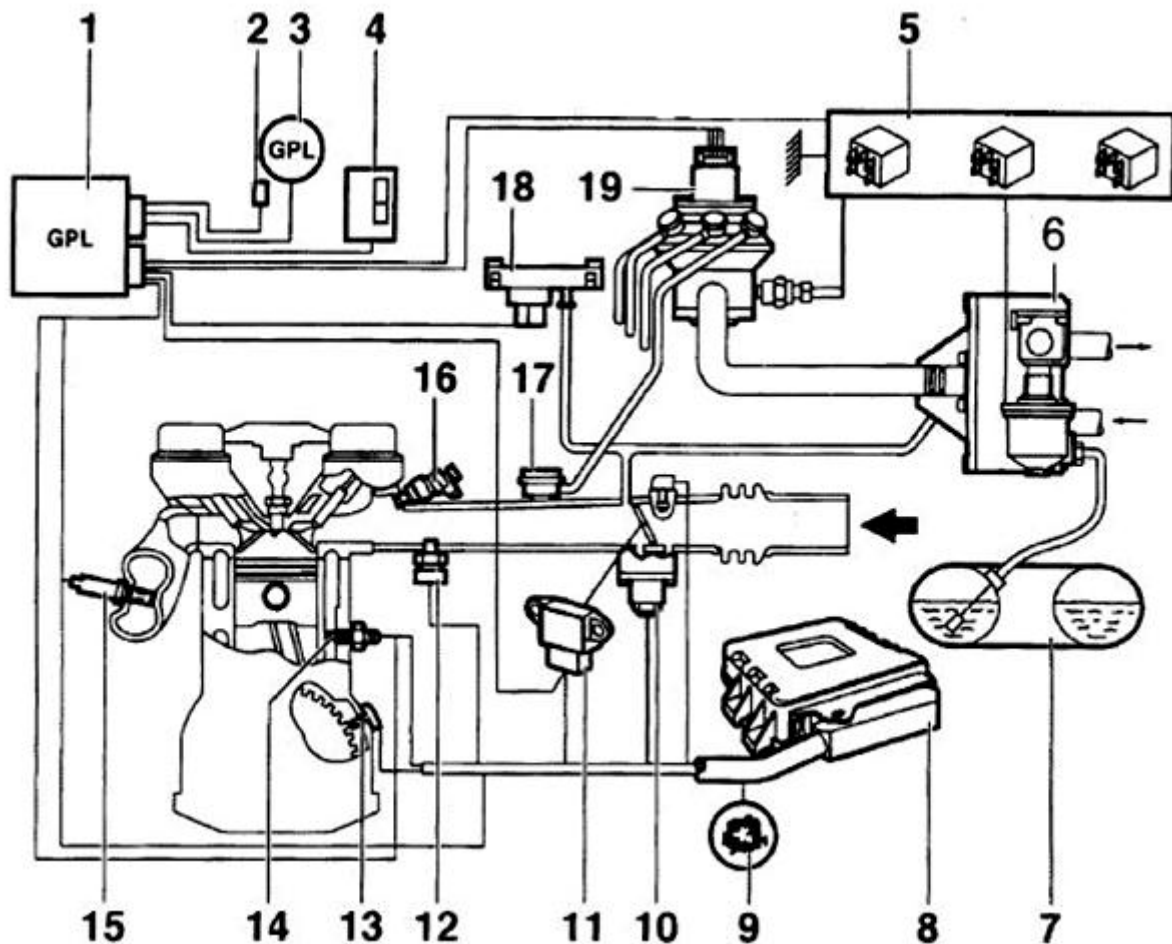


Figure 2 : schéma de principe d'un système évolué [5]

- |  |  |
|--|--|
| 1 : Calculateur injection GPL            | 11 : Potentiomètre papillon                  |
| 2 : Prise diagnostic GPL                 | 12 : Capteur de pression d'air admission ess |
| 3 : Voyant diagnostic GPL                | 13 : Capteur de régime moteur                |
| 4 : Interrupteur commutation ess/GPL     | 14 : Sonde de t° eau moteur                  |
| 5 : Relais triple                        | 15 : Sonde lambda                            |
| 6 : Vapo-détendeur                       | 16 : Injecteur essence                       |
| 7 : Réservoir GPL                        | 17 : Injecteur GPL                           |
| 8 : Calculateur injection allumage       | 18 : Capteur de pression d'air admission GPL |
| 9 : Voyant diagnostic inj/all            | 19 : Doseur distributeur GPL                 |
| 10 : Dispositif de régulation de ralenti |  |

Le passage en mode GPL se fait par l'intermédiaire d'un interrupteur (4) situé sur le tableau de bord.

Le témoin (3) rappelle au conducteur le mode de carburant utilisé. Le démarrage du moteur s'effectue en mode essence quelle que soit la position de l'interrupteur. La commutation en mode GPL s'effectue lorsque la température du moteur est supérieure ou égale à 15°C.

Le GPL liquide provenant du réservoir se vaporise au travers du vapo-détendeur(6), celui-ci est réchauffé par l'intermédiaire du circuit de refroidissement du moteur. Asservi à la pression de la tubulure d'admission, il module le débit de gaz envoyé au doseur distributeur(19).

Ainsi, le GPL à l'état gazeux est distribué aux injecteurs (17) par l'intermédiaire du doseur distributeur(19).

Le calculateur (1) exploite les informations des différents capteurs et sondes (11-13-14-15-18) et pilote le doseur distributeur par l'intermédiaire d'un moteur «pas à pas» et ainsi module la quantité de gaz à injecter. L'injection s'effectue de façon simultanée sur tous les cylindres.

Le calculateur GPL est équipé d'un autodiagnostic permettant de signaler et d'identifier les défauts.

I.9. Les Composants essentiel de kit GPL

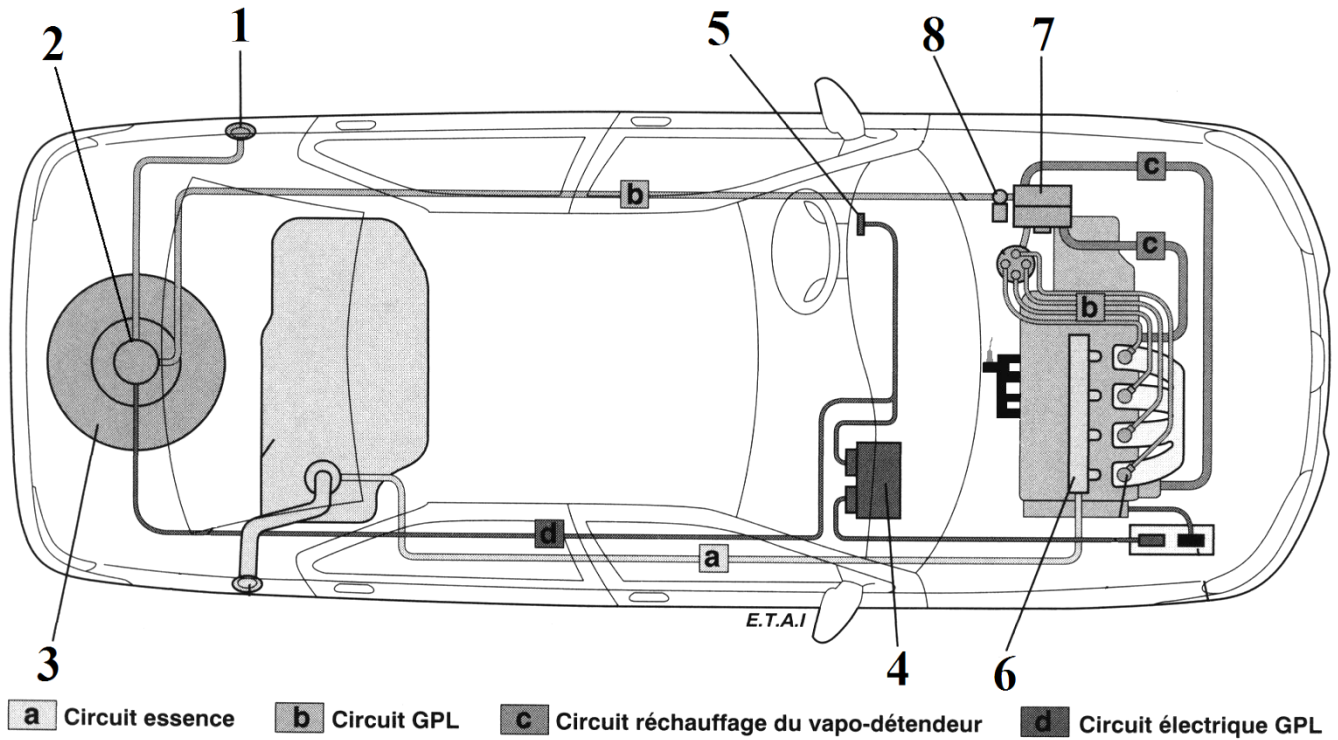


Figure 3 : Les Composants essentiel de kit GPL

Tableau 1 : liste des principales composantes du kit GPL

1	Dispositif de remplissage
2	polyane
3	Réservoir
4	calculateur
5	Commutateur
6	Rampe d'injecteurs
7	Electrovanne
8	Vapo-détendeur

### I.9.1. Dispositif de remplissage :

Le constructeur a laissé, à côté de l'orifice de remplissage d'essence, un espace suffisant pour installer le remplissage GPL.

La platine est percée puis le remplissage GPL est installé. Le remplissage GPL est relié à la polyvanne par une conduite de cuivre sous gaine annelée, fixée à la carrosserie par des colliers acier caoutchouc.

Entre la fixation sur caisse et le remplissage, la conduite de cuivre doit être enroulée sur plusieurs spires (boucle de Nelson) par mesure de sécurité en cas d'arrachement du bouclier. [9]



Figure 4 : emplacement du dispositif de remplissage

### I.9.2. Polyvanne :

Le réservoir est considéré parallèle au plan horizontal. La limitation de remplissage se faisant par le biais d'un flotteur, l'assiette de la polyvanne est un impératif de sécurité. On installe donc une polyvanne dite "zéro degré", en fait zéro degré par rapport au plan horizontal.

La polyvanne est bridée sur le réservoir par des vis BTR. L'étanchéité se fait par un joint caoutchouc. Après montage, elle est protégée entièrement par un cache en plastique. [9]



Figure 5 : la polyvanne du kit GPL.

### I.9.3. Le réservoir :

Elément essentiel du dispositif, il est réalisé en acier spécial d'environ 5 mm d'épaisseur. Il peut être de forme «bonbonne» ou «torique» selon le fournisseur du kit de montage. Son remplissage est limité par une polyvanne à 85 % de sa capacité pour des raisons de sécurité.

En effet, le GPL, à l'état liquide, se dilate de 0.25% par degré sous l'effet de la chaleur, c'est la raison pour laquelle le réservoir ne doit pas être rempli à plus de 85 %.

Lors d'une augmentation de température l'espace restant évite la mise en pression trop importante du GPL liquide à l'intérieur du réservoir, cette pression interne pouvant atteindre 20 bars. [5]

- Pression moyenne : été >>>8 bars  
Hiver>>>3 bars
- Résistance du réservoir : 30 bars.

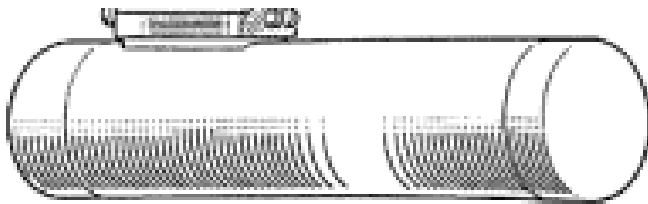


Figure 7 : Cylindrique, version berline

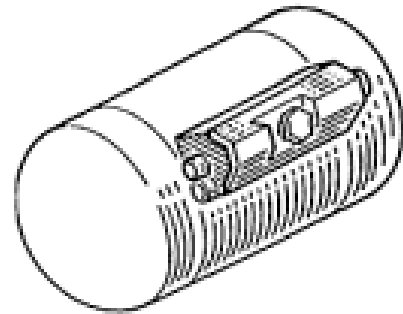


Figure 6 : Cylindrique, version utilitaire

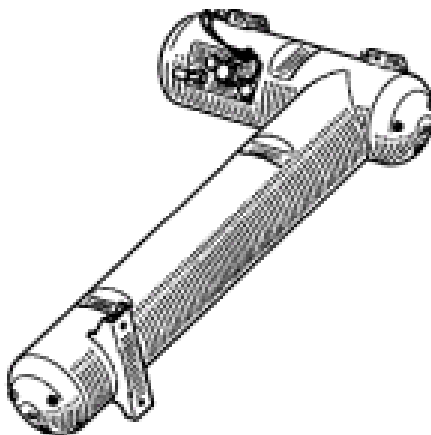


Figure 9 : En " L " sous le véhicule

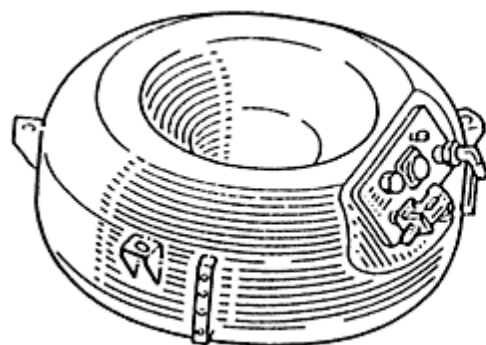


Figure 8 : Torique, sous le véhicule ou dans le bac de la roue de secours



### I.9.4. Calculateur :

Le calculateur 1 ordonne au boîtier de distribution l'augmentation de débit de gaz vers les valves d'injection puis le calculateur décide de ce débit en fonction de deux paramètres principaux : le régime du moteur et la charge, il compare ces informations à un diagramme caractéristique qui est programmé pour un grand nombre de régimes du moteur et de charges (pressions collecteur).

A chaque modification du régime du moteur et/ou de la charge du moteur, le calculateur cherche, dans le diagramme caractéristique, le nombre de pas correspondant à la nouvelle combinaison régime/charge et règle le moteur pas à pas en conséquence, après ce choix lu sur le diagramme et ordonné au moteur pas à pas, la sonde Lambda analyse les gaz brûlés et envoie à son tour un signal électrique au calculateur. Le calculateur donne l'ajout ou le retrait d'un certain nombre de pas au moteur pas à pas afin d'optimiser le fonctionnement du véhicule et cela comme pour une carburation à essence. [6]



Figure 10 : le calculateur GPL.

- **Le calculateur assure les fonctions complémentaires suivantes :**
  - Démarrer en mode essence quelle que soit la présélection de carburant faite par le conducteur. Si la présélection est GPL : le basculement est automatique après une temporisation.
  - Corriger les valeurs du diagramme caractéristique de fonctionnement lorsque le moteur fonctionne à froid.
  - Basculer en fonctionnement essence si le mélange GPL-air est trop pauvre.

- Surveiller le fonctionnement des différents capteurs. Remplacer les signaux défectueux par une valeur de secours. Avertir, le conducteur, de la défaillance via le voyant situé dans le commutateur de sélection.
- Activer un code de défaillance qui peut être lu par un technicien via la prise de diagnostic.

### I.9.5. Commutateur– indicateur :

Module de commande électronique dont les fonctions sont les suivantes :

- Sélecteur gaz/essence à 2 positions et indication du carburant utilisé au moyen de deux DEL lumineuses ;
- Affichage de la quantité de gaz présente dans le réservoir au moyen de 5 DEL lumineuses.
- Le commutateur est également muni d'un avertisseur sonore qui retentit dans les cas suivants : retour à la marche à l'essence à cause de la basse pression, retour à la marche à essence pour le diagnostic. [7]



Figure 11 : le commutateur GPL.

### I.9.6. La rampe d'injecteurs :



Figure 12 : la rampe d'injecteurs

Pour chaque cylindre, le gaz est injecté par une valve d'injection (injecteur), juste avant la soupape d'admission. Ces injecteurs sont vissés directement sur la tubulure d'admission.

Débit en continu. Les injecteurs sont pilotés par le calculateur ECU gaz. La rampe (voir la figure 12) peut présenter 2, 3 ou 4 injecteurs, afin de couvrir le domaine des applications possibles. Dans la rampe d'injecteurs sont prélevés des signaux de pression et température du gaz. Le pilotage des injecteurs est de type « peak and hold ». La pression maximale de marche est de 250 kPa.

### I.9.7. L'électrovanne :

Cette vanne 7 est fixée sur le vaporisateur/régulateur de pression 6. La vanne de fermeture de GPL est une vanne à pilotage électromagnétique. Elle est commandée par le calculateur et autorise l'écoulement du gaz à l'état liquide du réservoir vers le vaporisateur/régulateur. Le calculateur donne cet ordre dès le moment où l'on procède à la commutation au GPL. La vanne de fermeture de gaz est une vanne "négative», par conséquent, il convient de toujours prendre en compte le sens de l'écoulement, l'alimentation s'effectue sur la face inférieure. [6]



Figure 13: électrovanne.

### I.9.8. vapo-détendeur :

Dispositif à soupape de sûreté qui réduit la pression du GPL et le vaporise, de façon à garantir un flux régulier de gaz chaque fois que le moteur le demande. Il est doté de deux étages de réduction du GPL qui assurent la stabilité, aussi bien aux basses qu'aux hautes pressions. Le passage du GPL de l'état liquide à l'état gazeux s'effectue par chute de pression et par absorption de chaleur prélevée des éléments du réducteur réchauffés par le liquide du circuit de refroidissement du moteur. Le flux de gaz nécessaire au ralenti du moteur est activé avec le tuyau de gaz du flux principal, grâce à la dépression qui est créée par le moteur. Le dispositif est muni d'un dispositif électronique pour le démarrage, avec système de sécurité incorporé qui intervient pour fermer les électrovannes du gaz en cas d'arrêt même accidentel du moteur. [7]



Figure 14 : le vapo-détendeur

I.10. Schéma de raccordement d'un kit GPL :

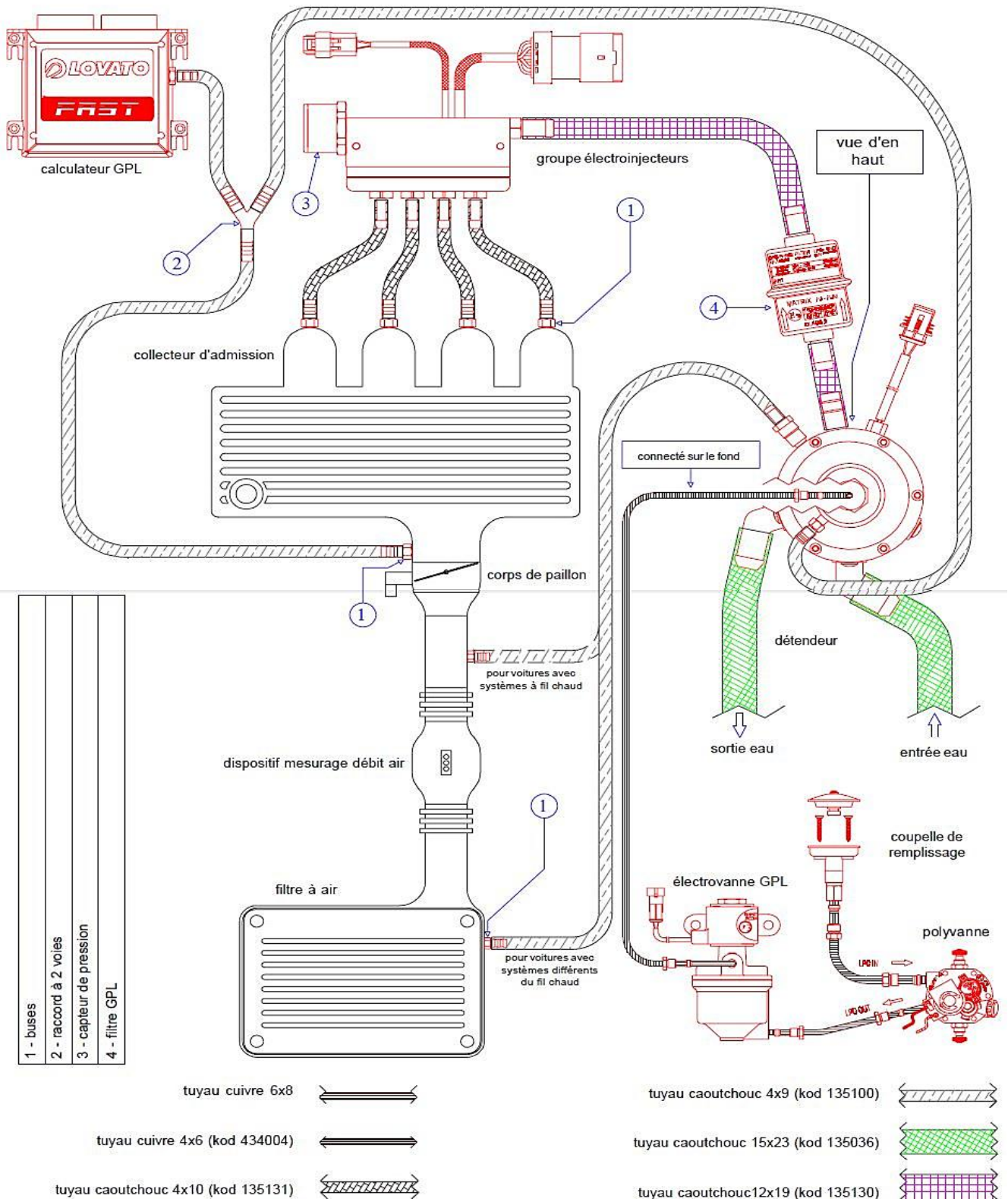


Figure 15 : schéma d'installation et de raccordement d'un kit GPL [10]

**I.11. Bilan des émissions :**

Bicarburant est une solution after market fiable et efficace pour réduire fortement une certaine partie des émissions de polluants.

Il est à noter que le carburant GPL (inodore et incolore) ne contient ni plomb, ni benzène, et que la teneur en soufre (longévité de la ligne d'échappement) est très nettement inférieure à celle du carburant essence. [2]

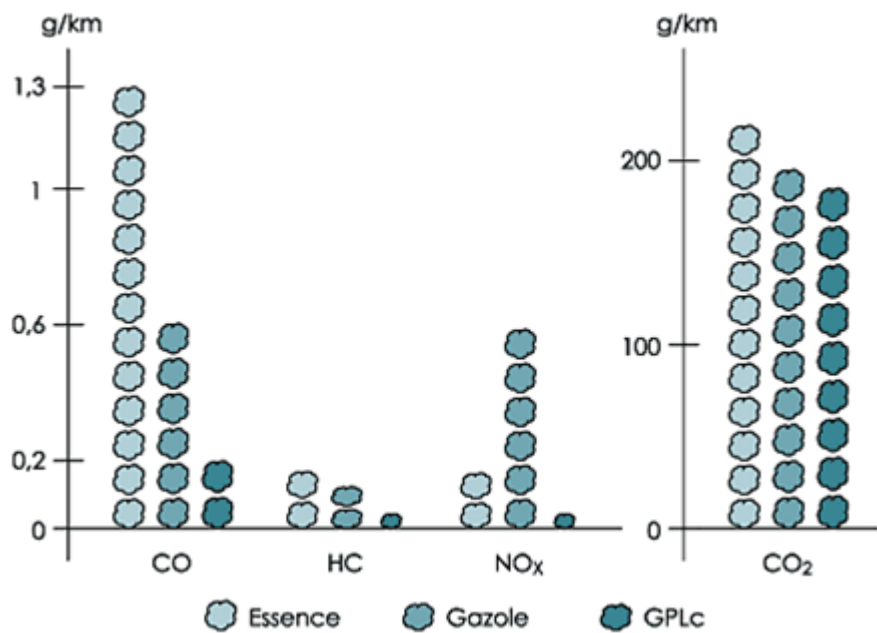


Figure 16: Bilan des émissions de plusieurs carburants. [2]

Tableau 2 : Mesures comparatives d'émissions de CO, HC, Nox [2]

Typologie carburants	Emissions véhicule	Emission co2	Autonomie véhicule	Cout carburante	Infrastructure ravitaillement
Essence	0	0	0	0	OK
Gazole	-	++	++	+	OK
GNC	+++	+	--	+	limité
Biogaz	+++	++++	--	-	Limité
GPL	+	+	-	+	limité

0 référence    + peu favorable    ++ assez favorable    +++ favorable  
 ++++ très favorable    - peu défavorable    -- défavorable

**I.12. Avantages de la voiture GPL :****I.12.1. Avantage économique :**

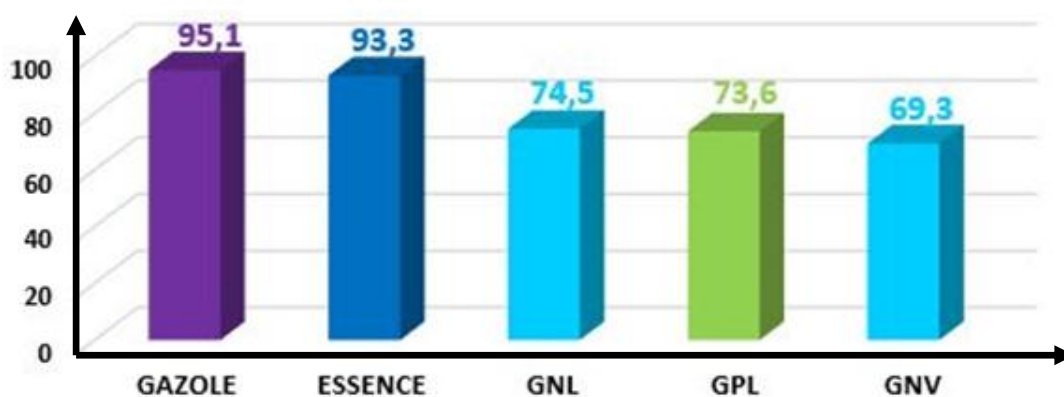
- Le surcoût lié à l'achat d'une voiture GPL ou à l'installation d'un kit GPL sur votre véhicule essence est immédiatement amorti grâce au bonus écologique accordé aux voitures GPL et au prix du litre du carburant GPL, moins élevé que le litre d'essence ou de diesel.
- Le carburant GPL étant un carburant propre, il est moins taxé par les pouvoirs publics que les autres. Ce qui permet un prix au litre sensiblement moins élevé si l'on compare avec les carburants classiques. [12]

**I.12.2. Avantage écologique :**

- La technologie GPL permet de réduire d'environ 25 % les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à un moteur classique. En restant dans un cadre de performances équivalent, la voiture GPL est plus respectueuse de l'environnement.
- Le carburant GPL est exempt de benzène, plomb ou soufre et sa combustion ne produit pas de particules néfastes pour la santé. Son taux d'émission de CO<sub>2</sub> est également réduit.
- De par son taux de vibration plus réduit, l'utilisation de votre voiture GPL contribue également à réduire les nuisances sonores.
- Votre voiture GPL est un véhicule propre. A ce titre, vous êtes autorisés à rouler lors des pics de pollution, malheureusement de plus en plus fréquents.
- La combustion du GPL ne produit pas de particules et limite significativement les émissions de NO<sub>x</sub>, tous deux responsables de maladies respiratoires.
- Elle produit en moyenne 15 % de CO<sub>2</sub> de moins que le même moteur fonctionnant à l'essence. Le CO<sub>2</sub> est un des gaz responsables de l'effet de serre. [12]

Tableau 3 : taux de consommation de carburant et de rejet de CO<sub>2</sub> [11]

Cette voiture avec une consommation de :	rejetera, pour 10 000 km parcourus :
6 litres aux 100 km en essence	1 500 kg de CO <sub>2</sub>
5 litres aux 100 km en gazole	1 350 kg de CO <sub>2</sub>
7,5 litres aux 100 km en GPL	1 200 kg de CO <sub>2</sub>

Figure 17 : Taux de démission de CO<sub>2</sub> g eq/Mj de plusieurs carburants [11]

### I.13. Inconvénients d'une voiture GPL :

- Les voitures GPL subissent une légère baisse de puissance, par rapport à un véhicule essence. Cette baisse de puissance au niveau du moteur est peu sensible, mais notable au niveau de la tonicité en reprise du véhicule.
- Sur certains modèles de voitures GPL, le réservoir est logé en lieu et place de la roue de secours. Votre voiture GPL n'a donc pas de roue de secours, qui est remplacée par une bombe anti-crevaison. Ce produit anti-crevaison a, aujourd'hui, prouvé son efficacité.
- D'un point de vue strictement économique, les voitures GPL sont parfaites pour faire de la route. Si votre besoin est restreint à de petits trajets en ville ou sur des routes encombrées, la consommation en carburant d'une voiture GPL sera plus élevée par rapport à un véhicule Diesel. [12]



**I.14. Conclusion :**

Dans les prochaines décennies, comme on peut s'y attendre, le nombre de véhicules particuliers continuera d'augmenter. L'impact de cet accroissement tendra à épuiser les ressources naturelles, en particulier les hydrocarbures (dans la continuité du choix actuel des énergies) et marquera de manière sensible notre environnement.

L'automobile doit donc réduire la consommation de carburant et les émissions à l'échappement. Elle doit favoriser les technologies permettant une réduction des différentes pollutions (locale, régionale, globale) et en outre, mener à la baisse les rejets de CO<sub>2</sub> responsables de l'effet de serre, en tenant compte des émissions liées à l'utilisation du véhicule mais également celles qui sont issues de la production des carburants et des véhicules.

Le GPL, issu de la raffinerie pétrolière, offre de bonnes performances tout en respectant le paysage industriel en place (la technologie est semblable à celle des carburants essences et gazole).

## II.1. Introduction :

Le gaz de pétrole liquéfié, abrégé en GPL est un mélange d'hydrocarbures légers, stocké à l'état liquide dans le réservoir.

Le butane et le propane sont stockés sous leur propre pression de vapeur, c'est-à-dire que les conditions de stockage sont telles qu'il y a coexistence des états liquide et gazeux du gaz concerné.

Ainsi la pression de stockage dépend uniquement :

- de la nature du produit stocké (ses propriétés physiques en particulier) ;
- de la température de stockage.

Il faut donc le transformer en gaz, c'est le rôle du vapo-détendeur, dans notre travail on va utiliser le model LANDI RENZO version EC04.

## II.2. Définition du vapo-détendeur :

Un détendeur est un dispositif à commande électronique qui réduit la pression du GPL et le vaporise en assurant ainsi un flux régulier de gaz à chaque demande du moteur. Il présente deux étage (voir la figure 18) de réduction de la pression du GPL qui assurant sa stabilité avec de hautes comme avec de faibles quantités de gaz fourni. Le passage du GPL de la phase liquide à la phase gazeuse advient par chute de pression et à travers l'absorption de la chaleur prélevée aux éléments du détendeur chauffés avec le liquide du circuit de refroidissement du moteur. Le flux de gaz nécessaire au fonctionnement du moteur au ralenti est actif au moyen de l'électrovanne prévue à cet effet et il arrive par le tuyau de gaz du flux principal. Muni d'un dispositif électronique pour le démarrage, avec système de sécurité qui intervient pour fermer les électrovannes du gaz en cas d'arrêt même accidenté du moteur. [8]

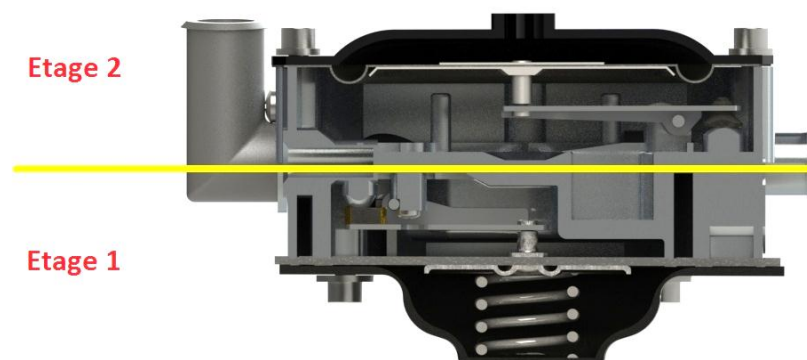


Figure 20 : deux étages du vapo-détendeur.

### II.3. Les Composants :

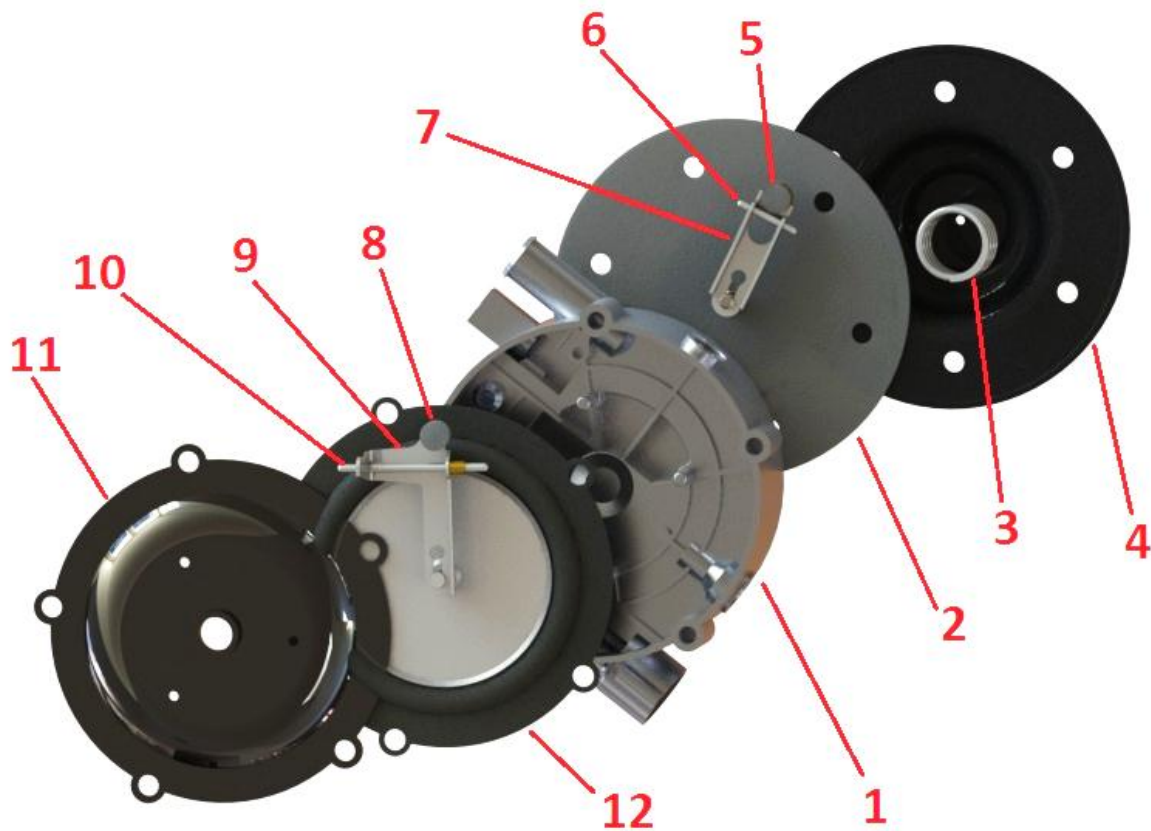


Figure 11 : Les Composantes du vapo-détendeur

Tableau 4 : les composante du vapo-detendeur .

1	Block reducteur	7	Levier
2	Membrane	8	Soupape
3	Ressort	9	Levier
4	Cache	10	Axe de rotaion
5	Soupape	11	Cache
6	Axe de rotation	12	Membrane

### II.3.1. Le bloc détendeur :

Le block détendeur c'est la partie la plus importante dans le mecanisme vapo-détendeur, son constitution assure que la pression du gaz soient réduit et le vaporise (passer de l'état léquide à l'état gaz), il a deux chambre défferents . le bloc détendeur en generale fabriqué en alliage d'aluminium.

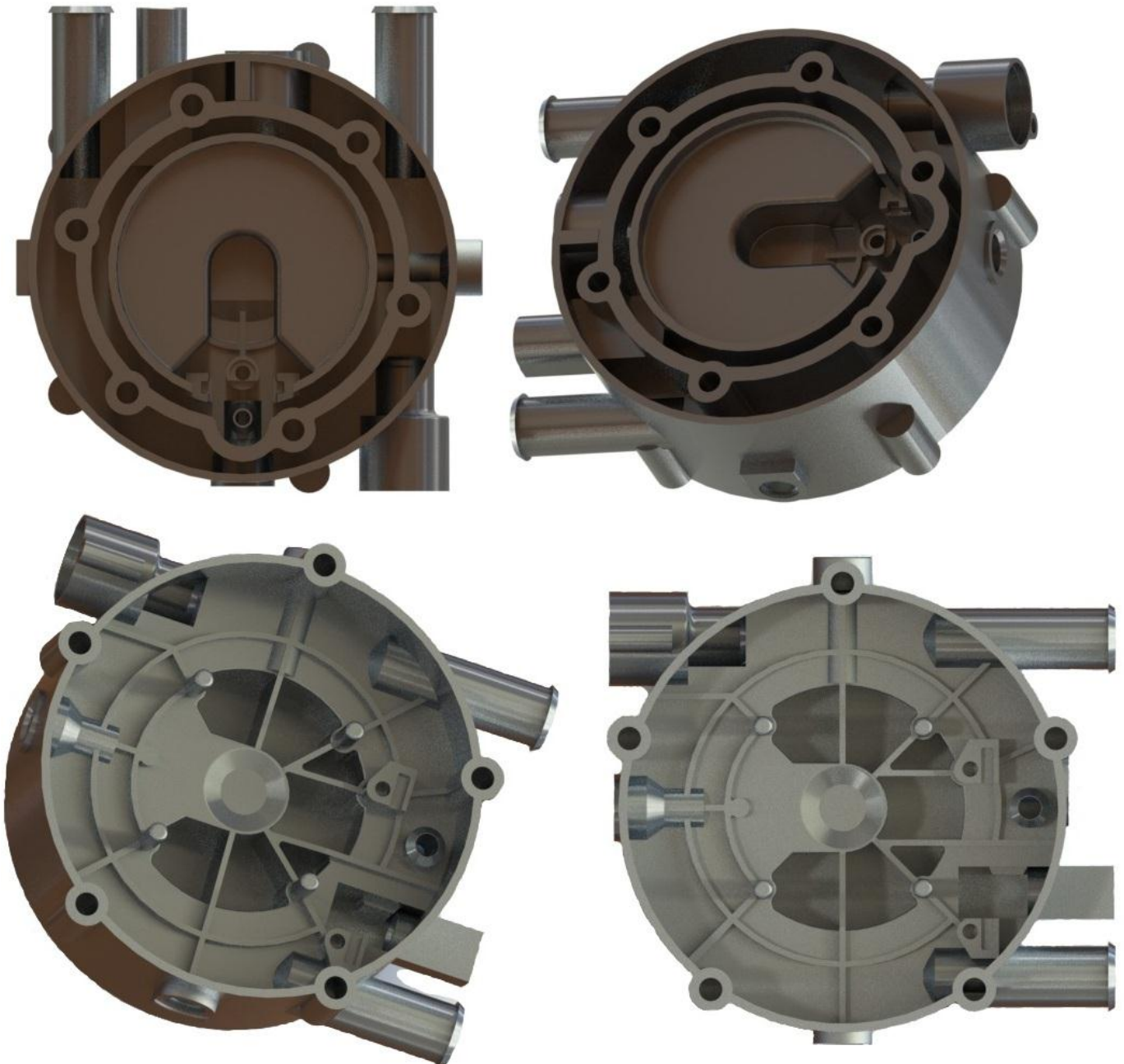


Figure 22 : vu des deux chambres du vapo-détendeur.

### II.3.2. Soupape du premier étage :

La soupape du premier étage qui est fabriqué du caoutchouc est un élément a un seul but et c'est faire laisser le gaz entrée dans la premier chambre ou bien le bloquer et ne le laisse pas entrée.



Figure 23 : vue de la soupape du premier étage.

### 3.3. levier du premier étage :

A l'aide de le levier (2) la soupape et liée avec la membran et ce dernier commande la fermeture et l'ouverture de la soupape. Le levier et liée avec un axe qui le laisse se balancer.

Le levier est fabriqué en acier inoxydable vu son epaisseur qui est que 2mm, pour résister la haute pression et des contraintes elevés.

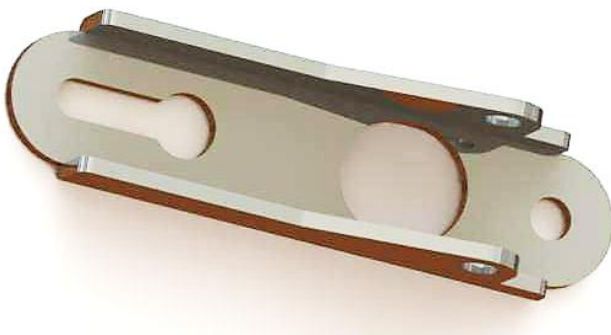


Figure 24 : vue du levier du premier étage

### II.3.3. l'axe de rotation du levier de premier étage :

l'axe est fixé avec le block détenteur par un vis et liée avec le levier.

L'axe est fabriqué en meme matériau que le levier (acier inoxydable).



Figure 25 : axe de rotation de levier du premier étage

### II.3.4. Membrane du premier étage :

La membrane et l'élément qui commande l'ouverture et la fermeture de la soupape, avec la pression que le gaz exerce sur elle. Elle est fabriquée en caoutchouc avec un cercle fabriqué en acier inoxydable au milieu pour éviter la déformation totale de la membrane au milieu.

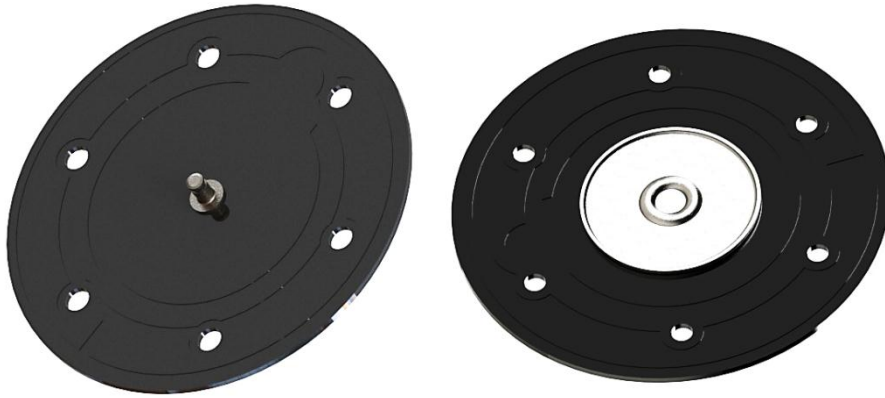


Figure 26 : Membrane du premier étage.

### II.3.5. Cache du premier étage :

Le cache du premier étage qui fixe le ressort du premier étage, exerce une force sur la membrane. Les caches sont fabriqués en tôle d'acier.



Figure 27 : cache du premier étage.



Figure 28 : soupape du deuxième étage.

### II.3.6. Soupape du deuxième étage :

La soupape du deuxième étage a le même but que la soupape du premier étage, (faire passer ou bloquer le passage du gaz)

**II.3.7. Levier du deuxième étage :**

Figure 29 : levier de soupape du deuxième étage.

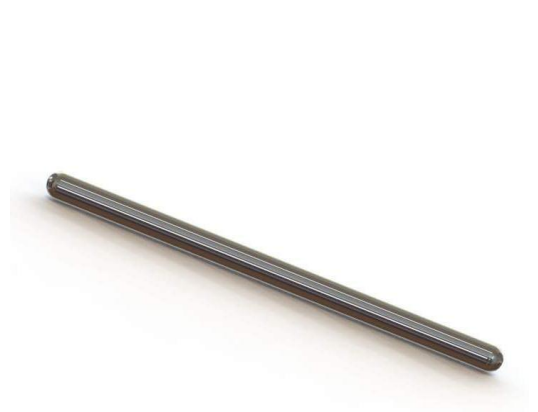
**II.3.8. l'axe du deuxième étage :**

Figure 30 : axe de rotation de la soupape du deuxième étage

**II.3.9. Membrane du deuxième étage :**

Elle a le même but que la membrane du premier étage, (commander l'ouverture/fermeture de la soupape), (matériau : caoutchouc)



Figure 31 : Membrane du deuxième étage

**II.3.10. Cache de deuxième étage :**

Figure 32 : Cache de deuxième étage.

**II.3.11. Ressort du premier étage :**

Le ressort du premier étage est l'élément qui fait laisser la soupape ouverte en exerçant une force sur la membrane et la pousse en bas et vu qu'elle est fixée avec le levier donc elle le pousse vers le bas ce qu'il veut dire l'ouverture de la soupape.



Figure 33 : ressort du premier étage.

**II.3.12. Vis de registre minimum :**

Le réglage du minimum sur la soupape est effectué avec la vis de registre minimum laquelle agit sur le ressort et par voie de conséquence sur le levier de façon à garantir le passage de la bonne quantité de gaz pour le fonctionnement au ralenti.



Figure 34 : vis de registre minimum.



**II.3.13. Bouchon de vidange :**

Pour la bonne marche du vapo-détendeur il est nécessaire des fois de faire un vidange, donc le vidange se fait à l'aide du trou qui est fermé par le bouchon de vidange.

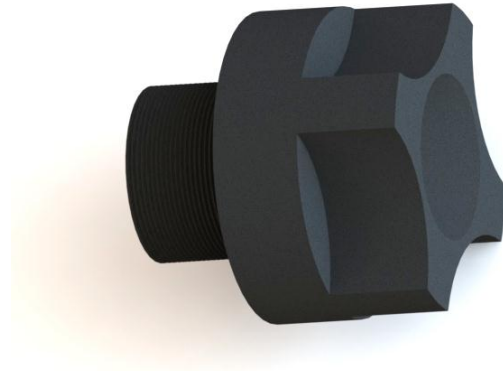


Figure 35 : bouchon de vidange.

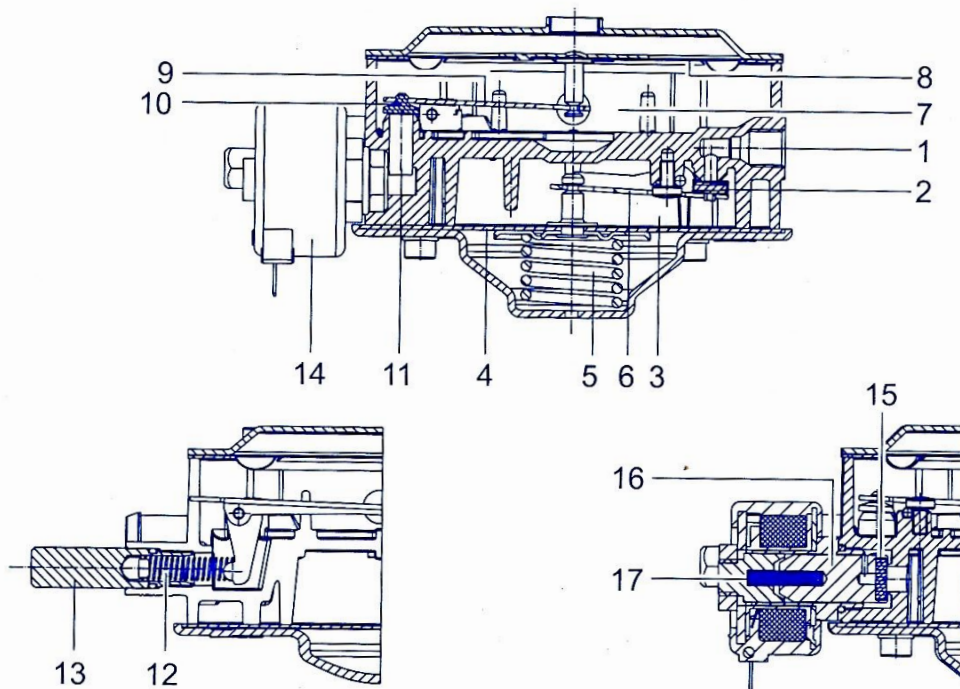
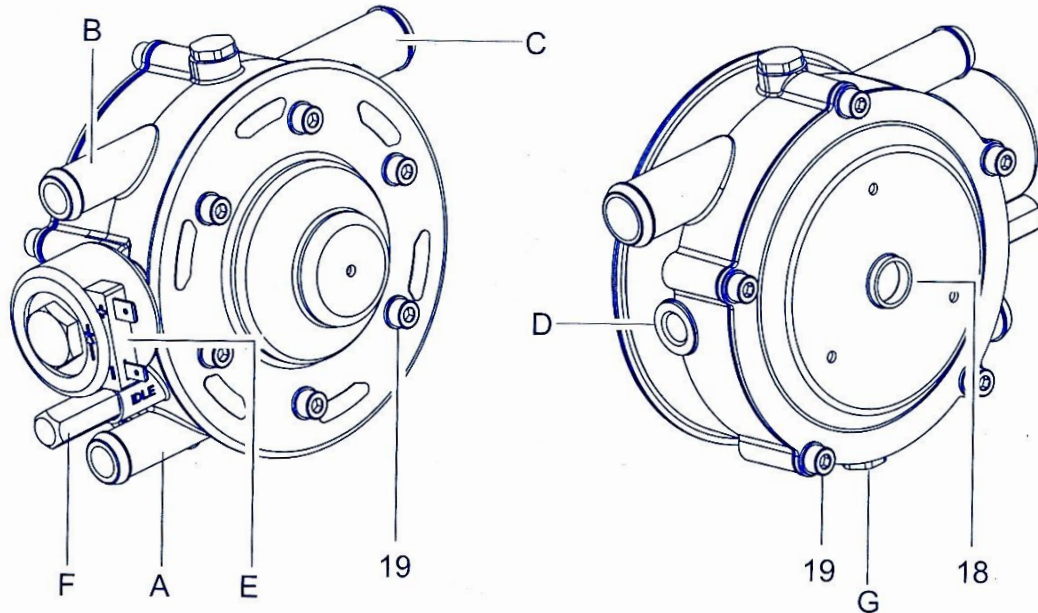
**II.4. Principe de fonctionnement du détendeur :**

Ⓛ Schemi Tecnici

ⓖⓑ Technical Drawings

ⓕ Schémas Techniques

ⓔ Esquema Técnicos



**LANDI RENZO S.p.A.**

RID. GPL EC04/EC04 LPG REG./RED. EC04 GPL/RED. EC04 GPL

Figure 36 : schéma technique du vapo-détendeur EC04. [8]

Tableau 5 : Nomenclature du vapo-détendeur.

A	Raccord de l'entrée d'eau à raccorder à un tuyau de retour du circuit de l'eau du moteur
B	Raccord de la sortie de l'eau à raccorder à un tuyau de refoulement du circuit d'eau du moteur
C	Sortie du gaz
D	Entrée du gaz
E	Contact positif et négatif de l'électrovanne
F	Registre minimum
G	Bouchon de vidange
01	Entrée du gaz
02	Soupape du premier étage
03	La chambre de premier étage
04	Membrane du premier étage
05	Ressort
06	Levier
07	La chambre de deuxième étage
08	Membrane du deuxième étage
09	Levier
10	Soupape du deuxième étage
11	Tuyau
12	Ressort
13	Vis de registre minimum
14	L'électrovanne
15	Siège de la soupape
16	Noyau
17	Ressort
18	Trou central
19	Vis

Le G.P.L traverse l'entrée du gaz (1), la soupape de premier étage (2) et il entre dans la chambre de premier étage (3). Le flux est dosé par la pression que le gaz exerce sur la membrane (4), en provoquant ainsi sa dilatation qui en l'emportant sur la résistance du ressort (5), actionne le levier (6) qui règle l'ouverture et la fermeture de la soupape de premier étage (2). A travers la sortie du gaz (C), l'aspiration du moteur crée une dépression dans la chambre du deuxième étage (7) et produit un mouvement axial de la membrane du deuxième étage (8).

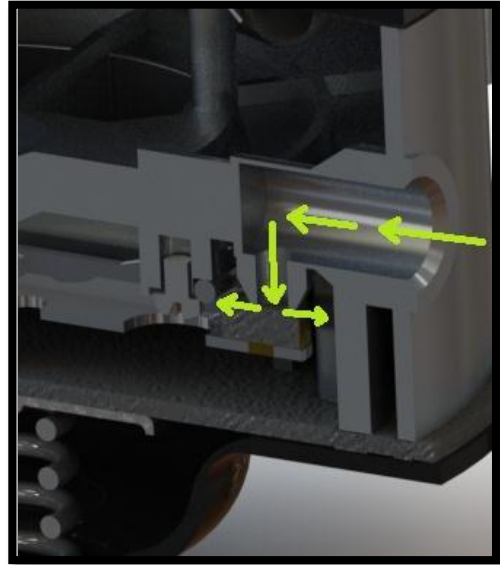


Figure 37 : entre du gaz de la premier chambre.

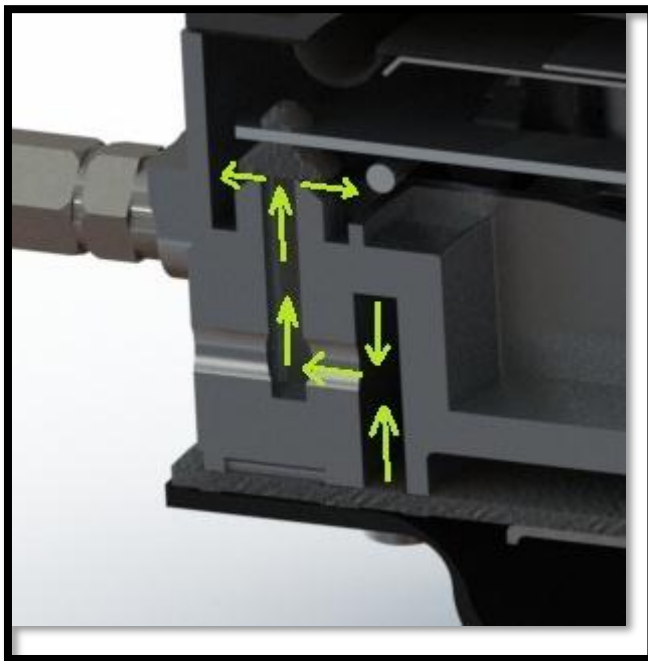


Figure 38 : entre du gaz de la deuxième chambre

La membrane est liée au levier (9) et provoque l'ouverture de la soupape (10) en laissant ainsi le gaz passer par le tuyau (11) qui l'emporte vers la chambre de deuxième étage et à travers la sortie de gaz (C), dans le tuyau prévu à cet effet jusqu'au moteur. Le réglage du minimum sur la soupape (10) est effectué avec la vis de registre minimum (13) laquelle agit sur le ressort (12) et par voie de conséquence sur le levier (9) de façon à garantir le passage de la bonne quantité de gaz pour le

fonctionnement au ralenti. Le dispositif de démarrage et d'accélération se compose de

l'électrovanne (14) commandée au moyen d'un dispositif électronique qui ne l'alimente que si le moteur est mis en marche en permettant ainsi au gaz de sortir par le siège de la soupape (15) et d'atteindre la chambre du deuxième étage. [8]

Si le moteur ne démarre pas, la bobine se désexcite, le noyau (16) et le ressort (17) exercent de nouveau leur pression sur le siège (15) en bloquant ainsi l'arrivée du gaz. Cela est également valable lorsque le moteur s'éteint pour une raison ou pour une autre. Avant la mise en marche, lorsque l'on met sous tension le dispositif électronique excite la bobine (14) pendant un laps de temps préétabli, en libérant le siège (15) de la quantité de gaz nécessaire au démarrage.

Si une augmentation anormale de la pression a lieu dans la chambre de premier étage (3), la pression agit sur le noyau (16) et le ressort (17) en ouvrant le siège (15) et en laissant alors le gaz sortir. L'on a ainsi une fonction de sécurité qui évite le confinement du gaz sous pression en cas de mauvais fonctionnement du véhicule ou en raison d'une panne. [8]

### **II.5. Principe de la vaporisation :**

Lorsque la vanne est ouverte le GPL liquide du réservoir arrive dans le vaporisateur de pression où il prend une forme gazeuse.

Ce changement d'état s'appelle la vaporisation. La vaporisation s'opère spontanément en faisant chuter la pression du GPL.

Cette opération s'effectue dans le premier étage du vaporisateur, la température d'ébullition ou d'évaporation du gaz liquide se situe à environ - 20°C. Par conséquent il est nécessaire de réchauffer le premier étage pour éviter des problèmes de givrage.

Le premier étage du vaporisateur/régulateur est raccordé au circuit de refroidissement du véhicule afin d'assurer ce réchauffage.

## II.6. Le réchauffage du vapo-détendeur : (12)

Deux cas possibles pour le réchauffage du vapo-détendeur, parallèle ou série. Dans tous les cas, le piquage doit se faire avant le calorstat.

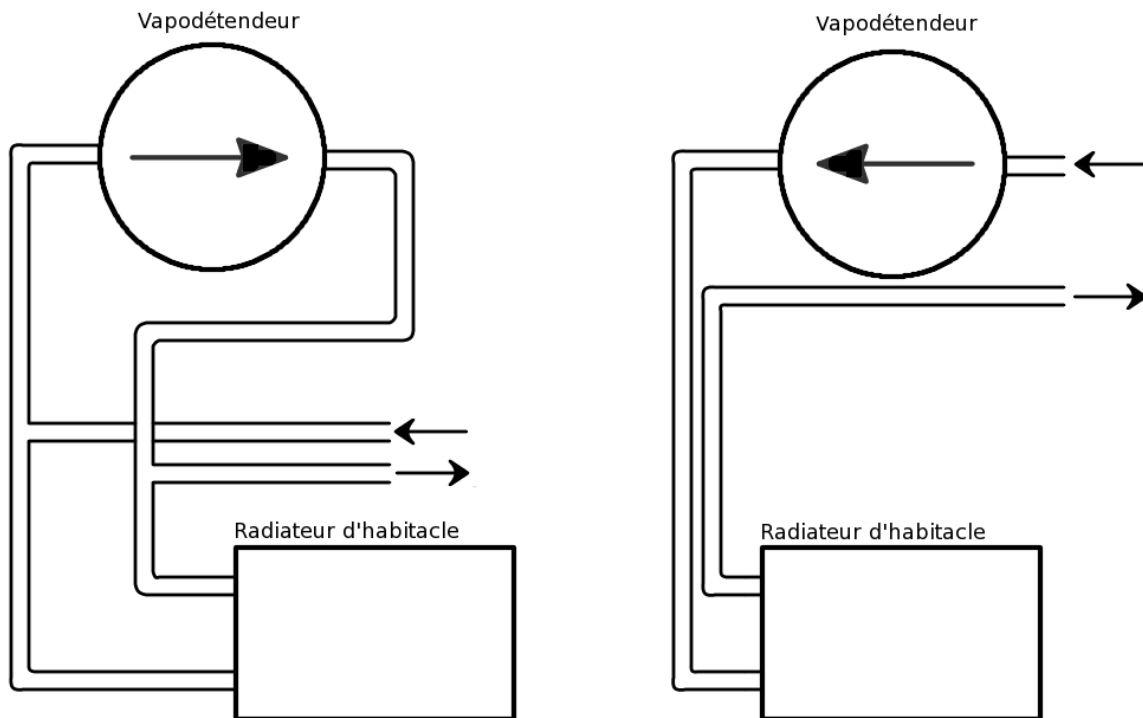


Figure 39 : type de réchauffage du vapo-détendeur.

## II.7. Avertissement généraux pour l'installation du vapo-détendeur :

Pour l'installation du détendeur, il est nécessaire de respecter les indications suivantes :

- ❖ installer le détendeur dans la loge du moteur, le plus près possible de l'endroit où sera installé le mélangeur, en le fixant solidement à la carrosserie, avec la vis fournie à cet effet serrée sur le trou central (18).
- ❖ Installer le détendeur à l'extérieur de la loge qui accueille les organes servant à l'aspiration de l'air pour l'aération et le chauffage de l'habitacle.
- ❖ Installer le détendeur à une distance non inférieure à 150mm des tuyaux et des silencieux d'échappement. Au cas où cette distance serait inférieure à la valeur minimale prescrite, mais toutefois supérieure à 75mm, il est nécessaire d'intercaler entre les éléments un diaphragme réalisé en tôle ou avec un matériau présentant des caractéristiques équivalentes et une épaisseur minimale de 1mm.
- ❖ Placer le détendeur parallèlement au sens de marche et en position verticale, de façon à ce qu'il soit facile d'y accéder pour effectuer les réglages et les opérations d'entretien.

- ❖ S'assurer que le détendeur occupe une position plus basse que le point le plus haut du radiateur afin d'empêcher la formation de bulles d'air dans le circuit d'eau.
- ❖ Veiller à ne pas placer le détendeur de façon à ce que la vis de vidange se trouve au-dessus du delco ou au-dessus de la bobine d'allumage.
- ❖ Nettoyer soigneusement le tuyau à haute pression GPL avant de les raccorder définitivement au détendeur, de façon à éviter l'éventuelle introduction d'impuretés à l'intérieur du détendeur.
- ❖ S'assurer que, lorsque le moteur est allumé, il n'y a pas de fuites dans les tuyaux d'eau (généralement raccordés au circuit de chauffage de l'habitacle).
- ❖ S'assurer que le détendeur chauffe rapidement grâce au raccordement au circuit de refroidissement du moteur.

Chaque fois que le circuit de refroidissement du moteur est purgé, il est nécessaire de rétablir le niveau du liquide en veillant à éliminer les éventuelles bulles d'air qui pourrait rendre impossible le chauffage du détendeur.

La sortie gaz du détendeur doit être raccordée au mélangeur en faisant en sorte que le tuyau de raccordement (qui devra être le plus court possible) ne présente ni courbes, ni sacs.

## **II.8. Conclusion :**

Les propriétés du vapo-détendeur résident dans son aptitude à assurer un fonctionnement Stable du moteur en charge, une progressivité adaptée lors des transitoires et un enrichissement dans des conditions de démarrage et de ralenti à froid.

Ce chapitre nous a permis de décrire le fonctionnement du vapo-détendeur mais aussi voir sa composition et le rôle de chacun d'entre eux.

### III.1. Introduction :

Ce chapitre nous détailleront la conception du vapo-détendeur avec le logicielle SOLIDWORKS et nous feront trois calculs avec des différentes pressions pour tester la fiabilité du produit avec le logiciel ANSYS.

On va utiliser pour notre travaille le vapo-détendeur LANDIRENZO EC04, il s'agit d'un dispositif hautement technologique.

### III.2. Caractéristique du vapo-détendeur Landirenzo EC04:

Détendeur GPL à membrane avec 2 étages de réduction, de plus en plus de sécurité et dispositif de démarrage électronique.

❖ Application :

Traction automobile, indique pour les véhicules à catalyseur et à moteur avec système d'injection ou carburateur.

❖ Type de carburant :

LPG (Gaz Propane liquide)

❖ Chauffage :

Avec liquide de refroidissement du moteur.

❖ Température de marche :

De -20° à 120°C

❖ Tension d'alimentation :

Nominal 12 volts.

Plage de fonctionnement de 8 à 16 volts.

❖ Pression d'essai :

67.5 Bar

❖ Pression à l'entrée :

Minimale : 2.5 bars

Maximale : 30 bars

❖ Pression d'explosion :

> 67.5 bars

❖ Pression réglage du premier étage :

0.6 Bar



❖ Pression d'ouverture de soupape de sureté :

1.2 Bar

❖ Poids :

Environ 1.15 kg.

### III.3. Présentation du vapo-détendeur sous le logiciel Solidworks :

Après la prise de toutes les dimensions nécessaires des différentes composantes du vapo-détendeur, L'étape suivante est la conception du modèle en utilisant le logiciel Approprié Solidworks.

Les figures suivantes représentent la conception de nos pièces qui composer notre vapo-détendeur sous le logiciel SolidWorks (Les différentes vues des composantes du vapo-détendeur sont représentées dans l'annexe) :

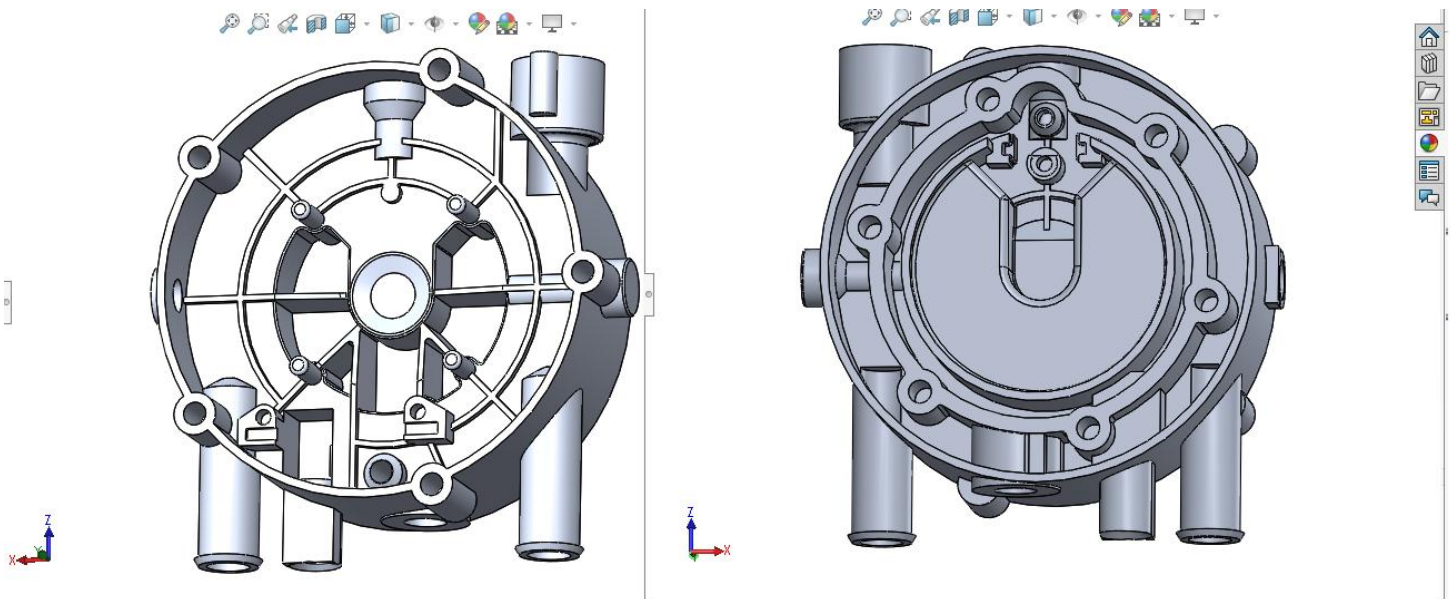


Figure 40 : Bloc du vapo-détendeur Landirenzo EC04.

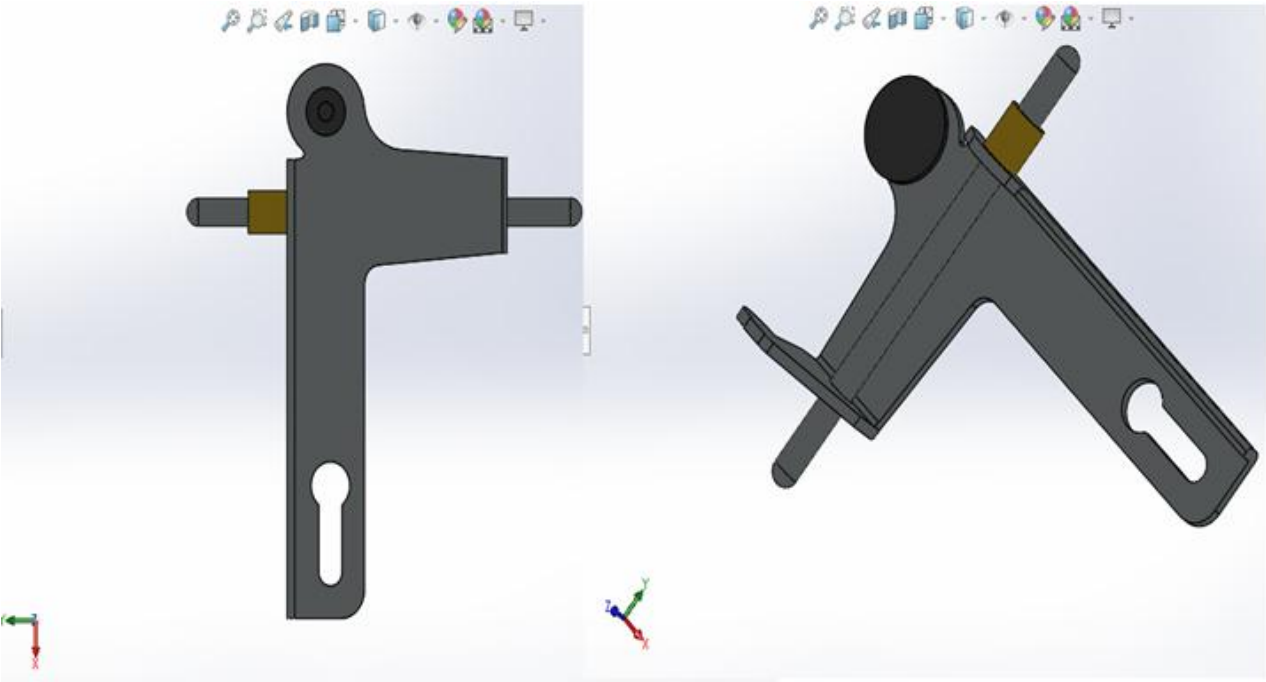


Figure 41 : Soupape du deuxième étage après assemblage.

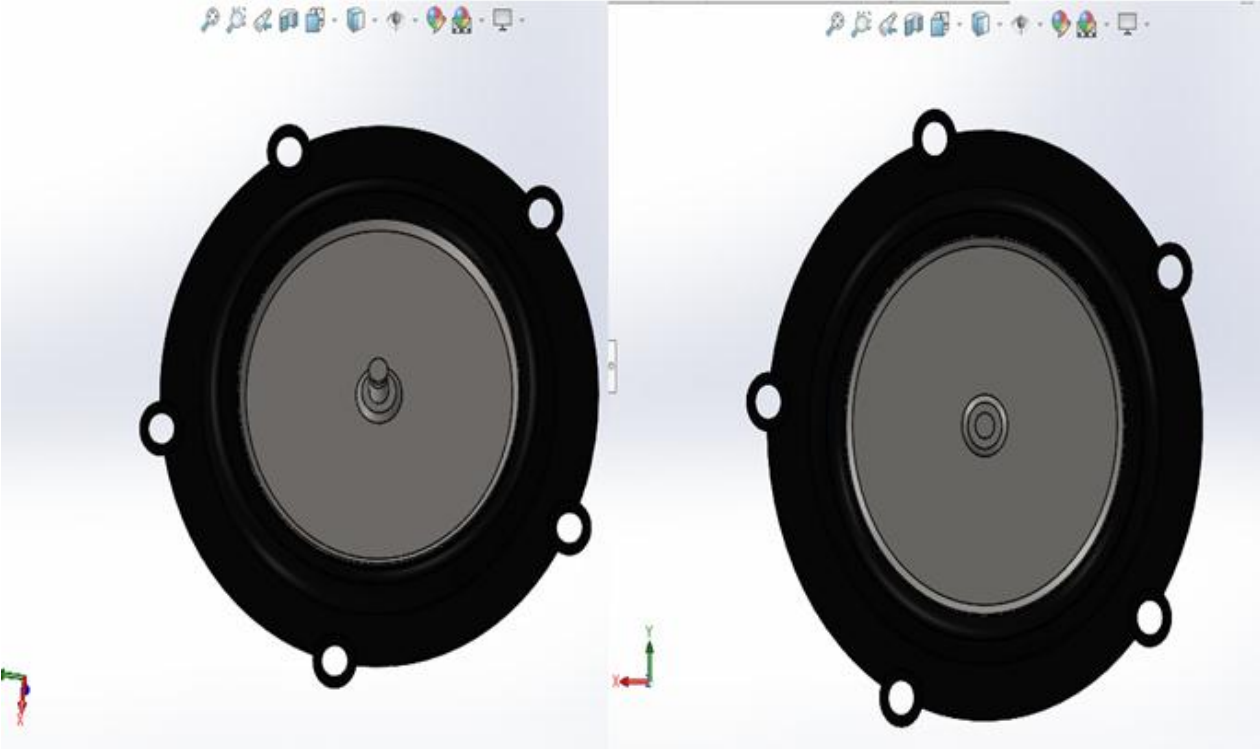


Figure 42 : Membrane du deuxième étage après assemblage

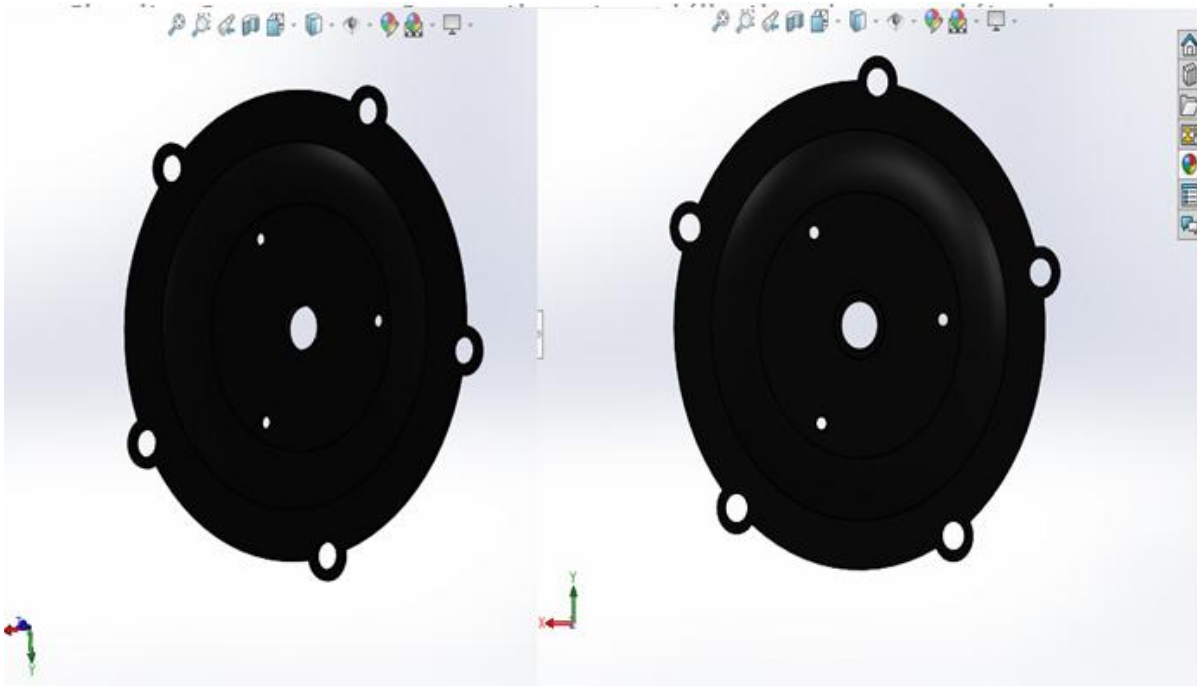


Figure 43 : Cache du deuxième étage.

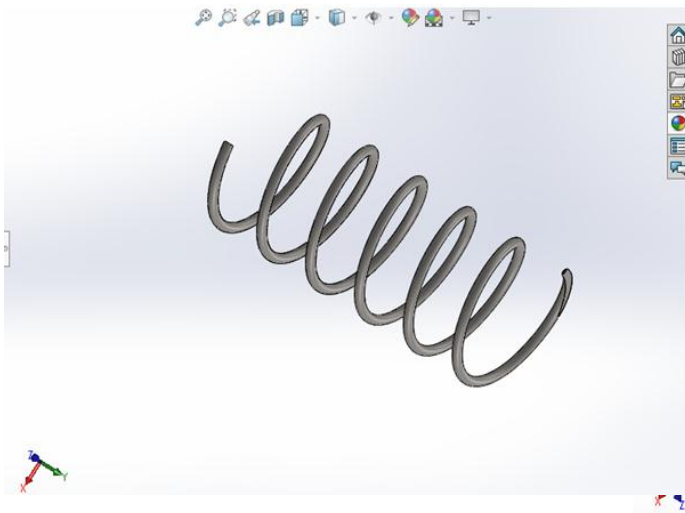


Figure 45 : ressort de rappel de la membrane du deuxième étage

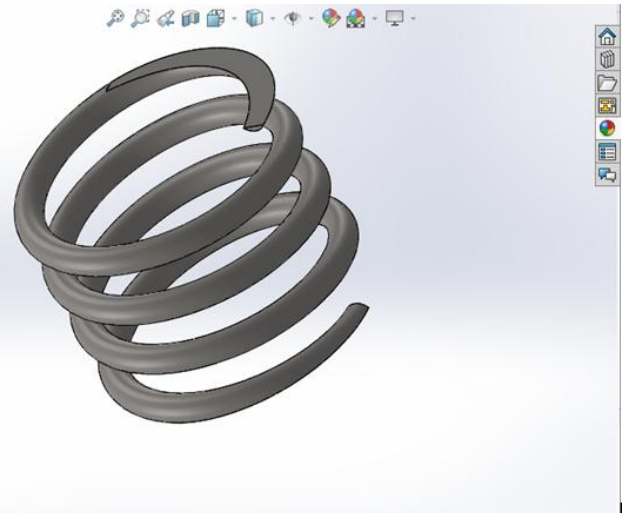


Figure 44 : Ressort de rappel de la membrane du premier étage.

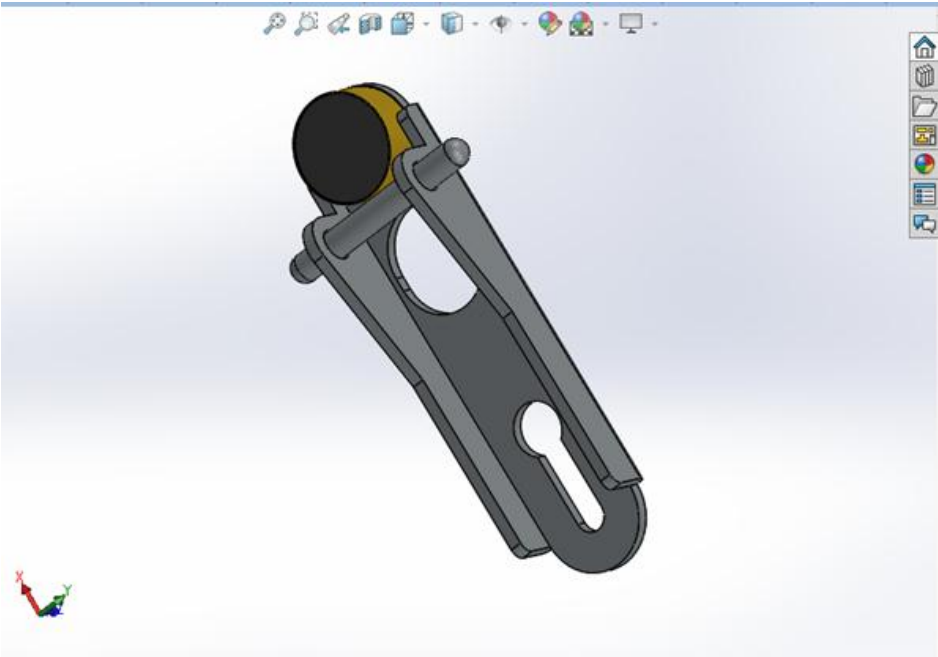


Figure 46 : Soupape du premier étage après assemblage.

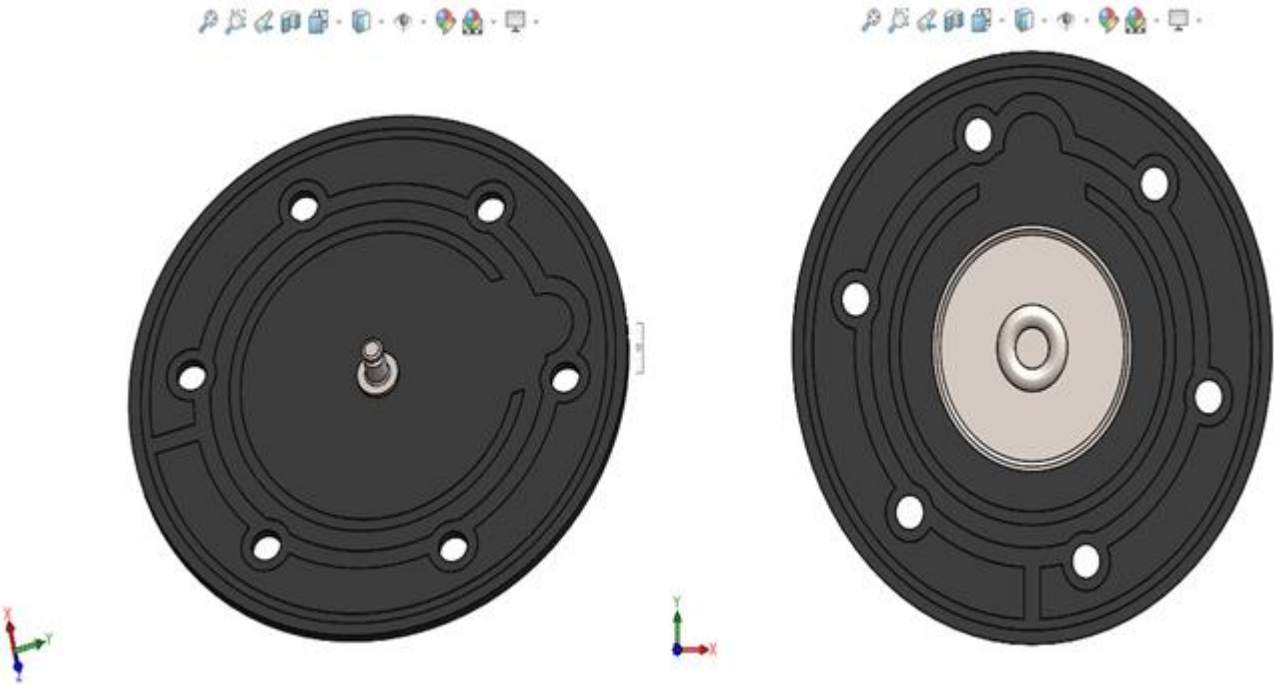


Figure 47 : Membrane du premier étage après assemblage.

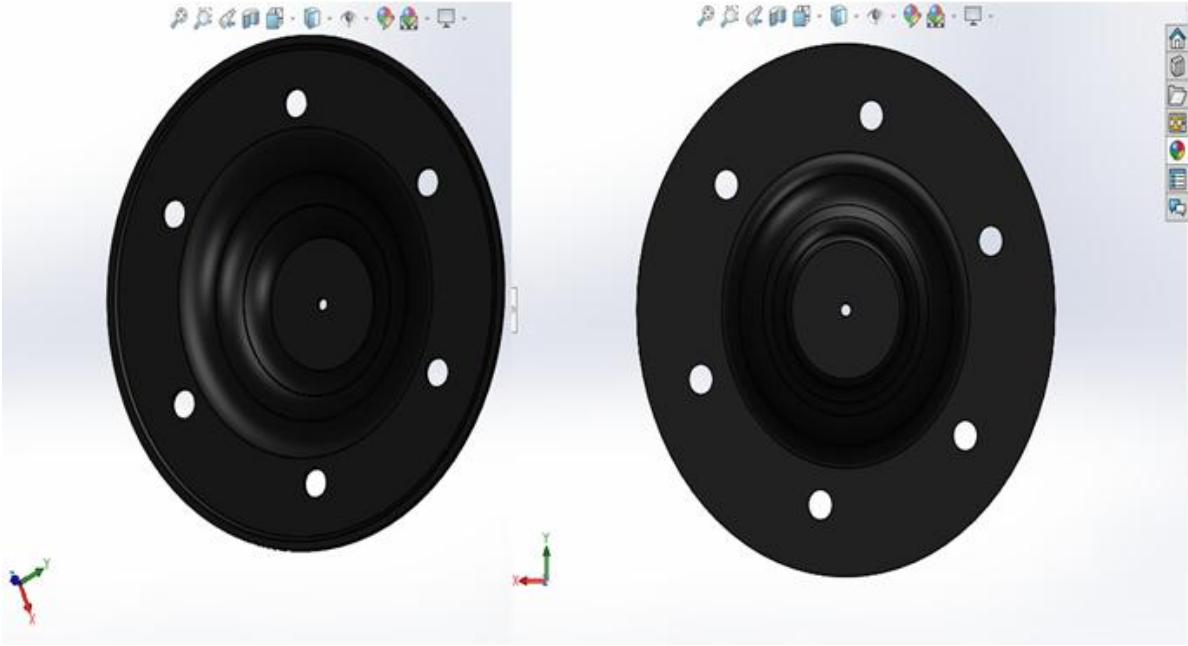


Figure 48 : Cache du premier étage.

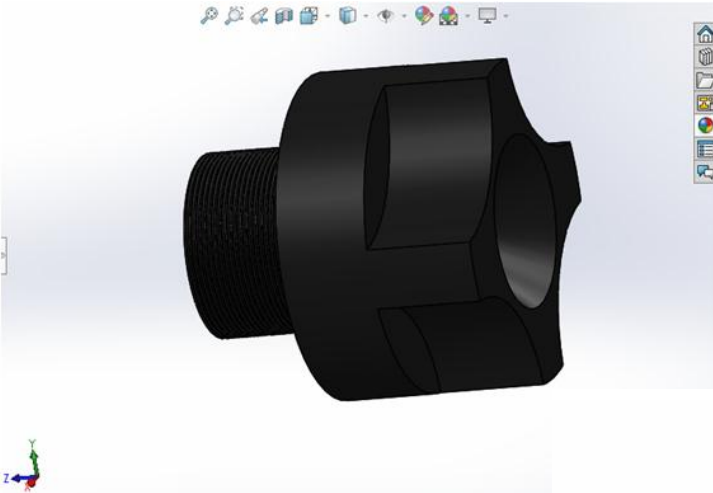


Figure 49 : Bouchon de vidange.

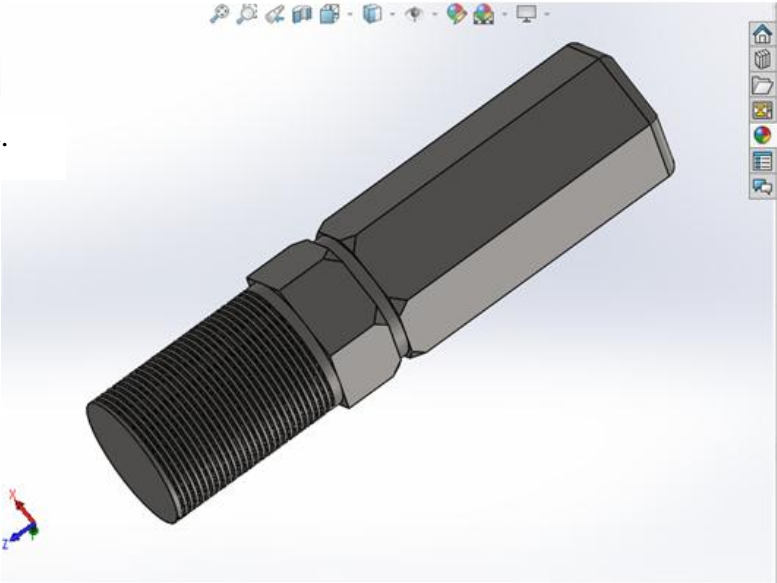


Figure 50 : Vis de registre

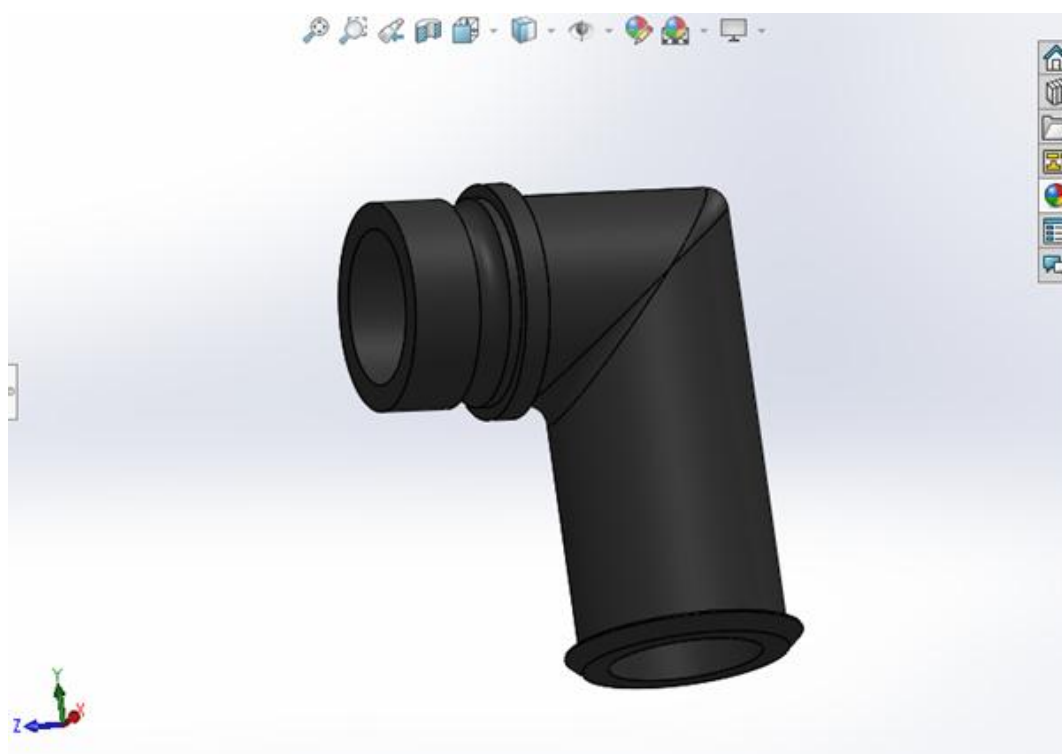


Figure 51 : Tuyau de raccordement au moteur.

### III.4. Modélisation de la structure par ANSYS :

- Nous utiliserons la version 15.0.7 d'ANSYS.
- ANSYS possède une interface très performante appelée « ANSYS work-bench », nous allons l'utiliser dans notre simulation.

#### III.4.1. Etapes de réalisation du modèle éléments finis :

L'ouverture du logiciel fait apparaître le menu principal présenté ci-dessous.

La boîte d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse. Pour débiter une analyse statique, Cliquez sur structure statique (ANSYS) et glissez vers le schéma de projet.

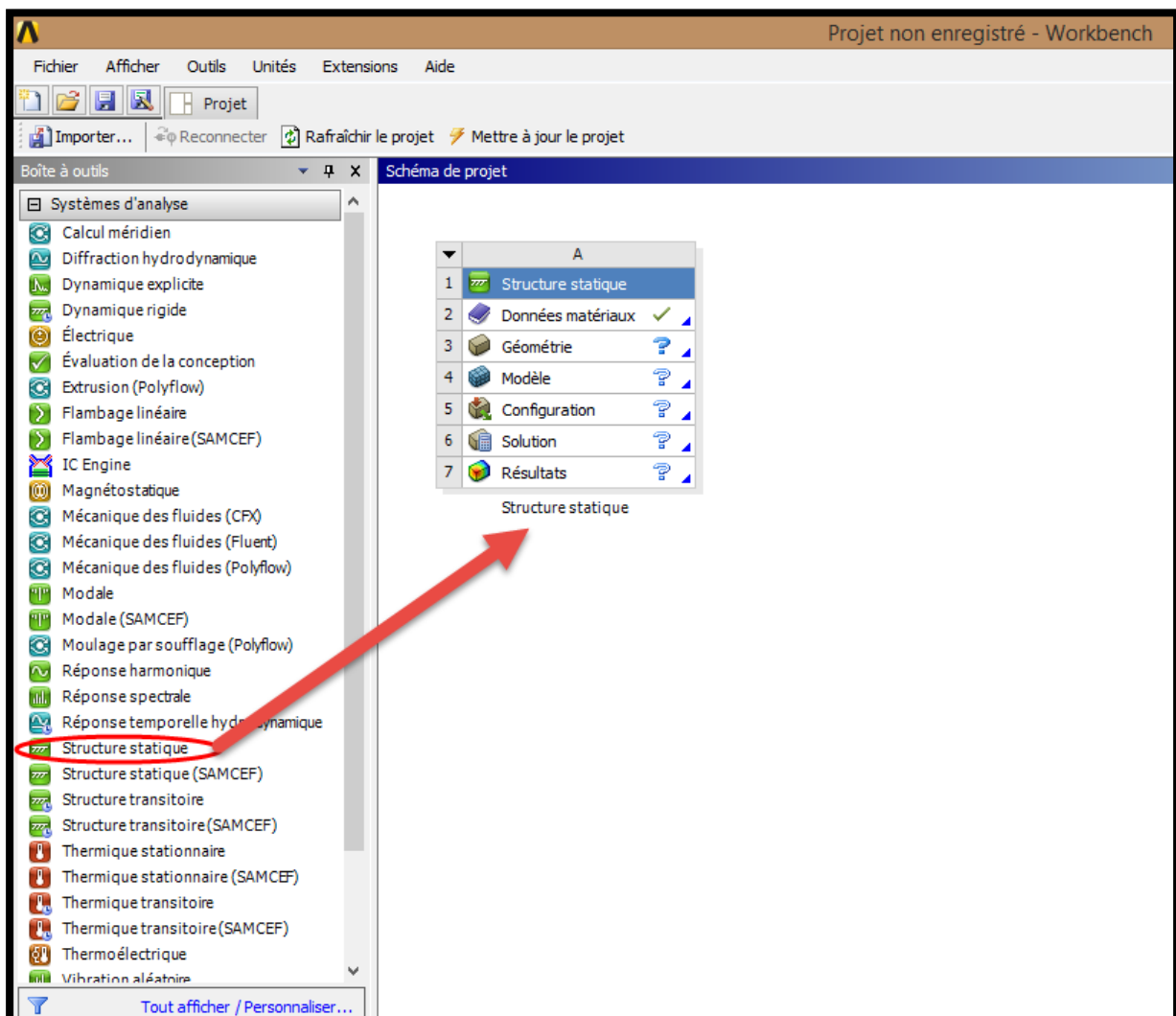


Figure 52 : Choix du système d'analyse.

### III.4.2. Spécification des propriétés des matériaux :

La cellule "Données matériaux" est utilisée pour définir des modèles de matériaux et accéder à ces modèles pour être utilisée dans une analyse. Cliquez sur la cellule "Données matériaux" ou cliquez à droite et choisir "Editer" dans le menu contextuel qui apparait pour entrer l'environnement.

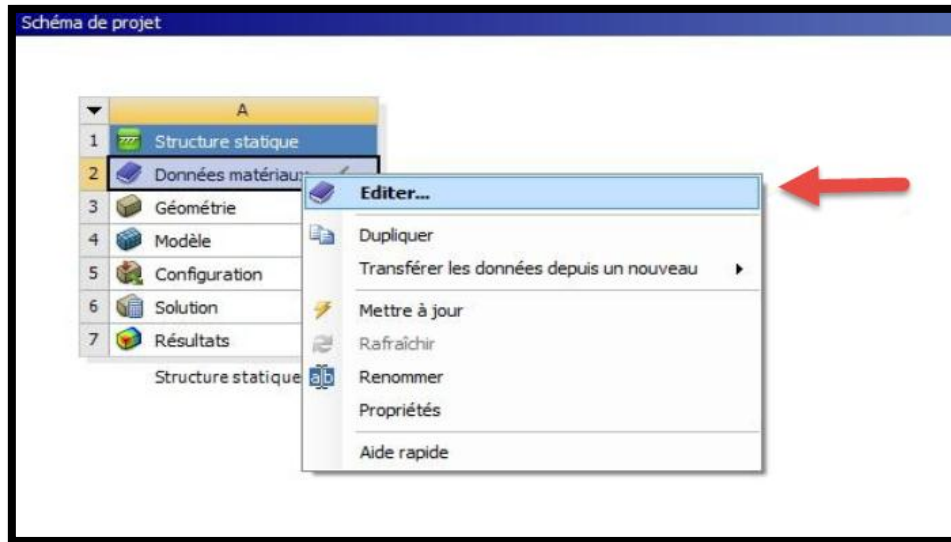


Figure 53 : Spécification des propriétés du matériau.

Les matériaux utilisés sont :

- l'acier inoxydable, le caoutchouc et le laiton pour les différentes pièces des soupapes et des membranes.
- L'alliage d'aluminium pour le block du vapo-détendeur.

Les caractéristiques mécaniques de ces matériaux sont données dans le Tableau ci-dessous :

Tableau 6 : Les caractéristiques mécaniques des matériaux.

Propriétés mécaniques	Densité Kg/m <sup>3</sup>	Limite d'élasticité(MPA)	Module de YOUNG(MPA)	Coefficient de Poisson
Acier 45SCD6	7850	1450	2.2.10 <sup>5</sup>	0,28
Caoutchouc	1000	9,23737	6,1	0,49
Laiton	8500	239,689	1. 10 <sup>5</sup>	0,33
EN AW 2017	2800	295	7.10 <sup>4</sup>	0,3



## III.4.3. Géométrie :

On ne peut pas définir des géométries compliquées comme celle du caisson avec les outils de dessin d'ANSYS. On a donc défini notre géométrie avec le logiciel "SolidWorks" avant de l'exporter vers ANSYS (Figure) qui accepte l'importation de différents formats IGESS, SAT ...etc.

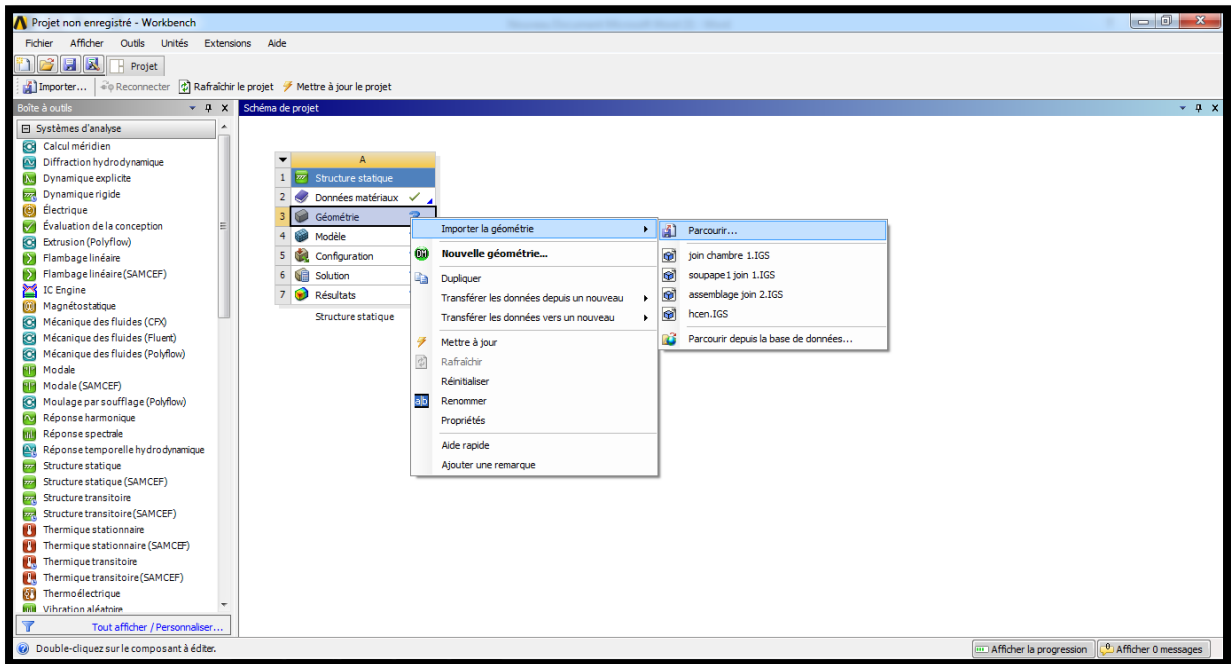


Figure 54 : Importation de la géométrie.

La cellule "Modèle" est associée à la définition de la géométrie, des systèmes de coordonnées, des connections et du maillage dans le module de simulation Mécanique. Nous allons accéder à la case "Modèle" pour affectation du matériau pour chaque composant.

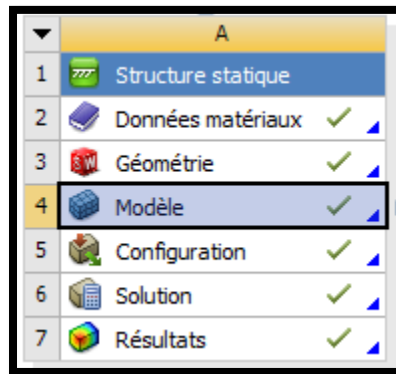


Figure 55 : La case modèle.

## III.4.4. Le maillage :

On a utilisé un maillage contrôlé par le programme pour les principales composantes du vapo-détendeur.

1. La membrane et la soupape du premier étage.
2. La membrane et la soupape du deuxième étage.
3. Le block du vapo-détendeur.

Le nombre total d'éléments et de nœuds est donné dans le Tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Le nombre total d'éléments et de nœuds.

Group de composante	Nombres de nœuds	Nombres d'éléments
1	31775	16100
2	16773	6893
3	1839360	1245853

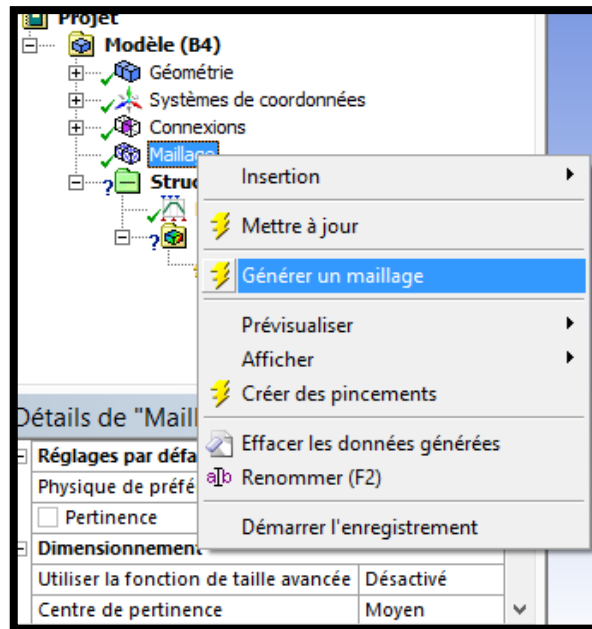


Figure 56 : Menu du maillage.

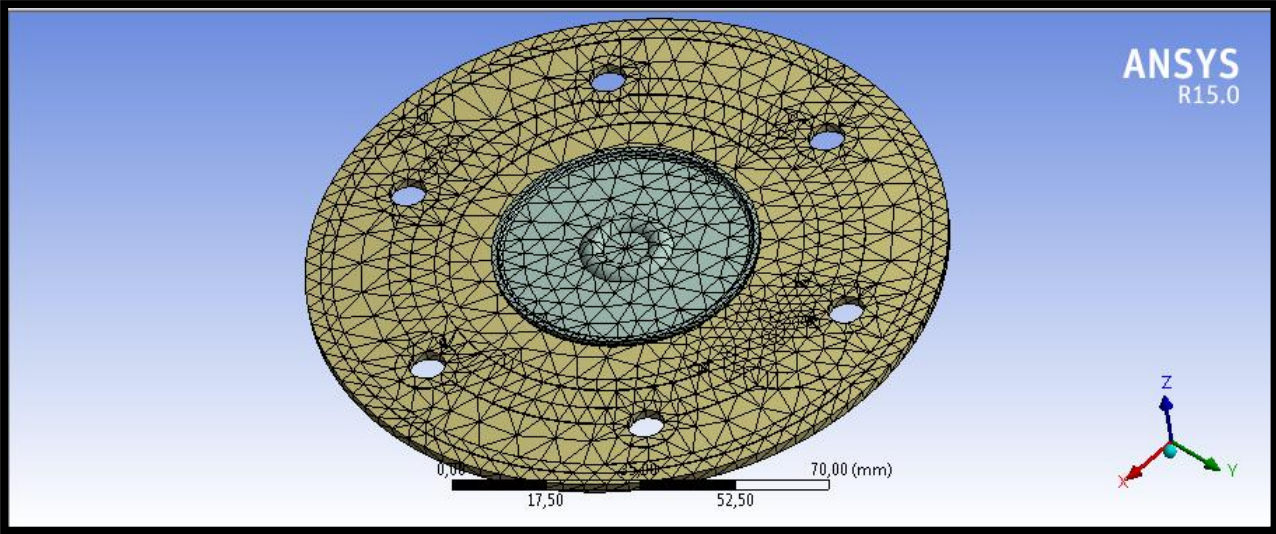


Figure 57: Maillage de la soupape et de la membrane du premier étage vu de la face extérieur.

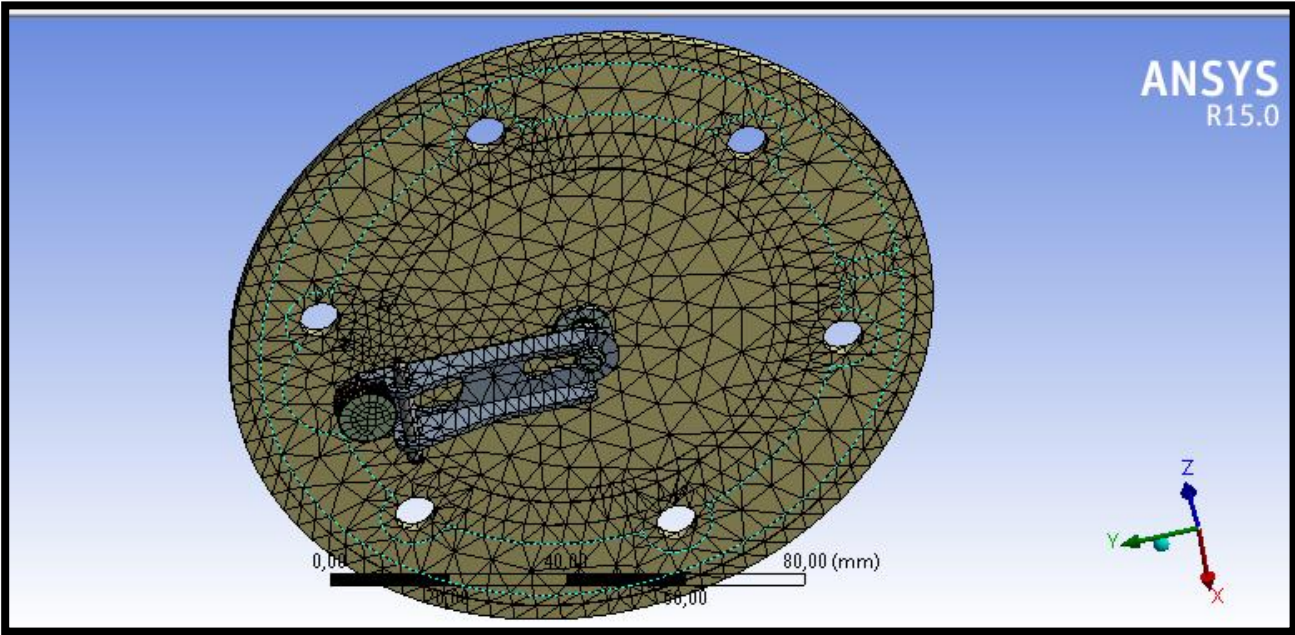


Figure 58 : Maillage de la soupape et de la membrane du premier étage vu de la face intérieur.

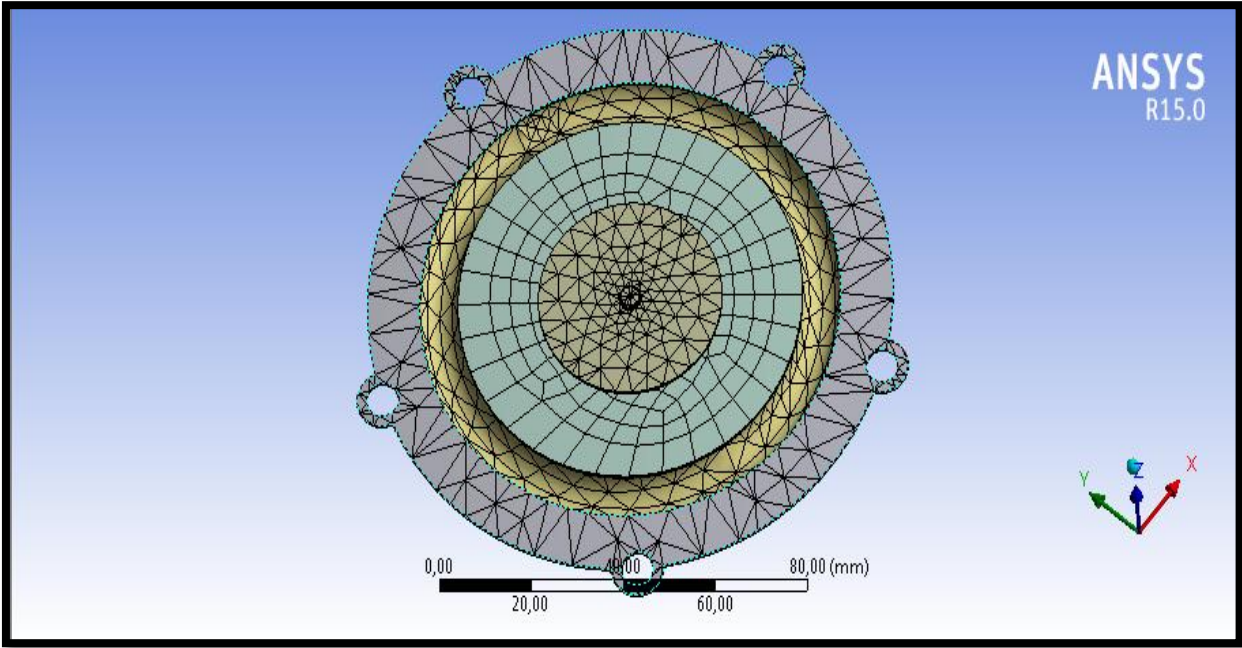


Figure 59 : Maillage de la soupape et de la membrane du deuxième étage vu de la face extérieur

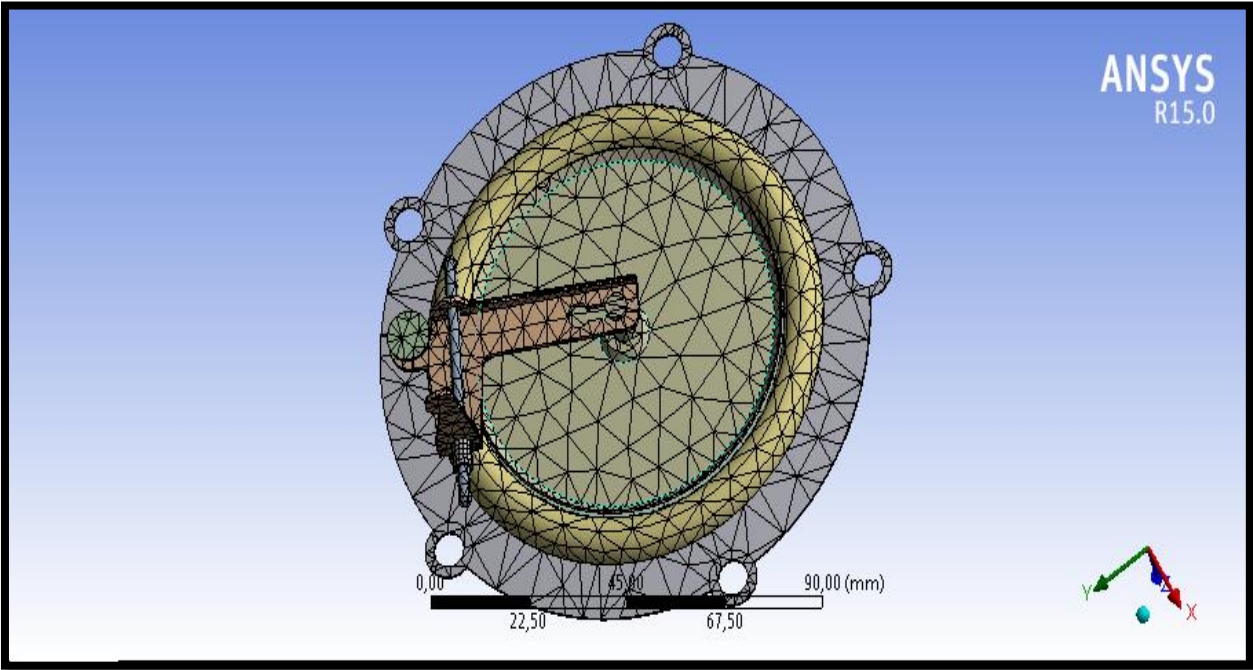


Figure 60 : Maillage de la soupape et de la membrane du deuxième étage vu de la face intérieur.

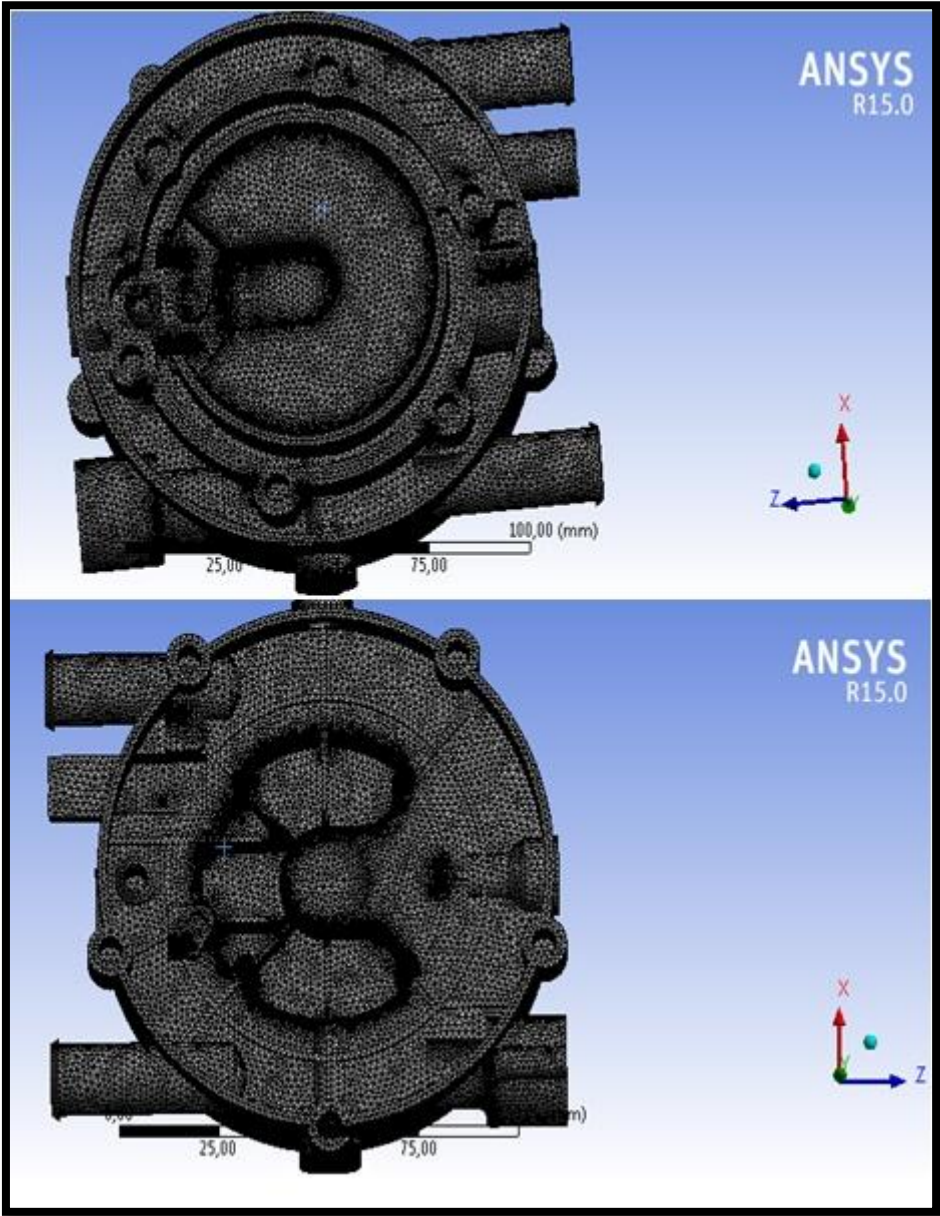


Figure 61 : Maillage du bloc

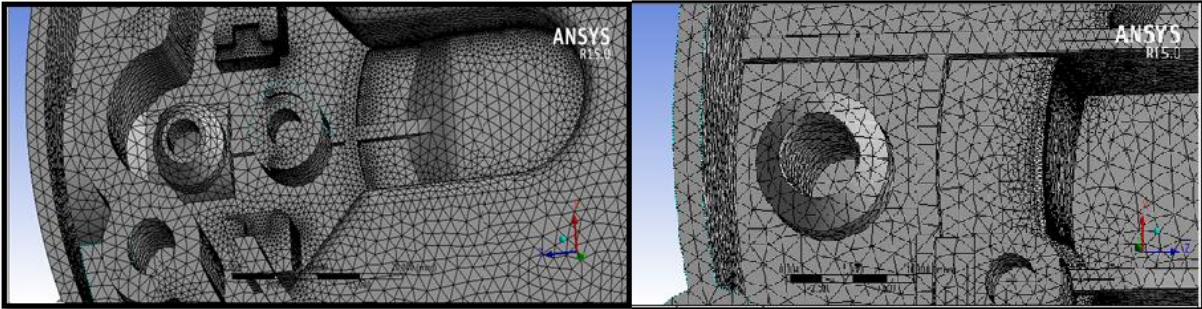


Figure 62 : Zoom sur certaines zones mailées du bloc

## III.5. Présentation des résultats :

Après avoir présenté la modélisation géométrie, ainsi que le maillage, on va maintenant simuler le comportement de la structure (membrane, soupape, et bloc) sous différentes pressions, pression minimale, maximale et pression d'explosion.

### III.5.1. Membrane et soupape assemblé de la première chambre :

#### III.5.1.1. Contrainte Von mises :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous les contraintes équivalentes de Von-Mises.

❖ Pression : 2.5 bars

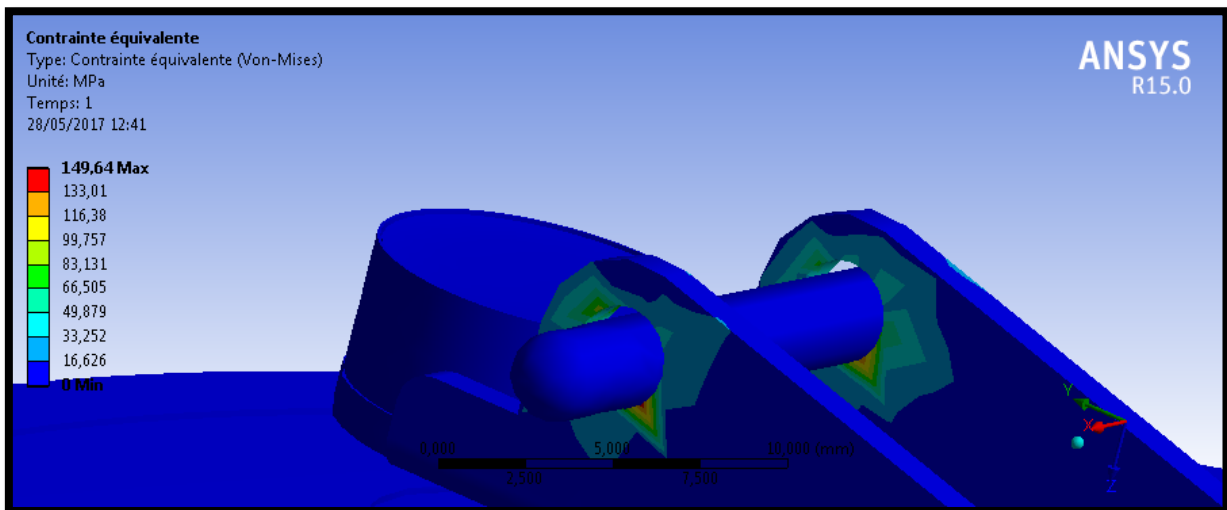


Figure 63 : zoom de la zone dangereuse de la soupape du premier étage à une pression de 2.5 Bar.

❖ Pression : 30 bars

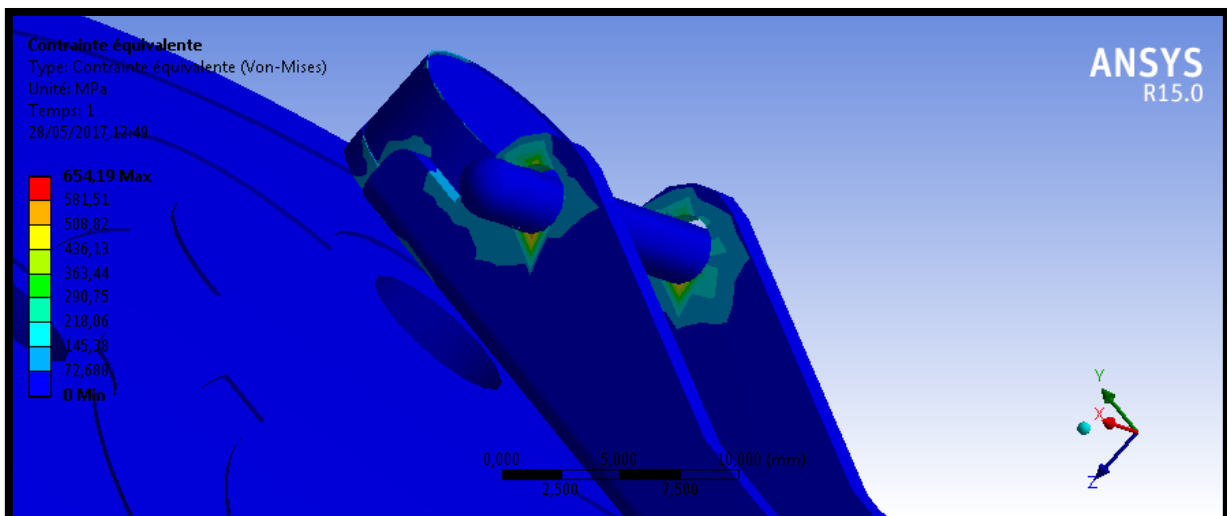


Figure 64 : zoom de la zone dangereuse de la soupape du premier étage à une pression de 30 Bar.

❖ Pression : 67.5 bars

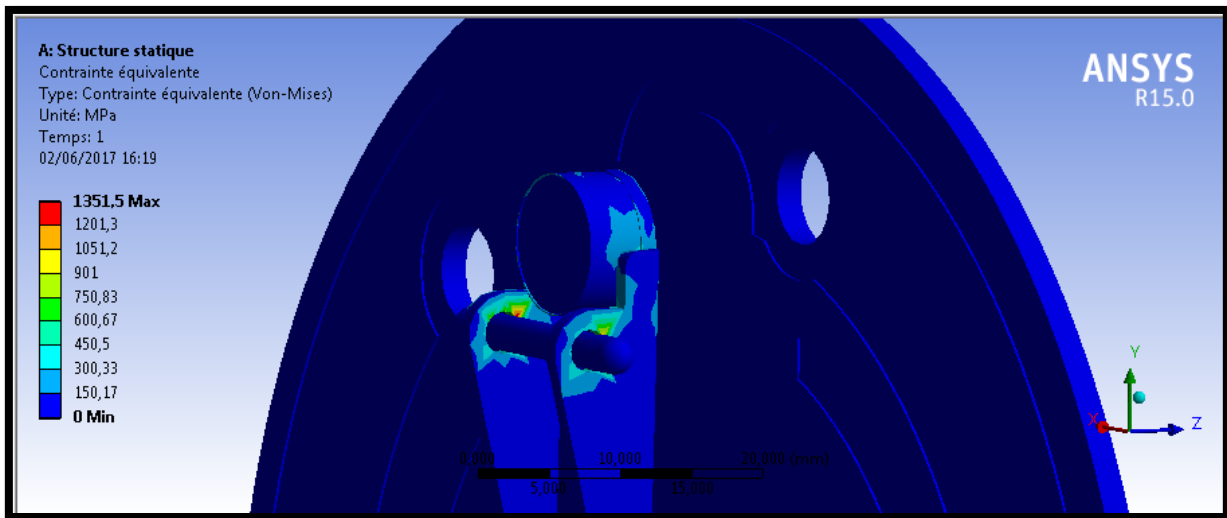


Figure 65 : zoom de la zone dangereuse de la soupape du premier étage à une pression de 67.5 bars.

D'après les figures {(63), (64), (65)} ; on remarque que la contrainte équivalente est nulle au niveau de la membrane dans les 3 cas de variation de pression.

Et pour le levier de la soupape précisément au niveau du contact avec l'axe de rotation ; on remarque une variation de contrainte :

- Pour une pression de 2.5 Bar (figure 63), la contrainte est entre 16.626 Bar et 149.69 Bar.
- pour une pression de 30 Bar (figure 64) la contrainte est entre 72.689 Bar et 654.19 Bar.
- pour une pression de 67.5 Bar (figure 65) la contrainte est entre 150.17 Bar et 1351.5 Bar.

On conclut que cette pièce pourra supporter une pression supérieure à 67.5 bars car sa contrainte équivalente est inférieure à sa limite élastique du matériau (1450 MPA > 1351.5 MPA).

## III.5.1.2. Déplacement :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous les déplacements du levier et de la membrane sous différentes pressions.

❖ Pression : 2.5 Bar

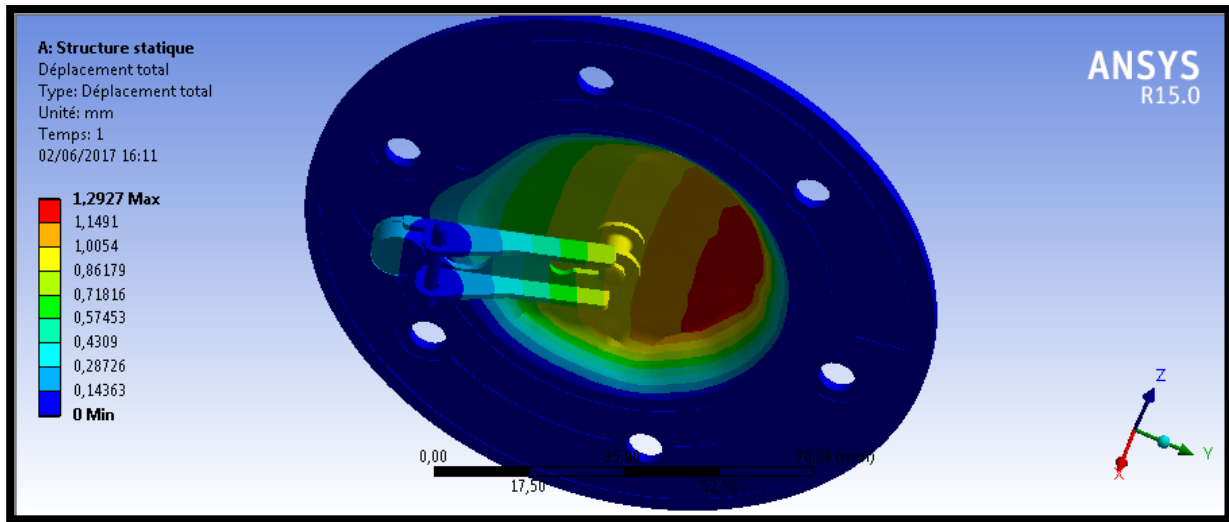


Figure 66 : le déplacement total en mm de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 2.5.

❖ Pression : 30 Bar

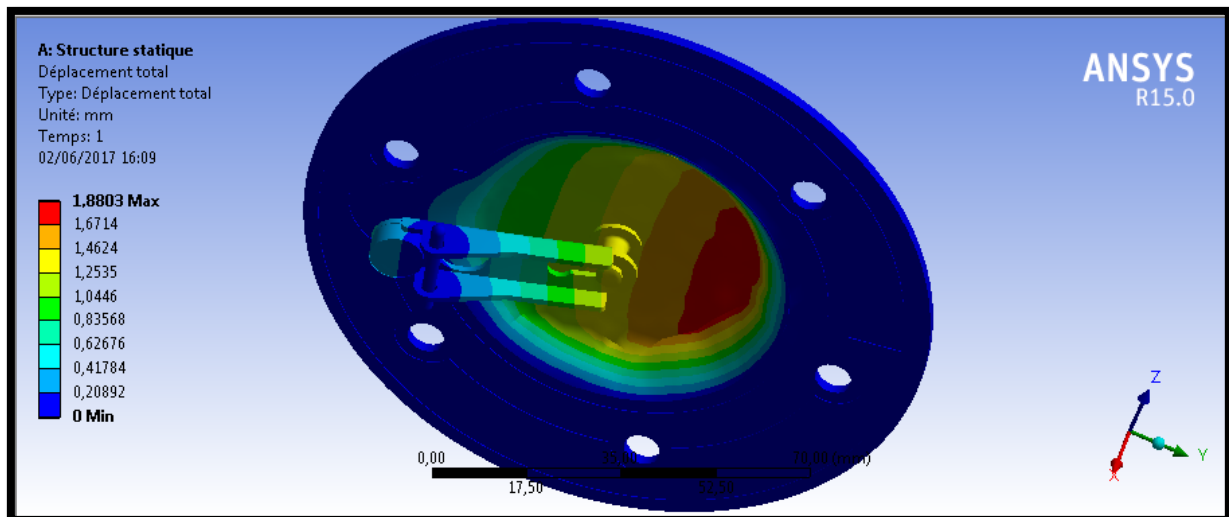


Figure 67 : le déplacement de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 30 Bar.



❖ Pression : 67.5 bars

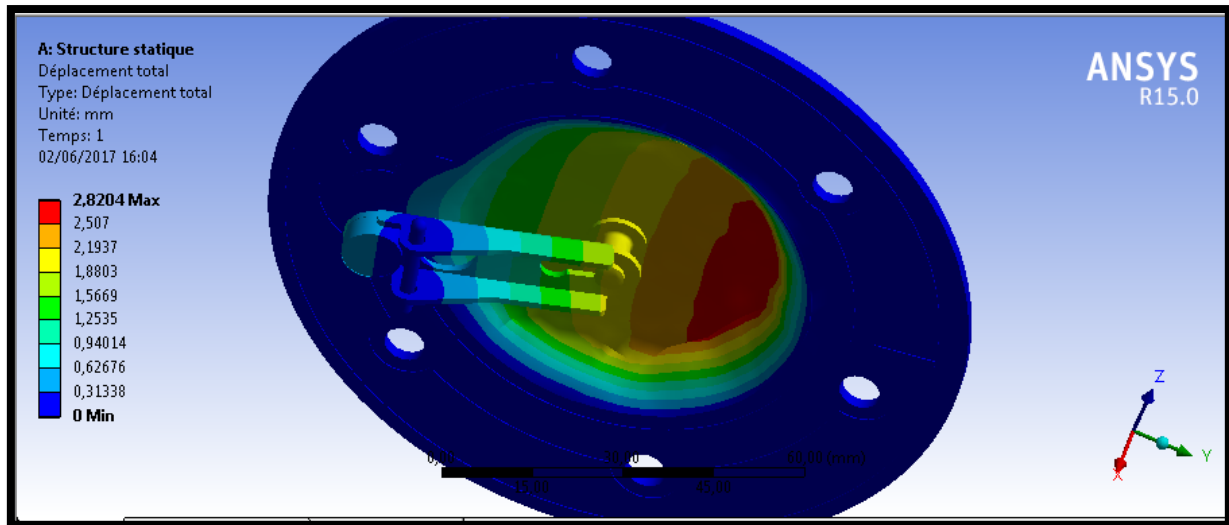


Figure 68 : le déplacement de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 67.5 bars.

D'après les figures {(66), (67), (68)} ; on remarque que le déplacement total se varie d'un composant à l'autre :

➤ Pour la membrane :

Le déplacement varie entre [0.14363mm-1.2927mm] pour une pression de 2.5 bars (figure (66)) ; entre [0.20892mm-1.8803mm] pour une pression de 30 bars (figure (67)) ; et entre [0.31338mm-2.8204mm] pour une pression de 67.5 bar (figure (68)).

➤ Pour le levier de la soupape :

Le déplacement varie entre [0.28726mm-1.0054mm] pour une pression de 2.5 Bar (figure (66)) ; entre [0.41784mm-1.4624mm], pour une pression de 30 Bar (figure (67)) ; et entre [0.62676mm-2.1937mm] pour une pression de 67.5 bars (figure (68)).

## III.5.1.3. Les déformations élastiques :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous les déformations élastiques sous différentes pressions.

❖ Pression : 2.5 bar

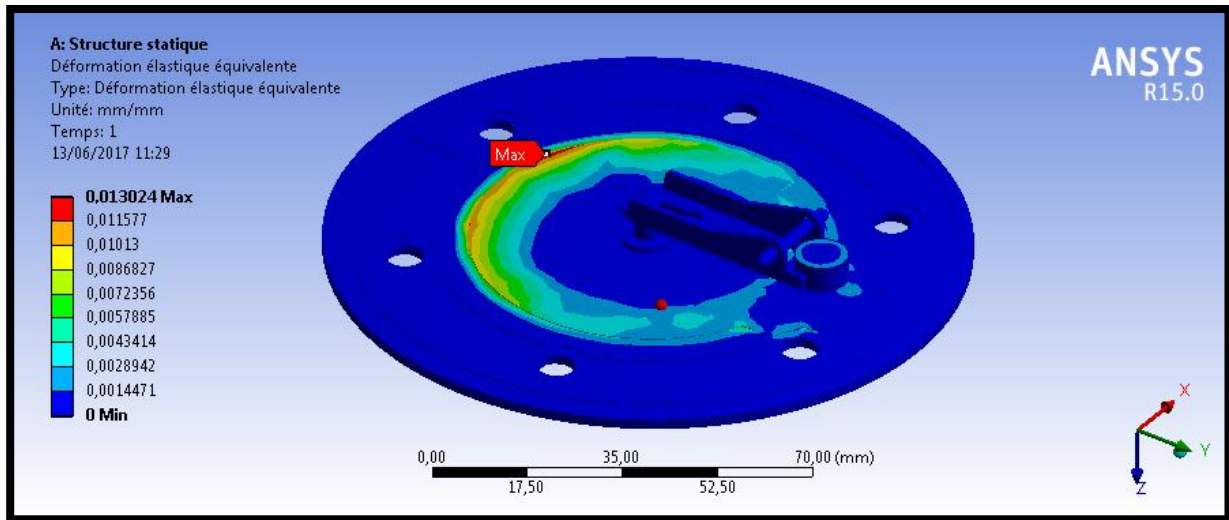


Figure 69 : la déformation élastique de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 2.5 Bar

❖ Pression : 30 bars

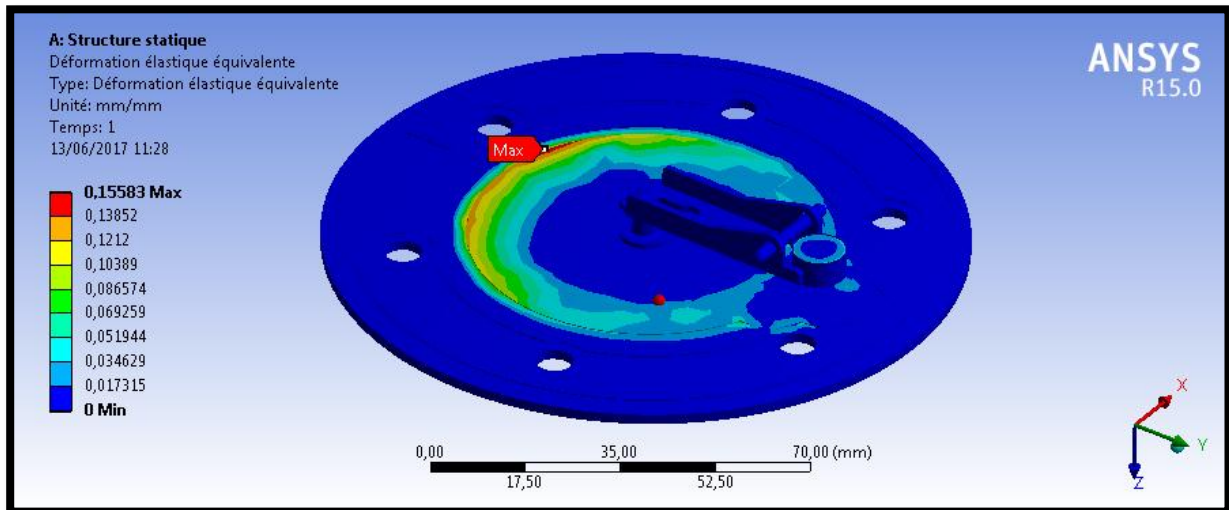


Figure 70 : la déformation élastique de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 30 Bar

❖ Pression : 67.5 bars

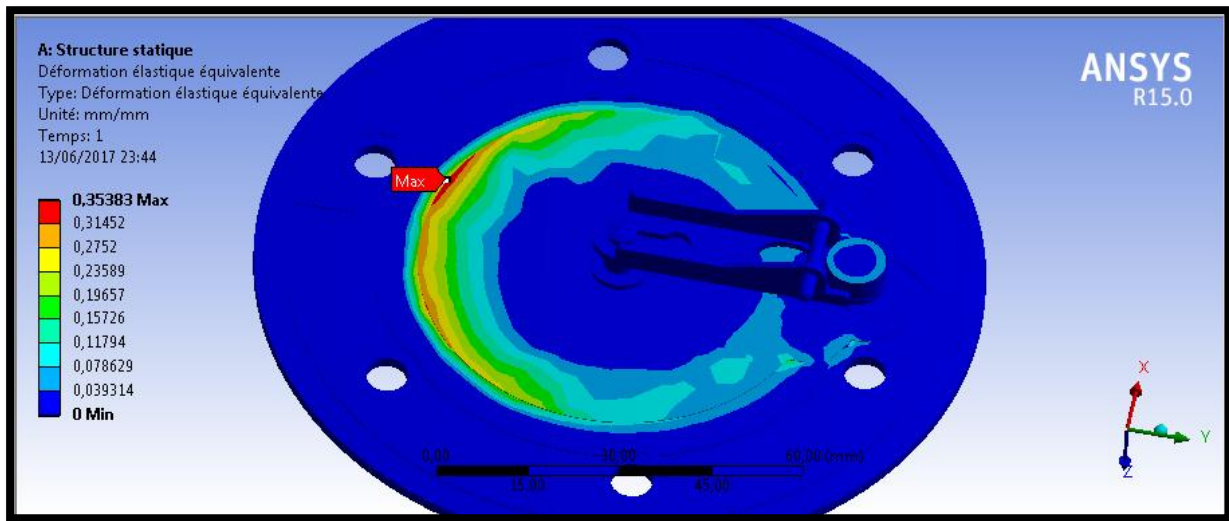


Figure 71 : la déformation élastique de la soupape et membrane du premier étage à une pression de 67.5 bars

D'après les figures {(69), (70), (71)} ; on remarque que la déformation est nulle au niveau du levier et l'axe dans les 3 cas de variation de pression.

Et pour la soupape et la membrane on remarque une variation de déformation élastique :

- Pour une pression de 2.5 bars (figure 69), la déformation élastique est entre 0.0014 mm et 0.013mm.
- pour une pression de 30 bars (figure 70), la déformation élastique est entre 0.017 mm et 0.155mm.
- pour une pression de 67.5 bars (figure 71) la déformation élastique est entre 0.039mm et 0.353mm.

On conclut que cette pièce pourra supporter une pression <67.5 bars au niveau des Déformation élastique.

## III.5.2. Bloc:

### III.5.2.1. Contrainte Von mises :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous les Contraintes Von mises sous différentes pressions.

❖ Pression 2.5 Bar :

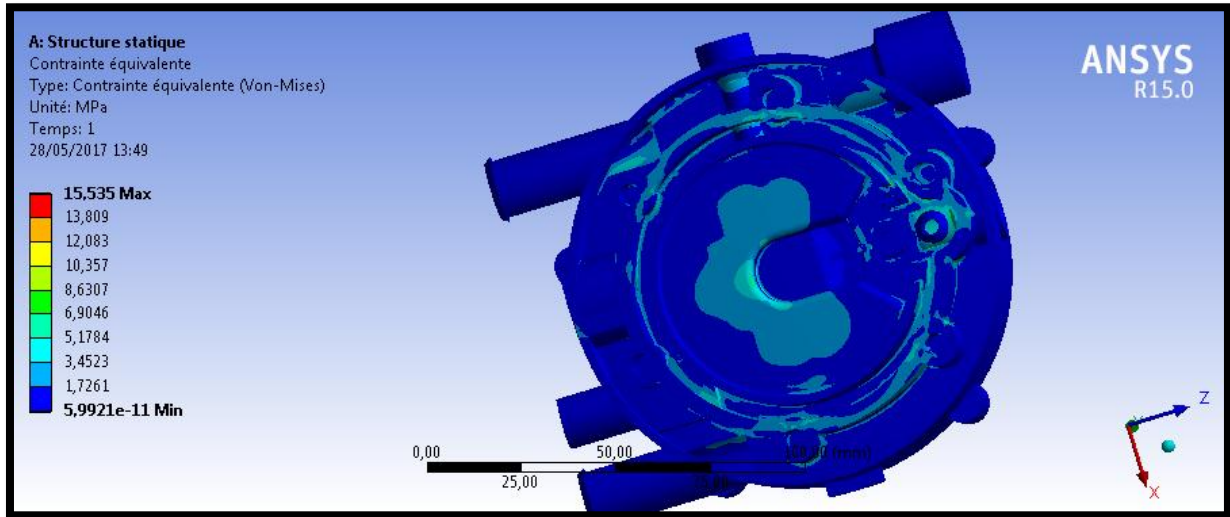


Figure 72 : distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 2.5 Bar

❖ Pression 30 Bar :

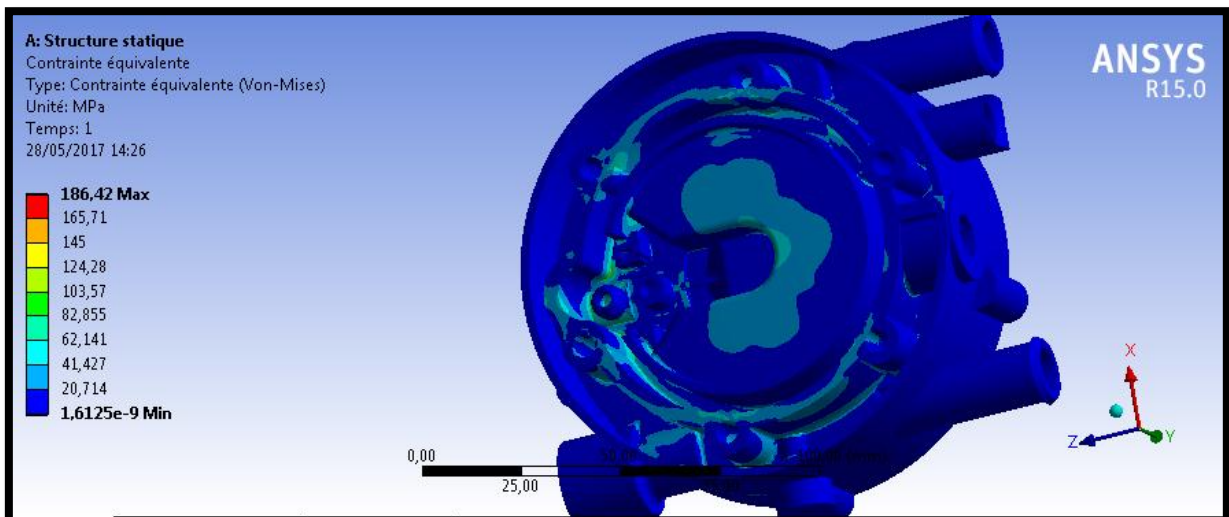


Figure 73 : distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 30 Bar.

❖ Pression 67.5 bars :

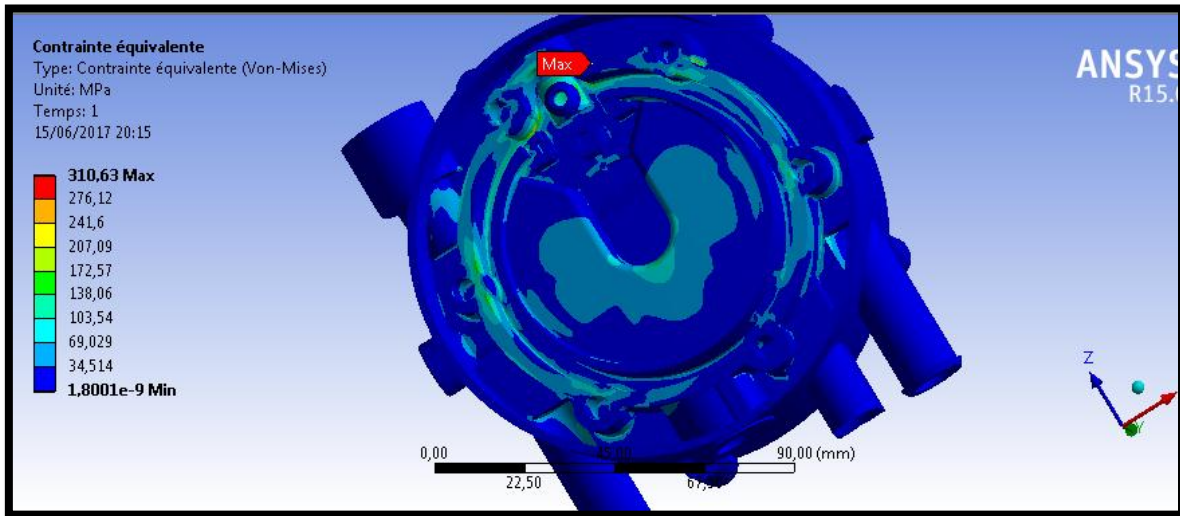


Figure 74 : distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 67.5 bars.

D'après les figures {(72), (73), (74)} ; on remarque que la contrainte équivalente est nulle au niveau des faces extérieur.

Et une concentration au milieu du bloc, la zone dangereuse se situe près de l'orifice d'entre de la premier chambre, en remarque aussi une variation des contraintes avec la variation des pressions.

- Pour une pression de 2.5 Bar on a une contrainte équivalente comprise entre  $5.221e-11$  MPa et 15.535 MPa.
- Pour une pression de 30 MPa on a une contrainte équivalente comprise entre  $1.6125e-9$  MPa et 186.42 MPa.
- Pour une pression de 68 MPa on a une contrainte équivalente comprise entre  $1.8001e-9$  MPa et 310.63 MPa.

On conclut que le bloc ne pourra pas supporter une pression  $>67.5$  bars car sa contrainte équivalente est supérieur à sa limite élastique du matériau ( $295 \text{ MPa} < 310.63 \text{ MPa}$ ).

## III.5.2.2. Déplacement :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous les déplacements subits par différentes pressions sur le bloc.

❖ Pression 2.5 bars :

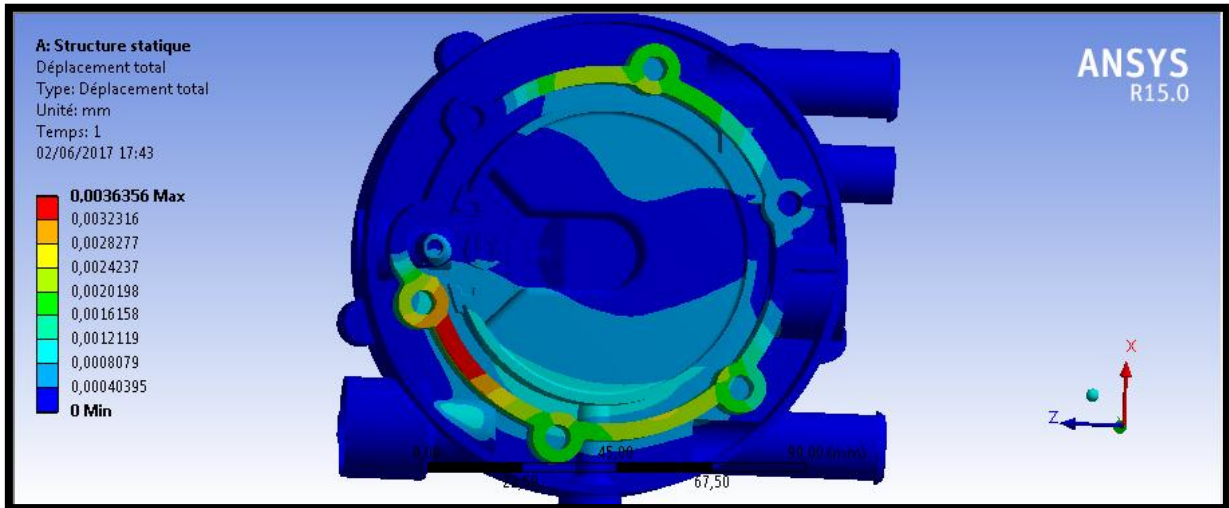


Figure 75 : le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 2.5 bars

❖ Pression 30 bars :

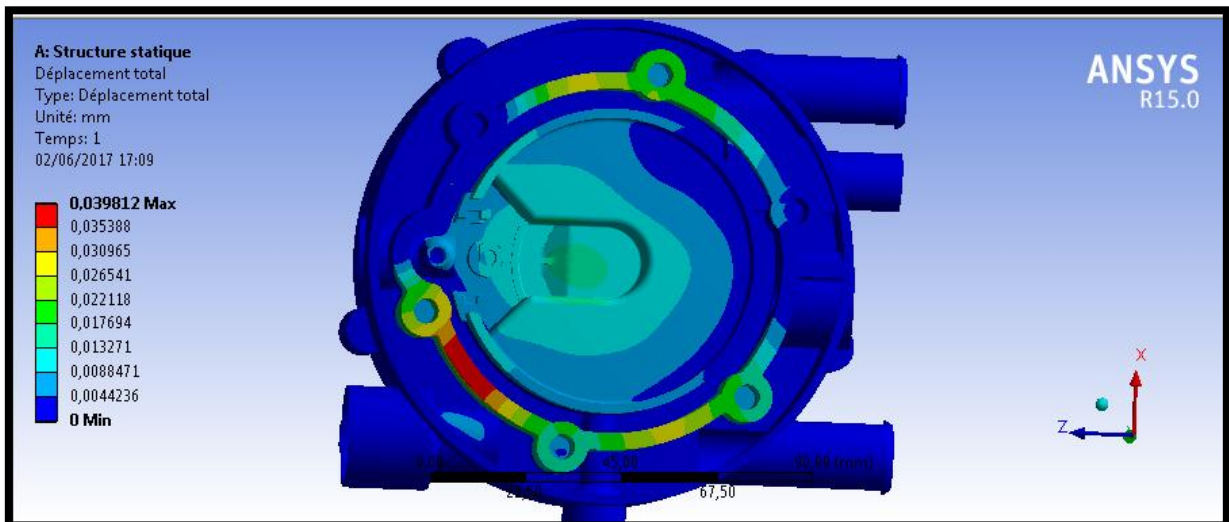


Figure 76 : le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 30 bars

### ❖ Pression 67.5 Bar :

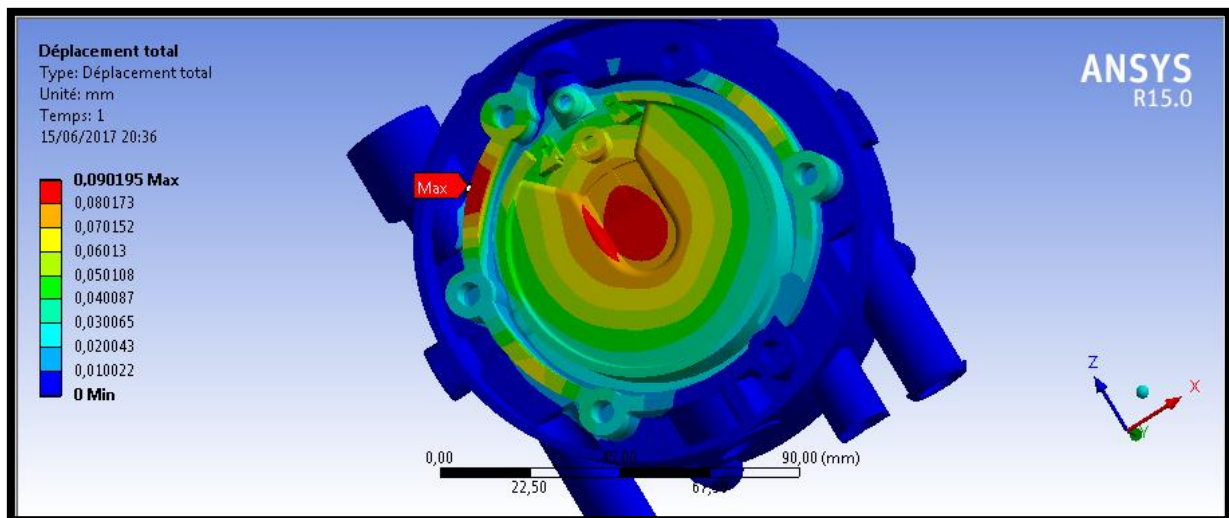


Figure 77 : le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 67.5 bars

D'après les figures {(75), (76), (77)} ; on remarque que le déplacement total augmente avec la variation de la pression :

- Pour une pression de 2.5 Bar on voit un déplacement variable entre  $40.395e-5$  mm et  $36.356e-4$ mm
- Pour une pression de 30 Bar on voit un déplacement compris entre  $44.236e-4$  mm et  $39.812e-3$ mm
- Pour une pression de 67.5 Bar on voit un déplacement variable entre  $10.763e-3$  mm et  $90.887e-3$ mm

On conclut que les déplacements est très petit par rapport à la dimension du bloc, et donc y a pas.

## III.5.2.3. Les déformations élastiques :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous les Déformations élastiques au niveau du bloc sous des différentes pressions.

❖ Pression : 2.5 bars

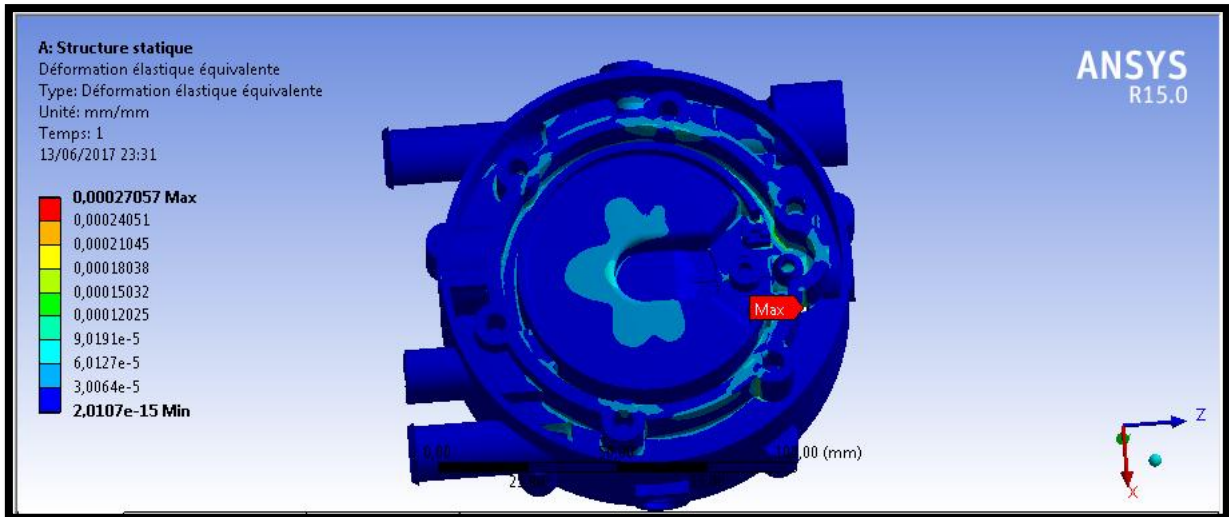


Figure 78 : la déformation élastique du bloc à une pression de 2.5 bar

❖ Pression : 30 bars

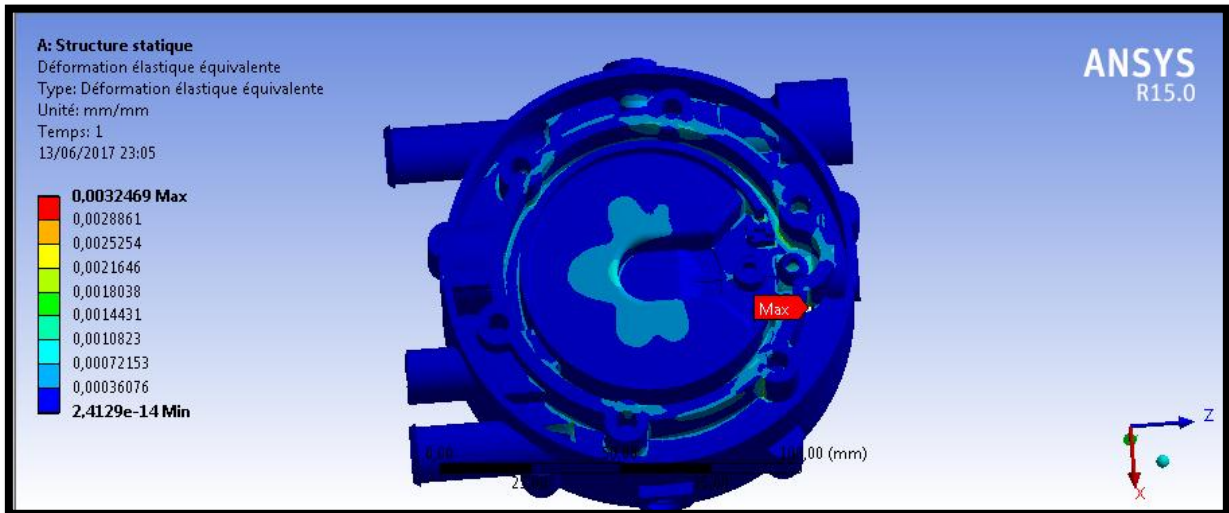


Figure 79 : la déformation élastique du bloc à une pression de 30 bars



❖ Pression : 67.5 bars

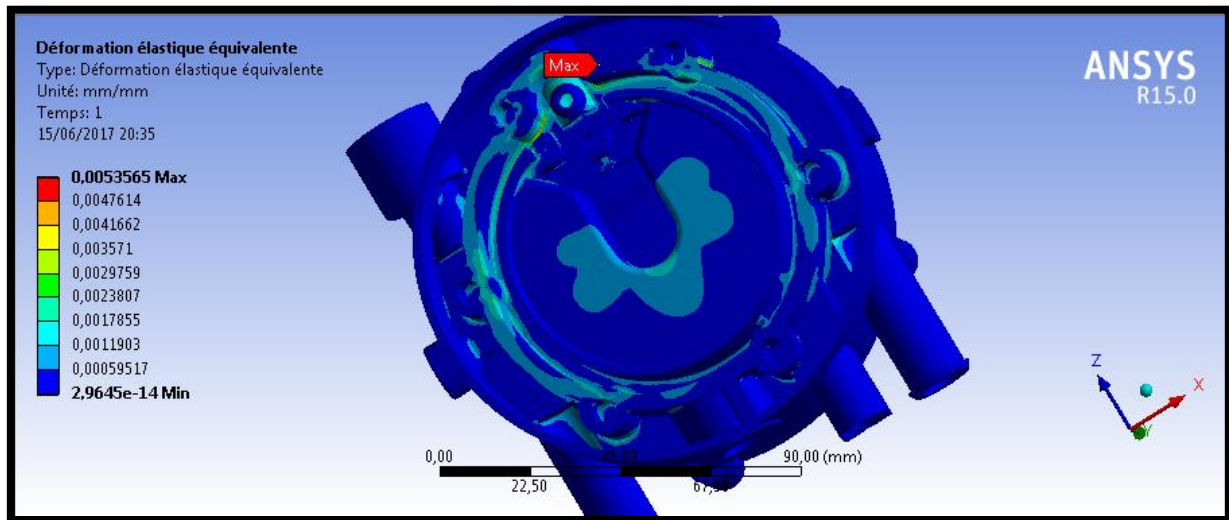


Figure 80 : la déformation élastique du bloc à une pression de 67.5 bar

D'après les figures {(78), (79), (80)} ; on remarque que la déformation est presque nulle au niveau du bloc

- Pour une pression de 2.5 Bar (figure 78), la déformation élastique est entre  $2.0110 \times 10^{-15}$  mm et 0.00027mm.
- pour une pression de 30 Bar (figure 79), la déformation élastique est entre  $2.4129 \times 10^{-14}$  mm et 0.00325mm.
- pour une pression de 67.5 Bar (figure 80) la déformation élastique est entre  $2.9645 \times 10^{-14}$ mm et 0.0053565mm.

D'après ces résultat on conclu que les déformations élastique sont très petit et on pourra dire que ce sont négligeables.

### **III.6. Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de présenter la modélisation et l'étude du vapo-détendeur Landireno EC04 sous le logiciel SOLIDWORKS est ANSYS-Work bench avec lequel on a fait un traitement géométrique et une étude statique.

Les études qu'on a fait nous ont permis de connaître les pressions max que le vapo-détendeur EC04 peut résister ainsi que les déplacements des membranes, levier et la soupape nécessaire et les déformations élastique surtout au niveau de la membrane.

Avec les études qu'on a fait, nous avons trouvés que l'explosion sera au niveau de la première chambre car le bloc ne pourra pas supporter une pression <67.5 bars.

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre on effectuera des changements au niveau des matériaux utiliser afin d'améliorer la résistance du détendeur et puis augmenter la pression maximale et la pression d'explosion que peut le détendeur EC04 résister.

Nous rappelons que le détendeur est soumis à une pression maximale de 30 bars et une pression d'explosion de 68 bars (voir le Chapitre III), les études seront effectuées avec des pressions égales à 30 bars, 68 bars et une pression d'explosion (inconnu) qui nous allons la déterminé.

Les calculs du chapitre précédent ont été effectués avec les matériaux suivant :

- Bloc : matériau utilisé (EN AW 2017)
- Levier, membrane, soupape : matériaux utilisé (Acier 45SCD6, caoutchouc)

Les résultats obtenus ont montré que le bloc avec le matériau EN AW 2017 explose à une pression  $>67.5$ .

### IV.2. Améliorations du bloc :

Dans ce paragraphe, nous changeons le matériau du bloc. Nous calculons les contraintes, déplacements et les déformations afin de vérifier la résistance. On va utiliser le nouveau matériau qu'on a proposé AU 2GN.

Le tableau ci-dessous donne une comparaison des propriétés mécanique entre l'ancien matériau EN AW 2017 et le nouveau matériau AU 2GN.

Tableau 8: propriétés mécaniques du AU 2GN

Propriétés mécanique	Densité Kg/m <sup>3</sup>	Limite d'élasticité(MPa)	Module de YOUNG(MPA)	Coefficient de Poisson
AU 2GN	2750	400	$7.3 \cdot 10^4$	0.34
EN AW 2017	2800	295	$7.10^4$	0.3

### IV.2.1. Contraintes Von mises :

Notre premier calcul sera les contraintes, afin de déterminer la résistance du bloc, nous présentons sur les Figures les contraintes équivalentes dans diverses parties de la structure.

❖ Pression : 30 bars

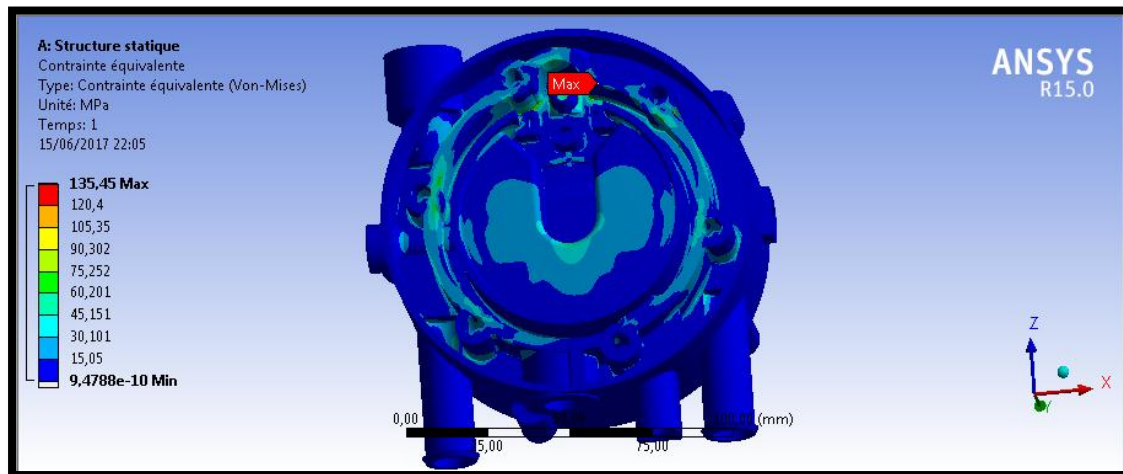


Figure 81: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 30 Bars (AU 2GN)

❖ Pression : 67.5 bars

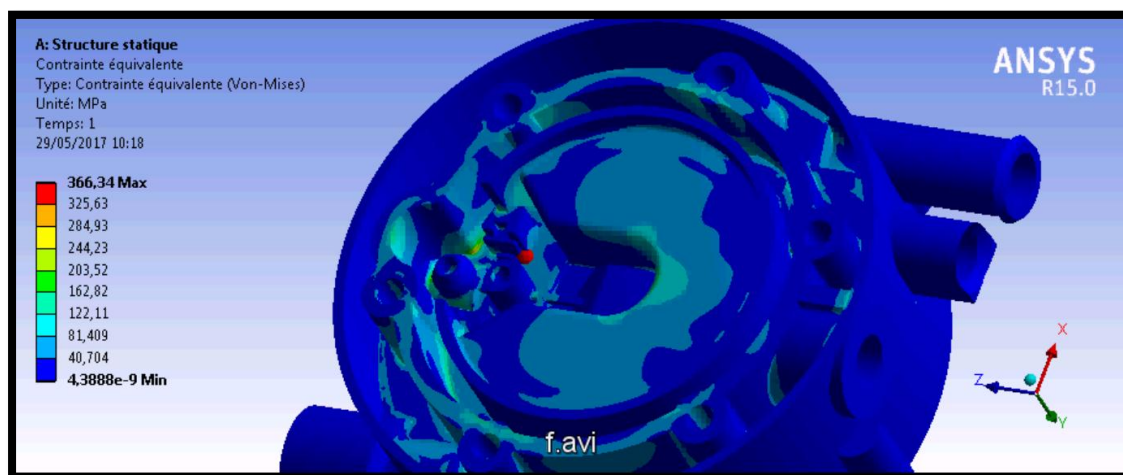


Figure 82: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 67.5 bars (AU 2GN)

❖ Pression : 78 bars

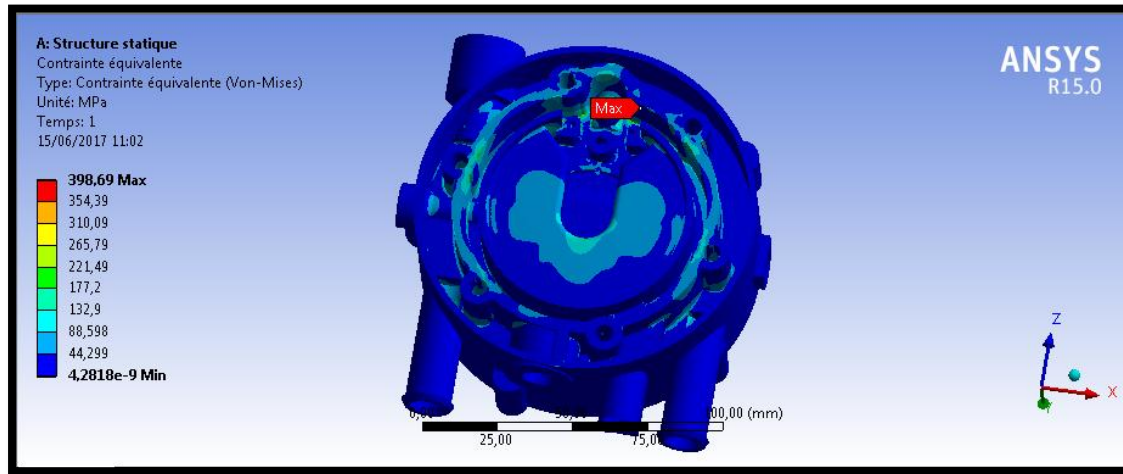


Figure 83: distribution de la contrainte équivalente dans le bloc à une pression de 78 Bar (AU 2GN)

D’après les figures {(4.7), (4.8), (4.9)} ; on remarque que la contrainte équivalent :

- Pour une pression de 30 bars est comprise entre 9.4788<sup>e</sup>-10 et 135.45 MPa.
- Pour une pression de 67.5 bars est comprise entre 4.3888<sup>e</sup>-9 et 366.34 MPa.
- Pour une pression de 78 bars est comprise entre 4.2818<sup>e</sup>-9 et 398.69 MPa.

Après avoir calculé les contraintes équivalentes, nous allons comparer les résultats obtenus de ce nouveau matériau avec les résultats de l’ancien matériau, le tableau ci-dessous résume ces résultats.

Tableau 9 : comparaison des contraintes des deux matériaux

<b>Pression</b> (bar) / <b>matériau</b>	30	67.5	78
AU 2GN	135.45 MPa	366.34 MPa	398.69 MPa
EN AW	186.42 MPa	310.63 MPa	Explosion

Après avoir comparé les résultats on conclut que :

- La pression d'explosion a été augmenté jusqu'une pression de 78 bars donc le bloc s'explode à une pression  $>78$  bars
- Les contraintes à la pression maximale (30 bars) a été diminuée avec d'une somme de 50.97 MPa

#### IV.2.2. Les déplacements :

Le deuxième calcul sera les déplacements,

Les déplacements de la structure doivent être petits par rapport à ses dimensions. Afin de vérifier que nos calculs vérifient bien cette hypothèse, nous présentons les isovaleurs du déplacement total (Figure 84).

Nous allons calculer juste les déplacements à la nouvelle pression d'explosion  $>78$  bars.

- ❖ Pression : 78 bars

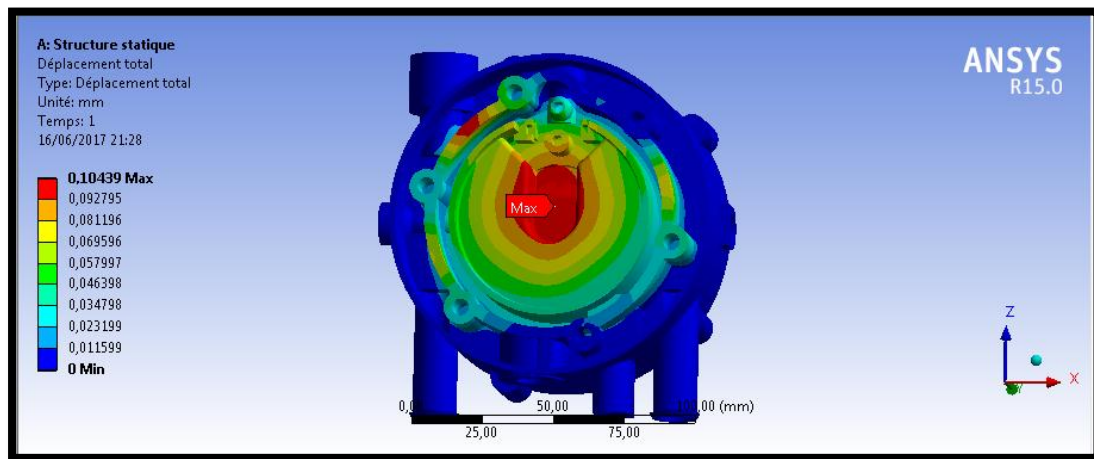


Figure 84: le déplacement total en mm du bloc avec une pression de 78 bars

On remarque que les valeurs des déplacements est entre 0 mm et 0.10439 mm, ils sont très petits à une pression de 78 bars par rapport à la dimension du bloc donc c'est vérifier.

### IV.2.3. Les déformations :

Le troisième calcul sera les déplacements et nous allons calculer juste à la pression d'explosion >78 bars pour vérifier sa déformation.

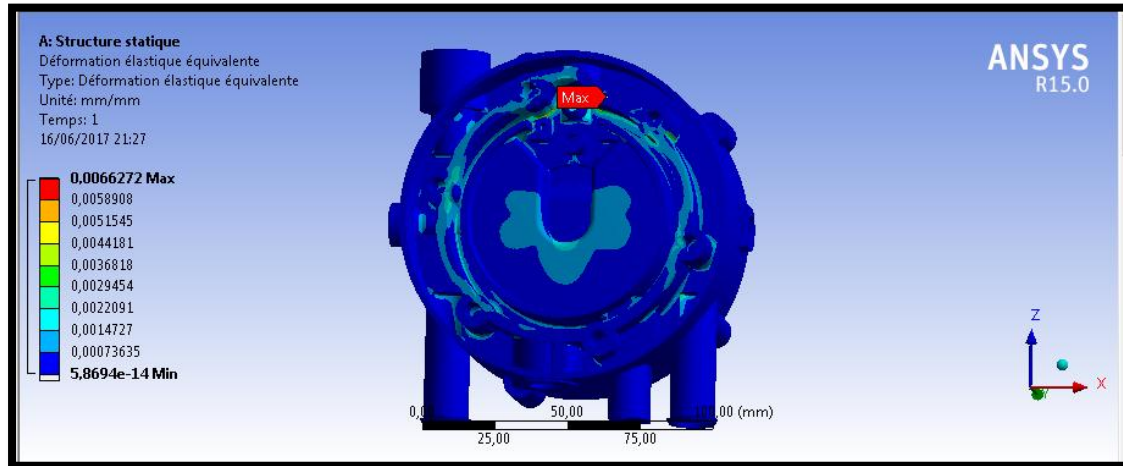


Figure 85: la déformation élastique du bloc à une pression de 78 bars

D'après la figure (85) on remarque que la déformation maximale est d'une valeur très petite 0.0066272 mm, on conclut que le bloc pourra résister cette pression au niveau des déformations.

### IV.2.4. Calcule de la masse du bloc :

En comparant la masse volumique des deux matériaux :

Tableau 10: comparaison des masses du bloc

Propriétés Mécanique matériaux	Densité kg /m <sup>3</sup>	Masse du bloc (kg)
AU 2GN	2700	431.86
EN AW	2800	448.88

On trouve que la masse du bloc avec le deuxième matériau qu'on a proposé est plus léger que le premier matériau.

### IV.3. Amélioration de la membrane, levier et soupape :

Dans le chapitre III nous avons trouvé que le levier, sa contrainte équivalente et inférieur à sa limites élastique donc on va essaie une pression de 78 bars avant de changer le matériau.

#### IV.3.1. Contraintes Von-mises :

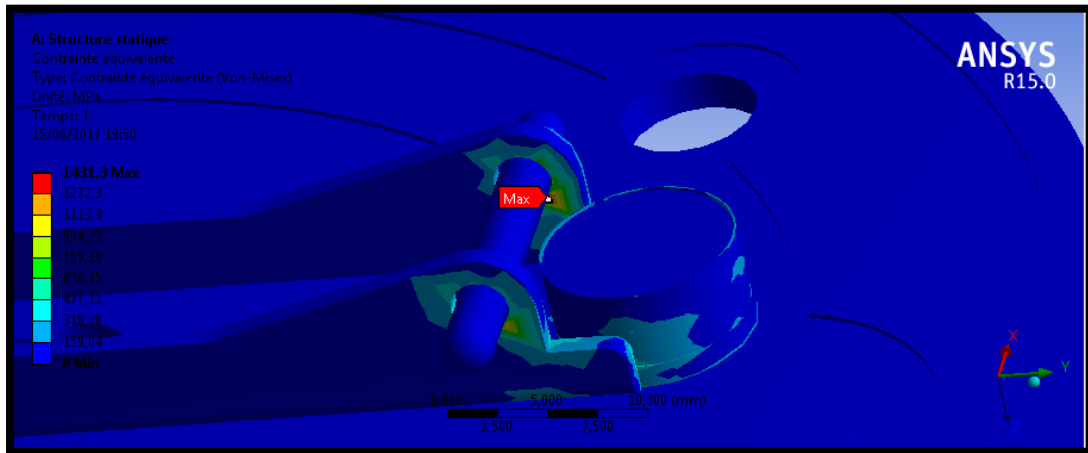


Figure 86: distribution des contraintes à une pression de 78

On remarque que les contraintes est entre 0 et 1431.3 Mpa donc cette pièce pourra résister jusqu'à une pression de 78 car sa limite élastique et supérieur à sa contrainte équivalente ( $1450 \text{ Mpa} > 1431 \text{ Mpa}$ ).

#### IV.3.2. Les déplacements :

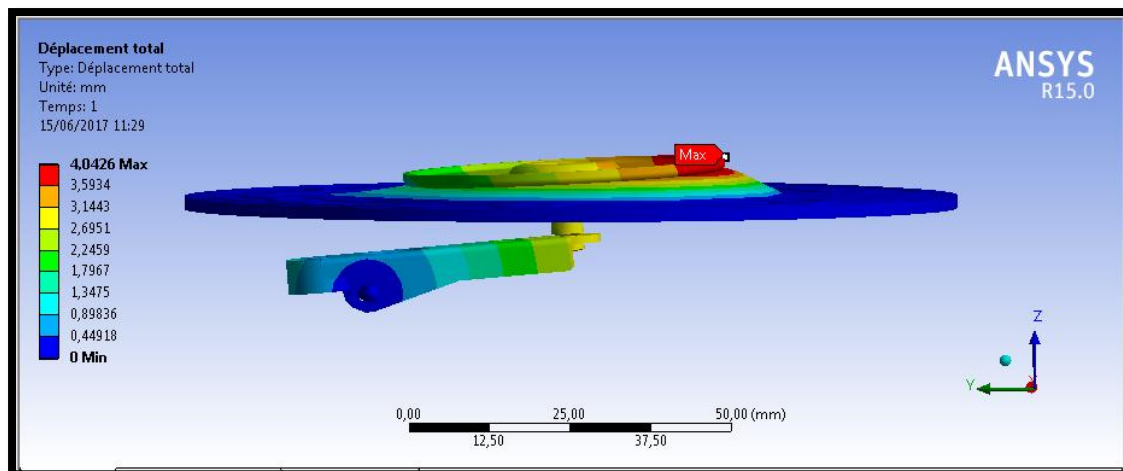


Figure 87: déplacement du levier, soupape et la membrane à une pression de 78 bars



Nous avons calculé les déplacements de la membrane, levier et soupape afin de vérifier le marche du vapo-détendeur, car il est nécessaire à la fermeture et l'ouverture de la soupape et d'après la figure on remarque que le déplacement reste normal donc y'en a pas un problème des déplacements.

### IV.3.3. Les déformations élastiques :

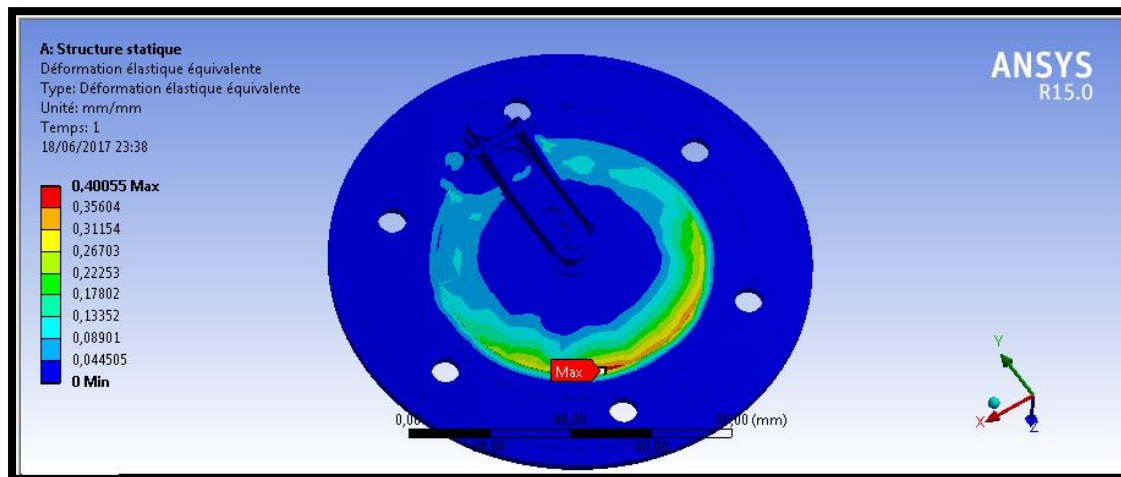


Figure 88: les déformations élastiques de la membrane, levier, soupape à une pression de 78 bars.

D'après la figure on remarque que les déformations sont (entre 0.0445mm et 0.4005mm), mais nous nous n'intéressons pas à la pression d'explosion qu'à la pression maximale, car nous voulons augmenter la pression maximale et donc augmenter la pression d'explosion.

Les déformations à une pression de 68 bars sont entre 0.115 mm et 0.353 mm.

**IV.4. Conclusion**

D'après le constructeur, le produit explosera à une pression  $>67.5$  bars, ce chapitre nous a permis :

- D'augmenter la résistance du vapo-détendeur
- Sa pression maximale et la pression d'explosion qui a été environ 68 bars.
- Nous avons aussi diminué la masse de vapo-détendeur en économisant jusqu'à 20 gramme.