

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de la Technologie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Spécialité: constriction mécanique

Thème :

***Etude et simulation numérique d'un robot
mobile pour l'inspection intra-tube : analyser par la
méthode des éléments finis***

Devant le jury composé de :

- Dr. Redha MAZOUZI..... Présidente
- Dr. ZAHAF SAMIR..... Encadreur
- Dr. Djelloul AZZOUZI....Examinateur
- Dr. Ali MAHIEDDINE.....Examinateur
- Dr. Mahdi.....Examinateur

Présentée par:

HADJ DJILANI MANAL

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Allah le tout Puissant et Miséricordieux de m'avoir donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Je tiens aussi à remercier mon Promoteur Mr S.ZAHAF pour son orientation, sa confiance et l'aide précieuse qu'il m'a apportée durant l'élaboration de ce projet.

Je tiens aussi à remercier le docteur R.Drai du CRTI de Cheraga et son équipe pour leur orientation

Je tiens aussi à remercier les membres du jury qui ont accepté de bien vouloir juger ce travail. Ma gratitude va à tous les enseignants du département de génie Mécanique de Khemis Miliana.

Merci aussi à toute l'équipe du centre de recherche CRTI de Cheraga.

A ceux qui ont participé, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et cet événement marquant de ma vie

à la mémoire de mon cher grand père Abd El Rezzak, à mon cher grand père et ma chère grand-mère paternel.

Puisse Allah, le tout puissant, les avoir en sa sainte miséricorde et les accepter dans son vaste paradis...

A ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de part son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternel gratitude.

A Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi

A ma deuxième mère, mon deuxième papa , à ma grande mère et à ma tante maternelle et Sa famille .aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler .Qu' Allah le tout puissant leur procure ; bonne santé et longue vie

A mes trois frères qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité

A mon oncle Lamine qui m'a orienté pour le choix de ce projet et à sa famille

A mon oncle Moussa et sa famille qui étaient toujours là pour moi

A mes oncles, Hamid, Mourad, Toufik, Djilali, Samir, Nabil et leurs familles

A mes tantes Radia, Hafida, Fatiha et leurs familles ainsi qu'à mes oncles paternels Mohamed, Khaled et M'Hamed.

A mon fiancé Walid qui ma encouragé et à toute sa famille

Au plus important de tous : notre prophète Mohamed celui qui nous a conduit vers la lumière de la foi et de la science

A tous mes profs et mes amies

Manal

الملخص:

يعتمد صنع روبوت متحرك في المقام الأول على إتقان صنع الهيكل الذي يشكل قاعدة لكل القطع.

الغرض من هذا المشروع هو تصميم ودراسة روبوت متحرك لفحص التآكل داخل أنابيب مع هيكل قادر على

مقاومة إجهاد المطبق عليه و من أجل هذا استعملنا تقنية العناصر المحددة ثلاثية الأبعاد و ذلك باستعمال برنامج

انسيس ورك بانش 16.2 لمعرفة مدى تحمل الهيكل لتأثير قوى المطبقة عليه. وتم تصميم نموذجين باستعمال برنامج

سوليدورك (نموذج أ، نموذج ب). تظهر النتائج الرقمية لدراستنا أن النموذج ب المدعم بهيكل من ألومنيوم 6061 يلعب

دورًا مهمًا للغاية في امتصاص وتقليل الإجهادات ، فالنموذج الجديد للروبوت المتحرك مع 6 عجلات معززة بنظام صلب

أعطى انخفاض في مستوى الإجهادات على جميع مكونات نظام الروبوت مقارنة بالنموذج أ. تمثل النتائج التي تم

الحصول عليها أساسًا نظريًا لاختيار نموذج روبوت متحرك مناسب.

الكلمات المفتاحية : روبوت متحرك، الهيكل، عناصر المحددة ثلاثية الأبعاد، عجلة، ألومنيوم 6061 ، برغي، محرك

سيرفو، قرص.

RESUME :

La réalisation d'un robot mobile dépend avant tout de la maîtrise du châssis qui forme la base de toutes les pièces. Le but de ce projet est de concevoir et d'étudier un robot mobile pour examiner la corrosion à l'intérieur des canalisations, avec une structure capable de résister aux contraintes qui lui sont appliquées. Pour cela nous avons utilisé la méthode des éléments finis tridimensionnels en utilisant logiciel *Ansysworkbenche 16.2* afin de connaître l'étendue de la tolérance ou forces appliquées. Deux prototypes ont été conçus avec Solidworks (Modèle A, Modèle B). Les résultats numériques de notre étude montrent que le Modèle B renforcé par châssis en AL6061 joue un rôle très important dans l'absorption et la **minimisation** rudefction des contraintes, ce nouveau modèle de robot Mobile à 6 roues , renforcé par un système rigide, a donné un niveau de contraintes plus faible dans tous les composants du système du robot, comparé au Modèle A. Les résultats obtenus fournissent une base théorique pour le choix d'un modèle de robot mobile approprié.

Mots clés : robot mobile, châssis, éléments finis, roue, AL6061, vis, servomoteur et disque.

ABSTRACT:

The realization of a mobile robot depends first on the frame mastery which forms the basis for all the parts.

The goal of this project is to design and study a moving robot to check the corrosion inside the pipes with a structure able to resist to the stresses applied to it. For this, we used three-dimensional finite element method using the *Ansysworkbenche 16.2* software to find out the extent of the structure's tolerance to the effect of the forces applied. Two prototypes were designed with Solidworks (Model A, Model B). The numerical results of our study show that the Model B reinforced by chassis in AL6061 plays a very important role in the absorption and minimization of the stresses, this new model of Mobile robot with 6 wheels, reinforced by a rigid system, gave a lower stress level in all components of the robot system, compared to Model A. The results obtained provide a theoretical basis for choosing a suitable mobile robot model.

Key words: mobile robot, chassis, finite elements, wheel, AL6061, screw, servomotor & disc.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE :	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS	2
1.1. INTRODUCTION :	3
1.2. L'HISTORIQUE DES ROBOTS :	3
1.2.1. L'apparition des automates et des horloges hydrauliques	3
1.2.2. L'humanisation des automates :	5
1.2.3. Naissance de la robotique	6
1.3. LES TYPES DE ROBOT :	8
1.3.1. Les robots manipulateurs :	8
1.3.2. Les robots mobiles :	11
1.4. DOMAINE D'APPLICATION	16
1.5. LES COMPOSANTS D'UN ROBOT :	17
1.5.1. Structure mécanique :	17
1.5.2. Structure électronique :	17
1.6. CONCLUSION :	20
CHAPITRE II : CONCEPTION DU SYSTÈME DE ROBOT MOBILE.	21
2.1. INTRODUCTION :	22
2.2. PRÉSENTATION DU CRTI.....	22
2.2.1. Présenter le CRTI en général	22
2.2.2. Présenter l'équipe projet.....	23
2.3. BESOIN EXPRIMÉ PAR LE CRTI.....	23
2.4. CONCEPTION	24
2.4.1. Le logiciel SolidWorks	24
2.4.2. Réponse au besoin	24
2.4.3. Dessins de définition du premier modèle (robot à 10 roues)	24
2.4.4. Nomenclature des composants utilisés dans le robot à 10 roues	26
2.4.5. Dessins de définition du deuxième modèle (châssis a 6 roues)	42
2.4.1. Nomenclature des composants utilisés dans le robot à 6 roues	44

2.5.	CONCLUSION :	49
3.	CHAPITRE III : ÉTUDE ET ANALYSE D'UN FORCE CENTRÉE APPLIQUÉS SUR UN MODÈLE DE ROBOT MOBILE	50
3.1.	INTRODUCTION :	51
3.2.	MODELES ELASTIQUES LINEAIRES ISOTROPES DECRIVANT LE COMPORTEMENT DU ROBOT MOBILE	51
3.3.	GEOMETRIE ET MODELE 3D DU ROBOT MOBILE	52
3.4.	MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS D'UN ROBOT MOBILE	52
3.4.1.	Introduction	52
3.4.2.	Application aux modèles numériques	54
3.4.3.	Définition du problème	54
3.4.4.	Conditions aux limites	54
3.5.	LES DIFFÉRENTS CAS DES MODÈLES DE CHARGEMENT	55
3.6.	ÉTATS DE L'INTERFACE	57
3.7.	SELECTION DES EQUATIONS CONSTITUTIVES	57
3.7.1.	Sachet supérieure et inférieure	57
3.7.2.	Les roulements, les axes, les supports et les vises	57
3.7.3.	Poutre en composite	57
3.7.4.	Palier long en AL6061	57
3.7.5.	Palier à semelle en fonte grise	58
3.8.	PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS L'ÉTUDE	58
3.9.	MAILLAGE 3D PAR ELEMENTS FINIS DE ROBOT MOBILE	59
3.9.1.	Maillage des différents composants du système de robot	62
3.9.2.	Statistiques	62
3.10.	RÉSULTATS ET DISCUSSION	63
3.10.1.	Distribution des contraintes de Von Mises dans le châssis inférieur	63
3.10.2.	Distribution des contraintes de Von Mises dans le châssis supérieure	68
3.10.3.	Distribution des contraintes de Von Mises dans la poutre en composite	71
3.10.4.	Distribution des contraintes de Von Mises dans le palier long	74
3.10.5.	Distribution des contraintes de Von Mises dans les axes	76
3.10.6.	Distribution des contraintes de Von Mises dans les roulements	78
3.10.7.	Distribution des contraintes de Von Mises dans les roues en polyéthylènes	80

3.10.8. Comparaison des contraintes de Von Mises.....	81
CONCLUSION :.....	83
4. BIBLIOGRAPHIE :	84

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Masque du dieu Anubis.....	3
Figure I.2 : horloge hydraulique.....	4
Figure I.3 : Le pigeon volant d'Archytas de Tarente	4
Figure I.4 : l'éolipyle de Héron d'Alexandrie.....	4
Figure I.5 : l'horloge de l'éléphant	5
Figure I.6 : Les premiers jacquemarts.....	5
Figure I.7 : canard de Vaucanson	6
Figure I.8 : Robots cartésiens.....	8
Figure I.9 : Robots cylindriques	9
Figure I.10 : Robots sphériques.....	9
Figure I.11 : Manipulateur SCARA.....	10
Figure I.12 : Robots anthropomorphes	11
Figure I.13 : Robot uni-cycle	12
Figure I.14 : Robot tricycle.....	12
Figure I.15 : Robot voiture.....	13
Figure I.16 : Robot omnidirectionnel.....	13
Figure I.17 : Robot mobile à chenille.....	14
Figure I.18 : Robot mobile à pattes	15
Figure II. 1 : Vue éclatée du châssis à 10 roues.....	25
Figure II. 2 : Plaque Supérieur	27
[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue Isométrique.....	27
Figure II. 3 : Couvert gauche. [a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	28
Figure II. 4 : Vue éclaté Partie gauche du châssis.....	29
Figure II. 5 : Roue en polyéthylène [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue Isométrique.....	30
Figure II. 6 : Axe de transmission [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue Isométrique.	31
Figure II. 7 : Palier à Semelle en fonte grise [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Dessous, [d] : Vue Isométrique.....	32
Figure II. 8 : Vis CHC M6-9 Pour Fixation de Palier [a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique	33
Figure II. 9 : Bague Entretoise [a] : Vue De Droite, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	33
Figure II. 10: Vue Isométrique du roulement BC	34

Figure II. 11 : Palier long[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Dessus, [d] : Vue Isométrique.....	34
Figure II. 12: Vue éclatée du Partie servomoteur.....	35
Figure II. 13 : Disque de Transmission Pour Axe.....	36
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	36
Figure II. 14 : Vis CHC M4-20Pour Fixation De Servomoteur.....	36
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	36
Figure II. 15 : Servomoteur.....	37
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	37
Support servomoteur assure la fixation du servomoteur.....	37
Figure II. 16 : Servomoteur.....	37
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique, [d] : Vue de coupe.....	37
Figure II. 17 : Vis CHC M6-10 Pour Fixation de Support.....	38
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	38
Figure II. 18 : Poutre en Composite.....	38
[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Détail, [d] : Vue Isométrique.....	38
Figure II. 19 : Vis CHC M6-10 Pour Fixation de Support.....	39
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	39
Figure II. 20 : La base [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue A De Dessus, [d] : Vue Isométrique.....	39
Figure II. 21 : l'entourage en plastique.....	40
[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Droite, [c] : Vue De Dessus, [d] : Vue Isométrique.....	40
Figure II. 22 : Vue Isométrique du châssis de robot à 10 roues.....	41
Figure II. 23: Vue éclatée du châssis à 6 roues.....	43
Figure II. 24: Vue éclate.....	45
Figure II. 25 : Palier longue [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Dessus, [d] : Vue Isométrique.....	46
Figure II. 26 : Poutre renforcé.....	46
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	46
Figure II. 27 : Poutre de renforcement en forme Z.....	47
[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique.....	47
Figure II. 28 :Vue Isométrique du châssis de robot à 6 roues.....	48
Figure III.1. Modèle 3D du robot mobile.....	52
Figure III. 2.Exemple de deux géométries 3D d'éléments utilisés pour la méthode deséléments finis.....	53
Figure III. 3.Modèle mécanique de robot mobile et conditions aux limites.....	55

(a) : 4roues, (b) : 6roues.	55
Figure III. 4.Modèle mécanique de robot mobile et conditions aux limites.	56
(a) : 8roues, (b) : 10roues.	56
Figure III. 5.Maillage global de l'ensemble.	60
Figure III. 6.Maillage global de l'ensemble.	61
Figure III. 7.Modélisation 3D par éléments finis des composantes du robot mobile. ...	62
Figure III. 8. Distributions des contraintes de Von mises dans le châssis inférieur pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	65
Figure III. 9. Graphe des contraintes de Von mises dans le châssis inférieur (<i>profile longitudinale</i>)pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	67
Figure III. 10.Graphe de ladistribution des contraintes de Von mises dans le châssis inférieur(<i>profile transversale</i>)pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.....	67
Figure III. 11.Distributions des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	69
Figure III. 12.Graphe de ladistribution des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure (profile longitudinale) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	69
Figure III. 13.Distributions des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure(profile transversale)pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	70
Figure III. 14. Distributions des contraintes de Von mises dans la poutre en composite pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	72
Figure III. 15. Distributions des contraintes de Von mises dans la poutre en composite(profile longitudinale)pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	73
Figure III. 16.Distributions des contraintes de Von mises dans le palier long pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	75
Figure III. 17.Distributions des contraintes de Von mises dans le palier long(profile longitudinale) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	75

Figure IV. 30. Distributions des contraintes de Von mises dans les axes pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	77
Figure III. 31. Distributions des contraintes de Von mises dans les roulements pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	79
Figure III. 32. Distributions des contraintes de Von mises dans les roues en polyéthylène pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.	81
Figure III. 33. Graphe des contraintes de Von mises dans le robot mobile (profil longitudinal) (a) : Modèle A, (b) : Modèle B	81

Liste des tableaux

Tableau I.1. Les différents types de robots à roues.....	14
Tableau I.2. Domaine d'application d'un robot mobile	16
Tableau II.1. Désignation des composantes du châssis de robot mobile à 10 roues ..	26
Tableau II.2. Désignation des composantes du robot mobile à 6 roues	44
Tableau III. 1. Les propriétés mécaniques du robot mobile.	58
Tableau III. 2. Résultats du maillage	63

INTRODUCTION GENERALE :

L'utilisation de pipes sur de longues distances nécessite un contrôle régulier pour détecter les fuites dues à la corrosion. Mais l'inspection des canalisations qui s'étendent sur des centaines de kilomètres relève presque de l'impossible. D'où l'utilisation de la technologie avec des robots mobiles équipés de capteurs ultrasons et de caméras pouvant se déplacer à l'intérieur du pipe enregistrant ainsi toutes les mesures nécessaires pour détecter n'importe quel défaut.

Pour fonctionner correctement et avec une bonne autonomie, le châssis du robot doit être conçu pour supporter la charge des batteries et des équipements embarqués tout en résistant aux contraintes environnementales à l'intérieur du pipe.

Notre projet a pour but d'étudier et concevoir le châssis d'un robot mobile en utilisant la méthode des éléments finis.

Pour bien présenter notre travail, le mémoire est composé de trois (03) chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités, commençant par un historique montrant la naissance et le développement des robots, suivi de la description des différents types de robots. Plus de détails sont consacrés au robot mobile, son domaine d'application et ses différents composants.

Le deuxième chapitre est réservé à la conception assistée par ordinateur deux modèles de robots mobiles avec deux structures différentes de châssis en utilisant le logiciel Solidworks.

Pour finir, le troisième chapitre est consacré à l'analyse avec la méthode des éléments finis des deux modèles avec logiciel Ansys suivi d'une étude comparative.

CHAPITRE I :

GENERALITES

1.1. Introduction :

La concurrence dans le domaine industriel a poussé les entreprises à réduire les coûts de production en recourant à la robotisation des usines pour fonctionner 24/24 avec une cadence soutenue qui était impossible à atteindre moyennant des ouvriers et surtout pour les tâches nécessitant un effort physique important. C'était le début de la Troisième révolution industrielle.

Depuis, les robots ne cessent d'envahir notre vie, remplaçant de plus en plus l'homme dans les tâches difficiles, rapides ou dangereuses. L'émergence de l'intelligence artificielle a permis d'embarquer une capacité de calcul et de traitement sans précédent sur ces derniers, en leur octroyant ainsi une autonomie de décision pour accomplir des tâches jusque-là réservées à des êtres humains.

L'objectif de ce chapitre est de donner en premier lieu, un aperçu général sur l'évolution des robots à travers un bref historique. De définir ensuite les types de robots et leurs domaines d'applications et enfin, identifier les différents composants d'un robot.

1.2. L'historique des robots :

Il est très difficile de se prononcer sur le début réel de l'histoire des robots. Néanmoins, nous pouvons suivre son évolution à travers les étapes suivantes :

1.2.1. L'apparition des automates et des horloges hydrauliques :

L'antiquité (**800 av JC**) qui prenaient vie grâce à des principes simples de mécanique. Exemples :

- * La statue du dieu Amon, pouvait étendre son bras, désignant ainsi le nouveau pharaon. Elle était vraisemblablement animée par un système de cordes et poulies actionnées par des prêtres.

* Le masque totémique articulé à l'effigie du dieu Anubis à tête de chacal. La mâchoire était actionnée par des fils cachés. Le masque semblait ainsi prononcer les paroles dictées par les prêtres

[1].

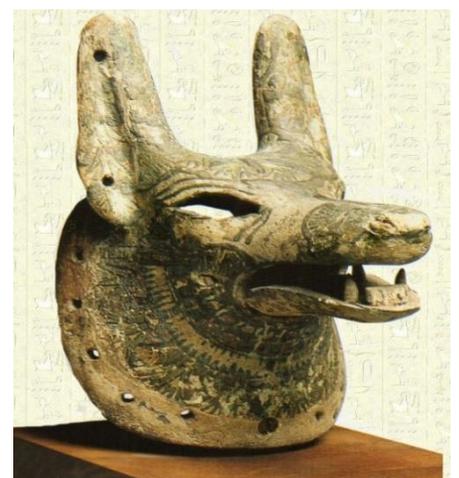


Figure I.1 : Masque du dieu Anubis

* **Parallèlement**, les babyloniens développaient, la clepsydre : une horloge qui fonctionne avec le flux d'eau entrant et par l'intermédiaire d'un flotteur, pouvait indiquer l'heure [2].

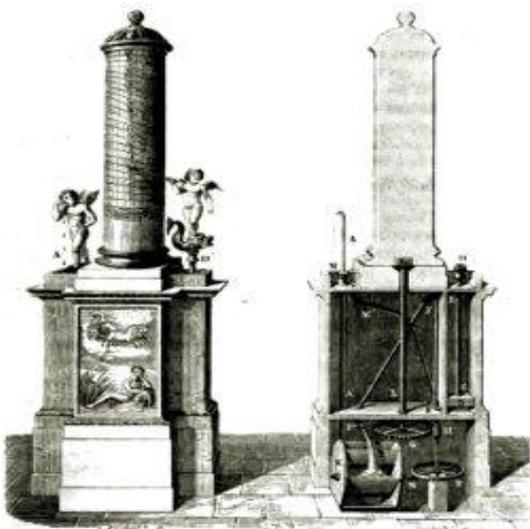


Figure I.2 : horloge hydraulique

*Au III^e siècle avant J C, le physicien Ctesibios d'Alexandrie, parvient à construire le premier automate hydraulique : c'est une horloge hydraulique pouvant fonctionner indéfiniment sans intervention humaine. Le liquide, en s'écoulant, fait tourner des roues qui permettent à une petite statue de monter, en indiquant le passage des heures. Les heures sont tracées soit sur une colonne ou un pilastre. Une figurine sort du bas de la machine et les indique avec une baguette pour toute la durée du jour [3].

*En l'an 380 avant J C, Archytas de Tarente fabrique le premier automate. Il s'agit d'un pigeon en bois capable de voler grâce à un système mécanique ingénieux de pompe à air comprimé sans doute [2].

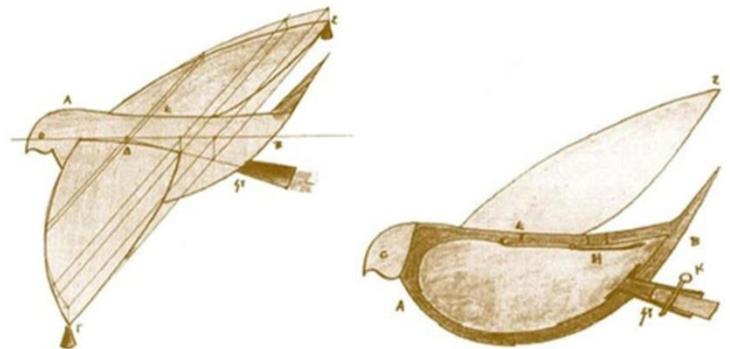


Figure I.3 : Croquis de pigeon volant d'Archytas de Tarente



Figure I.4 : l'éolipyle de Héron d'Alexandrie

*AU 1^{er} siècle après JC, le mathématicien et mécanicien grec Héron d'Alexandrie a fabriqué un oiseau en bronze buvant du liquide et d'autres créatures se déplaçant en présence d'une flamme. Les exploitations de Héron et ses ouvrages sur les mathématiques et les physiques ont marqué l'histoire des automates, influençant ainsi ses successeurs, notamment les arabes à partir du IX^e siècle [2].

1.2.2. L'humanisation des automates :

*AU XII e siècle, l'inventeur et ingénieur Al Jazari a conçu Certains de ses automates avec un but utilitaire (médical par exemple, pour mesurer la quantité de sang prélevée lors d'une saignée), d'autres avec l'unique but de divertir.

Il invente et réalise, entre autres choses :

- ❖ une horloge automatisée hydraulique en forme d'éléphant à taille réelle,
- ❖ un calculateur analogique (ancêtre de la machine à calculer),



Figure I.5 : l'horloge de l'éléphant

- ❖ de nombreux automates dont un orchestre actionné par une clepsydre
- ❖ une fontaine ornée de paons et servants humanoïdes, offrant aux hôtes savons et serviettes pour se laver les mains [4].



Figure I.6 : Les premiers jacquemarts

*À la fin du Moyen-âge, apparaissent les jacquemarts, ce sont des automates qui animent les horloges des édifices religieux. Les premiers jacquemarts apparaissent en Italie (Orvieto, 1351). Ce sont des personnages ou des animaux en bois ou métal, avec des programmes fixes, qui fonctionnent grâce à des poids ou engrenages. Ils frappent les heures sur la cloche des horloges, ou donnent l'impression de frapper : souvent le marteau s'arrête avant de toucher la cloche, et c'est un marteau situé à l'intérieur qui frappe le flanc de la cloche (pour limiter l'usure des surfaces) [5].

***Pendant la Renaissance**, Jacques de Vaucanson est parfois considéré comme le père des automates .Les automates de Vaucanson atteignent un degré de sophistication extrême Son »canard digérateur «est un canard automate, crée en 1734 et présenté au public en 1739, qui boit, mange, cancanne, barbote et digère comme un vrai canard .Des pigeons placés sur un cylindre gravé, contrôlant des baguettes traversant les pattes du canard, permettent de programmer l'animal. Le mécanisme, placé dans l'imposant piédestal, était laissé visible à tous, dans le but de montrer la complexité du travail accompli

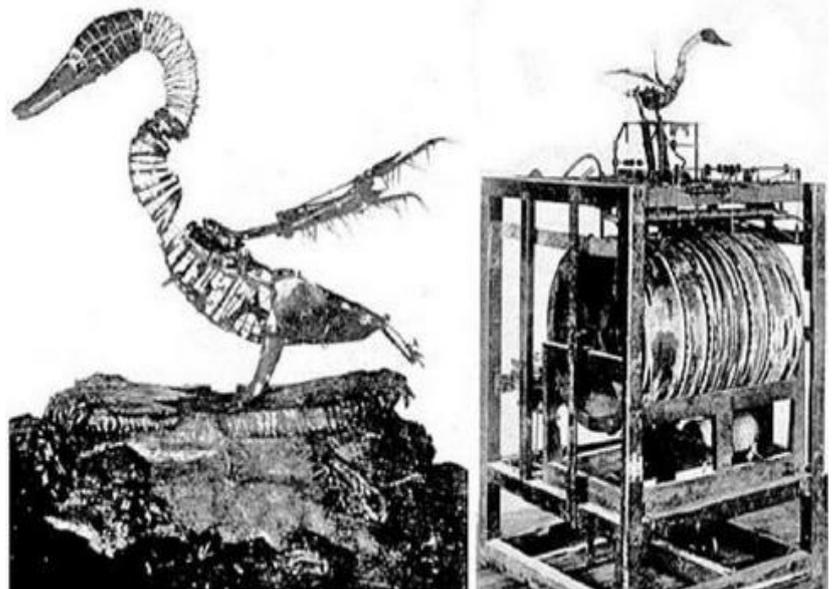


Figure I.7 : canard de Vaucanson

***En 1773** l'horloger suisse Pierre Jaquet-Droz aidé de son fils Henri-Louis réalise trois automates d'allure humaine. L'un d'eux peut dessiner avec une finesse digne d'un artiste, un autre, une jeune fille joue du clavecin tout en observant tour à tour ses mains et sa partition, avant de faire sa révérence à la fin du morceau. La troisième poupée androïde, le Scribe, peut tracer de sa plume en caractères élégants le texte demandé, d'une longueur de 40 caractères (1774). Les automates de Pierre Jaquet-Droz sont considérés comme de lointains ancêtres des **robots modernes** [6].

***Pendant la première moitié du XIXe siècle**, la mode des automates se répand dans le monde entier. D'Osaka avec son théâtre de poupées mécaniques, à Paris avec ses automates magiciens, les mécanismes sont toujours plus ingénieux [2].

1.2.3. Naissance de la robotique :

Une étape majeure dans le chemin qui va mener jusqu'aux robots est franchie en 1854 lorsque le professeur George Boole du Queen's College de Cork en Irlande fonde le système mathématique qui porte son nom. L'algèbre booléenne ne connaît que deux valeurs, 0 et 1. De par la simplicité de ses bases, le système de Boole ouvre la porte à une représentation formelle de la logique et donc à la conception d'une machine douée de raisonnement, l'ordinateur [6].

En 1920, le mot « robot » est utilisé par Karel Capek dans sa pièce de science-fiction « Rossumovi Univerzalni Roboti. Il inventa le mot « robot » à partir du mot « robota » qui signifie

« corvée » en slave ancien. De nos jours, le mot « robotnik » est utilisé en slovaque et polonais pour désigner l'ouvrier .Dans la pièce de Capek,le terme robot désigne un cyborg, c'est-à-dire un être bionique fait à la fois de parties organiques et artificielles,et non une créature mécanique

En 1940, l'arrivée de l'électronique puis de l'ordinateur vont bouleverser l'évolution de la robotique.

En 1941, le terme « robotique » est apparu dans la nouvelle Liar d'Issac Asimov où il essaye de trouver les limites des trois lois de la robotique qu'il a lui même créées.

En 1947, William Grey Walter applique la théorie de la cybernétique à une machine autonome pour étudier les comportements des animaux. Il fabrique Elsie et Elmer, deux tortues mobiles, capables de se déplacer de manière autonome et de se repérer grâce au son et à la lumière par le biais de capteurs photoélectriques [2].

A partir de 1950,la robotique a commencé à se développer dans le domaine de l'industrie..

En 1967, Shakey est créé par J Nilson. [7].

En 1970, Lunokhod 1, est le premier robot téléguidé envoyé sur la lune par les Russes dans le but de filmer l'atterrissage des Américains.,

En 2004, Philae, est créé par l'agence spatiale Européenne.

En 2009, Asimo, créé par la société Honda dans le but d'aider ou d'effectuer plus tard des tâches dangereuses pour les personnes malades, handicapées ou âgées.

En 2012, Curiosity est créé par l'agence spatiale Américaine de la Nasa et envoyé sur Mars, dans le but de trouver des matières organiques.

La robotique n'a cessé d'évoluer dans tous les domaines jusqu'à ce jour.

1.3. Les types de robot :

Généralement on peut les décomposer en deux catégories principales : les robots manipulateurs et les robots mobiles.

1.3.1. Les robots manipulateurs :

Sont des robots à base fixe.

1.3.1.1. Classification des robots suivant leur structure cinématique :

✚ Robots cartésiens :

- Trois articulations prismatiques dont les axes sont typiquement mutuellement orthogonaux (PPP), 3 DDL.
- La structure cartésienne offre une très bonne rigidité mécanique et une grande précision [8].

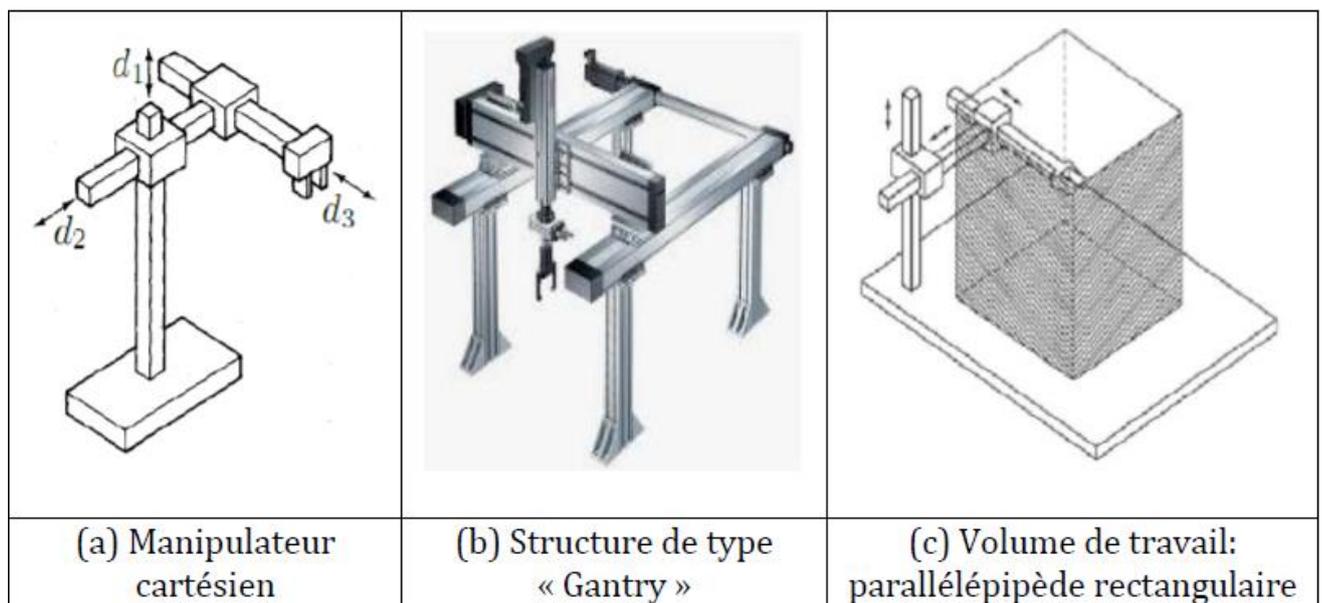


Figure I.8 : Robots cartésiens

✚ Robots cylindriques :

- La géométrie cylindrique diffère de la géométrie cartésienne en ce que la 1ère articulation prismatique est remplacée par une articulation rotoïde (RPP) ; 3 DDL.
- La structure cylindrique offre une très bonne rigidité mécanique.
- Utilisation typique : transport d'objets, même de grande taille (dans un tel cas, des moteurs hydrauliques sont préférés aux moteurs électriques) [8].

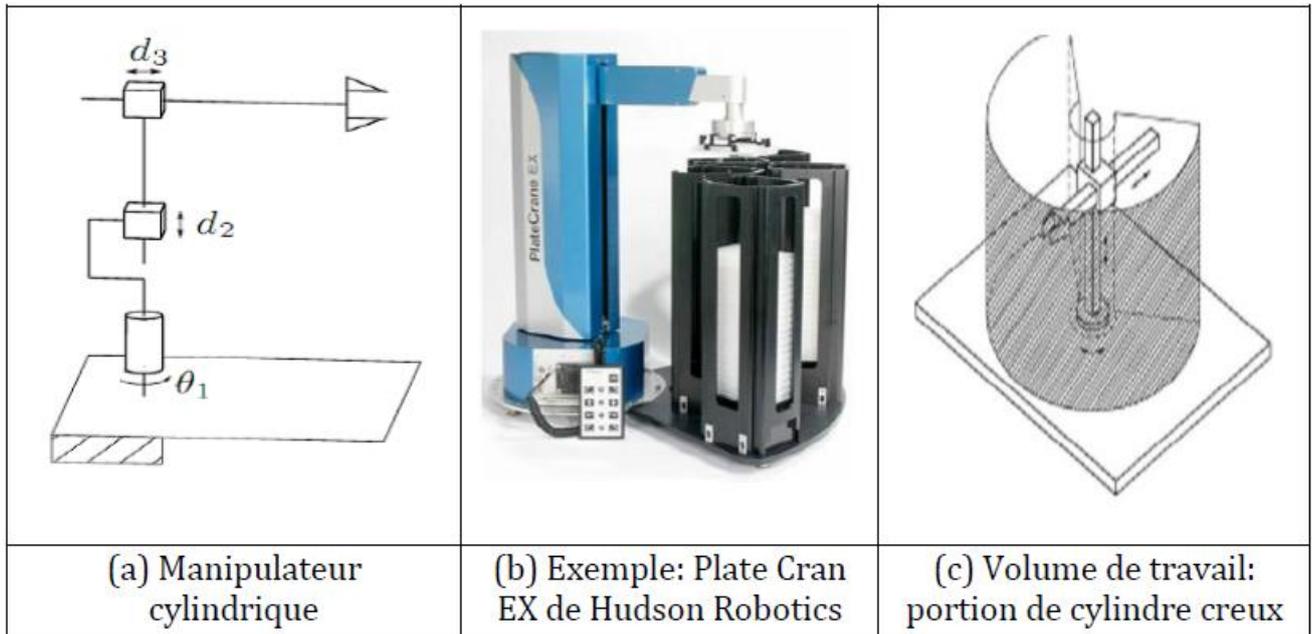


Figure I.9 : Robots cylindriques

✚ Robots sphériques :

- La géométrie sphérique diffère de la géométrie cylindrique en ce que la 2ème articulation prismatique est remplacée par une articulation rotoïde (RRP) ; 3 DDL
- La rigidité mécanique est inférieure à celle des deux robots précédents et la construction mécanique est plus complexe.
- Utilisation typique : usinage [8].

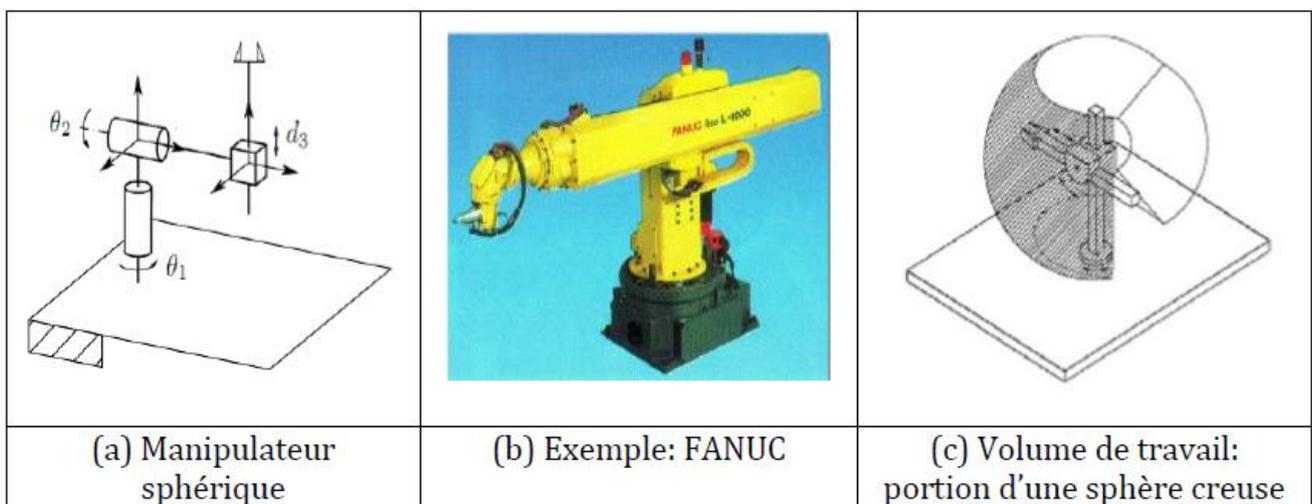


Figure I.10 : Robots sphériques

✚ Manipulateur SCARA :

- (SCARA: Selective Compliance Assembly Robot Arm)
- Manipulateur sphérique à géométrie “spéciale”
- Deux articulations rotoïdes et une articulation prismatique (RRP) : tous les axes sont parallèles ; 3 DDL
- Rigidité élevée pour charges verticales et souplesse aux charges horizontales
- Bien adapté à des tâches de montage vertical et à la manipulation de petits objets
- Précis et très rapide (1er modèle : 1981) [8].

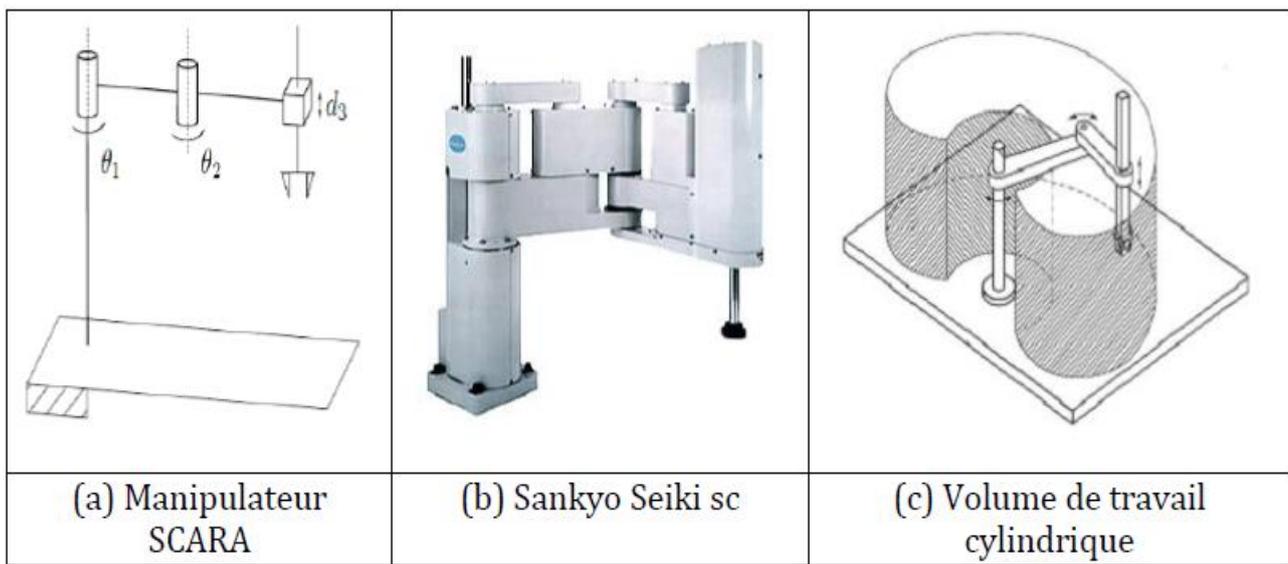


Figure I.11 : Manipulateur SCARA

✚ Robots anthropomorphes :

- Trois articulations rotoïdes (RRR) : l'axe de la 1ère articulation est orthogonal aux axes des deux autres qui sont parallèles ; 3 DDL ;
- En raison de sa ressemblance avec le bras humain, la 2ème articulation est appelée l'articulation de l'épaule et la 3ème, l'articulation du coude puisqu'elle relie le bras avec l'avant-bras ;
- Large gamme d'applications industrielles [8].

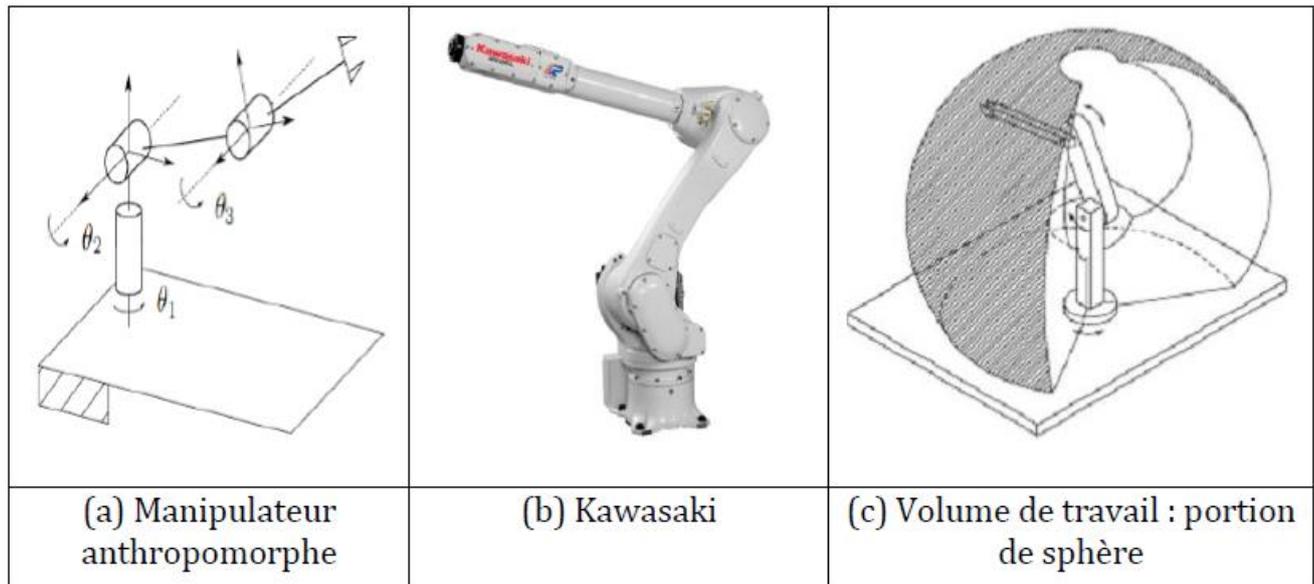


Figure I.12 : Robots anthropomorphes

1.3.2. Les robots mobiles :

Un robot mobile est un système mécanique, électronique et informatique qui se déplace grâce à des moyens de locomotions, dans un environnement donné. Selon son degré d'autonomie, il est capable de prendre ses propres décisions, de faire face aux difficultés rencontrées et de s'adapter à la situation afin d'exécuter les tâches qui lui ont été confiées.

1.3.2.1. Classification des robots mobiles selon le degré d'autonomie :

Il existe 2 principaux modes de fonctionnement pour un robot mobile :

Mode télé-opéré :

Une personne pilote le robot à distance. Le robot doit donc obéir aux ordres de l'opérateur qui perçoit l'environnement autour de lui, par différents moyens (retour d'image, retour d'effort,...), de manière à lui donner des ordres adaptés [9].

Mode autonome :

Le robot doit prendre ses propres décisions. Cela signifie qu'il doit être capable à la fois de percevoir correctement son environnement, mais également de savoir comment réagir en conséquence, suivant le niveau d'autonomie. C'est à lui de planifier son parcours et de déterminer avec quels mouvements il va atteindre son objectif [9].

1.3.2.2. Classification des robots mobiles selon la locomotion :

❖ Les robots à roues :

Les robots mobiles à roues peuvent être classés en plusieurs types avec des propriétés intéressantes:

➤ Les types de robots à roues :

✚ Robot uni-cycle :

Un robot de type uni-cycle est actionné par deux roues indépendantes, il possède éventuellement des roues folles pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices. C'est un robot non-holonyme, en effet il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues de locomotion. Sa commande peut être très simple, il est en effet assez facile de le déplacer d'un point à un autre par une suite de rotations simples et de lignes droites [10].

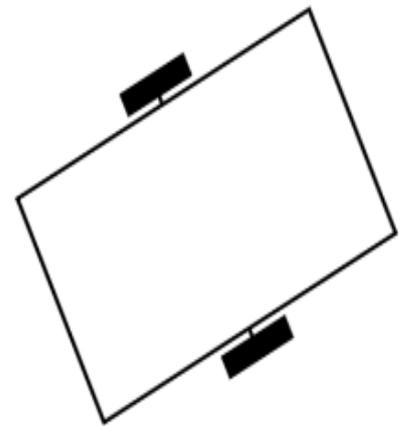


Figure I.13 : Robot uni-cycle

✚ Robot tricycle :

Un robot de type tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable. Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable. C'est un robot non-holonyme. En effet, il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues fixes. Sa commande est plus compliquée. Il est en général impossible d'effectuer des rotations simples à cause d'un rayon de braquage limité de la roue orientable [10].

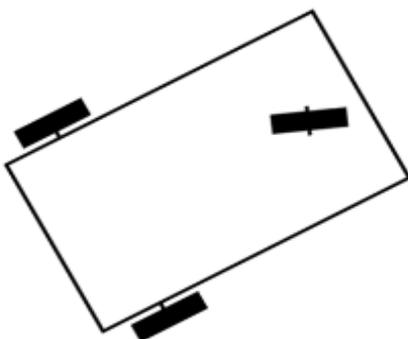


Figure I.14 : Robot tricycle

**Robot voiture :**

Un robot de type voiture est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe. Le robot de type voiture est cependant plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire. Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxième pouvant être ramené au premier en remplaçant les deux roues avant par une seule placée au centre de l'axe, et ceci de manière à laisser le centre de rotation inchangé [10].

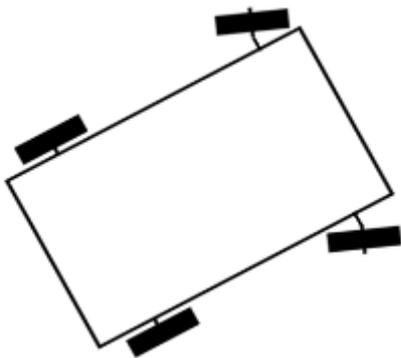


Figure I.15 : Robot voiture

**Robot omnidirectionnel :**

Un robot omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en général constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral. L'énorme avantage du robot omnidirectionnel est qu'il est holonome puis qu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Mais ceci se fait au dépend d'une complexité mécanique bien plus grande [10].

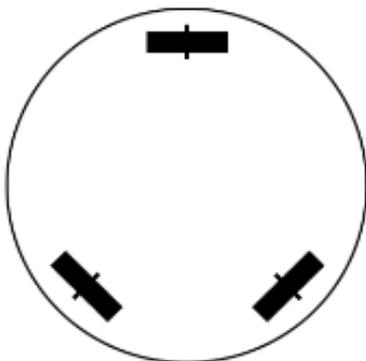


Figure I.16 : Robot omnidirectionnel

➤ **Comparaison des différents types de robots à roues :**

Nous pouvons observer dans le tableau ci-dessous un récapitulatif des avantages et des inconvénients des différents types de robots à roues [10].

Tableau I.1. Les différents types de robots à roues

Robot unicycle	<ul style="list-style-type: none"> •-non holonome •+ stable •+rotation sur soi-meme •+ complexité mécanique faible
Robot tricycle	<ul style="list-style-type: none"> •- non holonome •- peu stable •-pas de rotation sur soi-meme •+ complexité mécanique modérée
Robot voiture	<ul style="list-style-type: none"> • - non holonome •+ stable •- pas de rotation sur soi-meme •+ complexité mécanique modérée
Robot omnidirectionnel	<ul style="list-style-type: none"> •+ holonome •+ stable •+ rotation sur soi-meme •- complexité mécanique importante

❖ **Robot mobile à chenille :**

Lorsque le terrain est accidenté, les roues perdent leur efficacité de locomotion. Ceci limite la capacité de mouvement du robot mobile équipé de ce type de système de locomotion. Dans ces conditions, les chenilles sont plus intéressantes car elles permettent d'augmenter l'adhérence au sol et de franchir des obstacles plus importants [11].



Figure I.17 : Robot mobile à chenille

❖ Les robots à pattes :

Dans la situation où le terrain est encore plus incertain, avec de grandes différences de hauteur comme par exemple un escalier ou un terrain très accidenté, les deux types précédents ne sont plus efficaces, et on fait recours aux robots mobiles à pattes. Ils ont des points d'appui discrets sur le terrain et sont donc la solution à ce problème de mouvement. Par contre, la conception et le contrôle d'un engin à pattes sont très complexes. En plus, la vitesse d'évolution est généralement très réduite. La commande est très difficile, dépend de la multiplicité des actionneurs utilisés. Aibo de Sony est un exemple d'un robot mobile à pattes [11].



Figure I.18 : Robot mobile à pattes

❖ Autres moyens de locomotion :

Cette catégorie englobe les robots mobiles qui utilisent un moyen de locomotion différent des trois précédents. Par exemple, les robots mobiles qui se déplacent par reptation, les robots sous-marins, les robots d'exploration spatiale et les robots volants,...etc. Les applications et la commande de ces robots sont très spécialisées, l'architecture est en général spécifique à l'application visée [BAY07]. Pour utiliser et gérer ces machines d'une manière efficace, elles doivent être équipées par un ensemble de capteurs et d'actionneurs de réaction pour un mouvement souhaité [11].

1.4. Domaine d'application :

Tableau I.2. Domaine d'application d'un robot mobile

Industrie nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacer le personnel - Assurer la maintenance dans les zones où le niveau de rayonnement est trop élevé. - Intervenir dans certaines tâches tandis que le réacteur est en marche.
Application militaires	<ul style="list-style-type: none"> - missions d'espionnage ou d'éclairage. - transporter les paquets des soldats - remplacer les soldats pour limiter les pertes humaines.
Industrie automobiles	<ul style="list-style-type: none"> - Déplacer des pièces d'automobiles lourdes des entrepôts logistiques et les livrer à la ligne d'assemblage par convoyeur. - Réduire le risque de troubles musculo-squelettiques (TMS) pour les opérateurs, - Augmenter la compétitivité des sites de production.
Médecine	<ul style="list-style-type: none"> - Désinfecter Les hôpitaux
Chimique	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler les matériaux toxiques
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - explorer les fonds marins - explorer les grottes, les volcans - explorer l'espace et les planètes
Agricole	<ul style="list-style-type: none"> - désherber les champs - transporter des plantes en pot
Utilisation civile	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyer la ville - s'occuper des lieux publics

1.5. Les composants d'un robot :

1.5.1. Structure mécanique :

1.5.1.1. Le châssis:

Un **châssis** est un cadre rigide ou mobile fait d'une matière résistante, destiné à entourer ou supporter quelque chose [12].

1.5.2. Structure électronique :

1.5.2.1. Actionneurs :

Les actionneurs sont les «muscles» de manipulateurs. Le contrôleur envoie des signaux aux actionneurs, qui, à son tour, déplacent les articulations du robot et des jonctions, les types communs des actionneurs sont les servomoteurs, les moteurs pas à pas, les actionneurs pneumatiques et les vérins hydrauliques. Les actionneurs sont sous le contrôle du contrôleur [13].

Les servomoteurs :

Les servomoteurs sont des systèmes conçus dans le but de produire un mouvement précis obéissant à une commande externe. Les servomoteurs sont des tris actionneurs qui utilisent l'énergie électronique, le système mécanique et la commande automatique pour leur fonctionnement.

Les servomoteurs ont 4 à 12 pôles et sont couplés à un codeur et à un contrôleur qui va contrôler la position angulaire du moteur mais aussi la vitesse et l'accélération de celui-ci. Ce système de retour d'information est nécessaire en raison de la conception du moteur qui ne possède donc pas de « pas » stable. Le positionnement du moteur est précis et fiable. Le pilotage des servomoteurs est généralement doux ce qui est appréciable notamment à grande vitesse [14].

- **Avantage des servomoteurs :**

Les servomoteurs offrent beaucoup d'avantages. L'un des avantages principaux et qu'il peut tourner à grande vitesse tout en conservant le couple nominal. Ils peuvent aussi supporter jusqu'à près de deux fois leur couple nominal pour une courte période de temps. Attention car ceci entraîne un échauffement et donc nécessite de pouvoir dissiper cette chaleur par la suite. Ces moteurs sont équipés de codeurs ce qui les rend précis et fiables [14].

- Inconvénient des servomoteurs :

Les servomoteurs ont aussi quelques désavantages : ces moteurs peuvent être très cher. Ils nécessitent des codeurs complexes. Si le codeur n'est pas configuré correctement, il peut nécessiter plus de maintenance. Les servomoteurs peuvent aussi nécessiter l'adjonction d'un réducteur de vitesse pour utiliser des vitesses de rotation faibles ou pour augmenter le couple disponible. Cela ajoute évidemment un élément de complexité au système et donc un coût supplémentaire [14].

Les moteurs pas à pas :

Les moteurs pas à pas sont un type de moteur brushless (sans balais) multi pôle. Le moteur est habituellement conçu pour avoir entre 50 et 100 pôles qui divisent un tour complet de moteur en une série de « pas » d'égale valeur angulaire d'où le nom « pas à pas ». Le terme « en boucle ouverte » qualifie un moteur qui ne possède pas de codeur, ce capteur qui renvoie la position angulaire du moteur. Dans ce cas pour connaître la position du moteur il faut compter le nombre de pas que dont on a fait tourner le moteur. Le moteur tourne de manière précise de pas en pas et peut rester en position à n'importe quelle position de chacun de ces pas et donc avoir un grand couple de maintien. Les moteurs peuvent avoir une technologie micro-step qui permet d'augmenter la résolution angulaire du moteur en augmentant le nombre de pas [14].

- Avantages du moteur pas-à-pas :

Les moteurs pas à pas sont très facile à configurer, disponibles très largement pour un coût modeste. Ils ne nécessitent qu'un système de pilotage très simple. Pour les applications les plus basiques, ils ne nécessitent donc pas de boucle fermée. Ils proposent un très bon couple de maintien, et donc n'ont pas besoin de frein pour maintenir le système en position. Le couple est bon même à vitesse lente. Enfin ce type de moteur est résistant et ne nécessite qu'une faible maintenance. Il existe une norme établie par la [NEMA](#) (National Electrical Manufacturer Association) qui définit une norme sur la taille des moteurs pas à pas. Vous pourrez donc entendre parler de moteur pas-à-pas NEMA 11, 14, 16, 17, 23, an 34, ce qui détermine leur taille et permet donc de les remplacer aisément [14].

- Inconvénients des moteurs pas-à-pas :

Pour un moteur pas à pas, le couple diminue de manière importante lorsque la vitesse augmente. Si vous avez besoin d'une vitesse plus rapide il faudra alors augmenter le dimensionnement de celui-ci. Lorsque le couple diminue, le moteur peut alors « sauter » un pas, c'est-à-dire que le moteur ne suivra pas l'ordre du contrôleur de moteur. A vitesse lente, les moteurs pas à pas ont une précision

grossière (à moins qu'ils soient construits en micro-step, c'est à dire avec un grand nombre de division angulaires). Enfin ces moteurs sont bruyants et peuvent souffrir de problèmes de résonances [14].

1.5.2.2. Capteurs :

Les capteurs sont utilisés pour recueillir des informations sur l'état interne du robot ou pour communiquer avec l'environnement extérieur. Comme chez l'humain, le dispositif de commande de robot doit connaître l'emplacement de chaque lien du robot afin de connaître la configuration du robot. Toujours comme vos principaux sens de la vue, le toucher, l'ouïe, le goût, et la parole, les robots sont équipés de dispositifs sensoriels externes comme un système de vision, le toucher et les capteurs tactiles, synthétiseur de parole, et grâce à eux le robot peut communiquer avec le monde extérieur [13].

1.5.2.3. L'alimentation :

Le dimensionnement de l'alimentation du robot consiste à définir l'autonomie souhaitée pour un fonctionnement normal, et accessoirement à répartir la capacité sur plusieurs sources indépendantes. L'énergie nécessaire est calculée à partir de la consommation de tous les éléments du robot.

Le calcul est simple, il suffit de multiplier le courant total consommé par l'autonomie souhaitée. L'alimentation peut être sous forme de batteries ou d'accumulateurs en tenant compte du poids final du robot, sa puissance et son autonomie. Le problème avec les robots est le manque de place. Le choix de batterie dépend des caractéristiques du robot.

1.5.2.4. Carte de contrôle :

Carte FPGA :

L'acronyme FPGA (Field Programmable Gate Arrays) désigne un circuit intégré composé d'un réseau de cellules programmables. Chaque cellule est capable de réaliser une fonction, choisie parmi plusieurs possibles. Les interconnexions sont également programmables.

Les composants FPGA sont principalement basés sur la technologie RAM [15].

Carte Arduino :

Ce sont des cartes électroniques programmables (donc dotées d'un processeur et de mémoire) sur lesquelles nous pouvons brancher des capteurs de température, d'humidité, de vibration ou de lumière, une caméra, des boutons, des potentiomètres de réglage, des contacts électriques...

Il y a aussi des connecteurs pour brancher des LED, des moteurs, des relais, des afficheurs, un écran...

Une carte Arduino est un cerveau qui permet de rendre intelligent des systèmes électroniques et d'animer des dispositifs mécaniques [16].

1.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné un bref historique sur l'évolution des robots, leurs différents types et leurs composants, ce qui nous a inspiré pour la conception d'un robot mobile qui sera détaillée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II :

CONCEPTION DU SYSTEME DE

ROBOT MOBILE



***DS* SOLIDWORKS**

2.1. Introduction :

Ce chapitre porte sur la conception de deux modèles de robot mobiles avec des dessins de définitions qui déterminent les pièces qui constituent les robots.

2.2. Présentation du CRTI :

2.2.1. Présenter le CRTI en général :

Sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, le Centre de Recherche en Technologies Industrielles, a été créé par le Décret Exécutif N °. 15-109 du 3 mai 2015, modifiant le décret exécutif n °. 92-280 du 6 juillet 1992 qui a lancé cet établissement en tant qu'Établissement public scientifique et technique (EPST).

Le CRTI, ex-CSC, dispose d'un potentiel humain de 750 fonctionnaires, dont 300 chercheurs permanents, 200 personnels techniques, et 150 experts et ingénieurs de la filiale CSC expertise Spa. De plus, le centre comprend plusieurs structures de valorisation sur tout le territoire national.

CRTI est principalement responsable de:

- Réaliser les projets de recherche nécessaires pour le développement de technologies industrielles, y compris les techniques d'assemblage, les essais non destructifs et la corrosion.
- Organiser, développer et promouvoir de l'assurance qualité et du contrôle qualité des installations industrielles.
- Développer et contribuer à la réalisation des compilations, normes et standards liés aux technologies d'assemblages, aux essais non destructifs, aux installations industrielles et à la corrosion des matériaux métalliques.
- Améliorer, vérifier et utiliser des équipements de soudage, d'essais non destructifs, d'analyse et de mesure.
- Développer la recherche appliquée dans le domaine du fer et de l'acier, par exemple dans l'élaboration et la caractérisation des aciers et alliages spéciaux.
- Maîtriser et développer de la mécatronique et de la maintenance appliquée aux installations industrielles.
- Développer des programmes de recherche dans l'élaboration, la caractérisation et l'étude du comportement des matériaux non métalliques, tels que les composites, les céramiques, etc.
- Développer des programmes de recherche dans la technologie du traitement de surface des matériaux et leurs applications.

CRTI est organisé en plusieurs pôles de recherche comme suit:

- Le pôle siège de Cherega, Alger (CRTI) qui est composé de cinq (05) pôles de recherche.
- Pôle Sétif (UDCMA), situé dans la zone industrielle et spécialisé dans les couches minces et les revêtements.
- Pôle Annaba (URMA), situé sur le campus universitaire de Badji Mokhtar. Il est spécialisé dans les matériaux avancés.
- Un autre pôle (URASM), à Annaba situé dans le complexe El Hadjar spécialisé dans le fer et l'acier.
- Le pôle de Bousmail qui est composé de la Filiale et de la plateforme technologique qui sont des structures de valorisation.

Au niveau africain, le centre occupe une position de leader, tout particulièrement dans le domaine des essais non destructifs (CND) [1].

2.2.2. Présenter l'équipe projet :

L'équipe responsable de ce projet est formée d'électroniciens et d'automaticiens qui s'occupent des cartes électroniques, des batteries et des servomoteursetc. Et de mécaniciens qui se chargent de la partie mécanique.

2.3. Besoin exprimé par le CRTI :

Afin de faire des inspections sur l'état des canalisations, le CRTI a lancé une première version d'essai d'un véhicule autonome équipé de capteurs ultrasons. L'expérience fut intéressante malgré les nombreuses lacunes dont souffre le véhicule. Ceci, a permis à l'équipe projet de continuer et améliorer le travail en réalisant une nouvelle génération, prenant en considération les points suivants :

- Nouveau design : permettant une meilleure accessibilité aux équipements électroniques, un changement rapide des batteries tout en restant étanche.
- Nouveaux matériaux : carte de control à base de FPGA, capteurs performants, servomoteurs légers, châssis supportant les contraintes environnementales.
- Possibilité de production à grande échelle.

2.4. Conception :

2.4.1. Le logiciel SolidWorks :

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3Dparamétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises [2].

2.4.2. Réponse au besoin :

-  Châssis en étage (étage transmission, étage alimentation électrique et batterie et étage de commande électronique et capteurs.
-  Pour la transmission du servomoteur vers les roues, on utilisera un système d'arbre avec deux paliers afin de réduire les flexions.
-  Utiliser une coque en plastique pour garantir l'étanchéité.

2.4.3. Dessins de définition du premier modèle (robot à 10 roues) :

vue en éclaté :

Une vue en éclaté est la représentation de toutes les pièces d'un mécanisme complet comme si l'objet était éclaté de l'intérieur, ce qui donne une vue sur toutes les pièces du mécanisme.

Une vue en éclaté est généralement utilisée pour montrer le montage d'un mécanisme. On en retrouve souvent dans les notices de montage des meubles à monter soi-même [3].

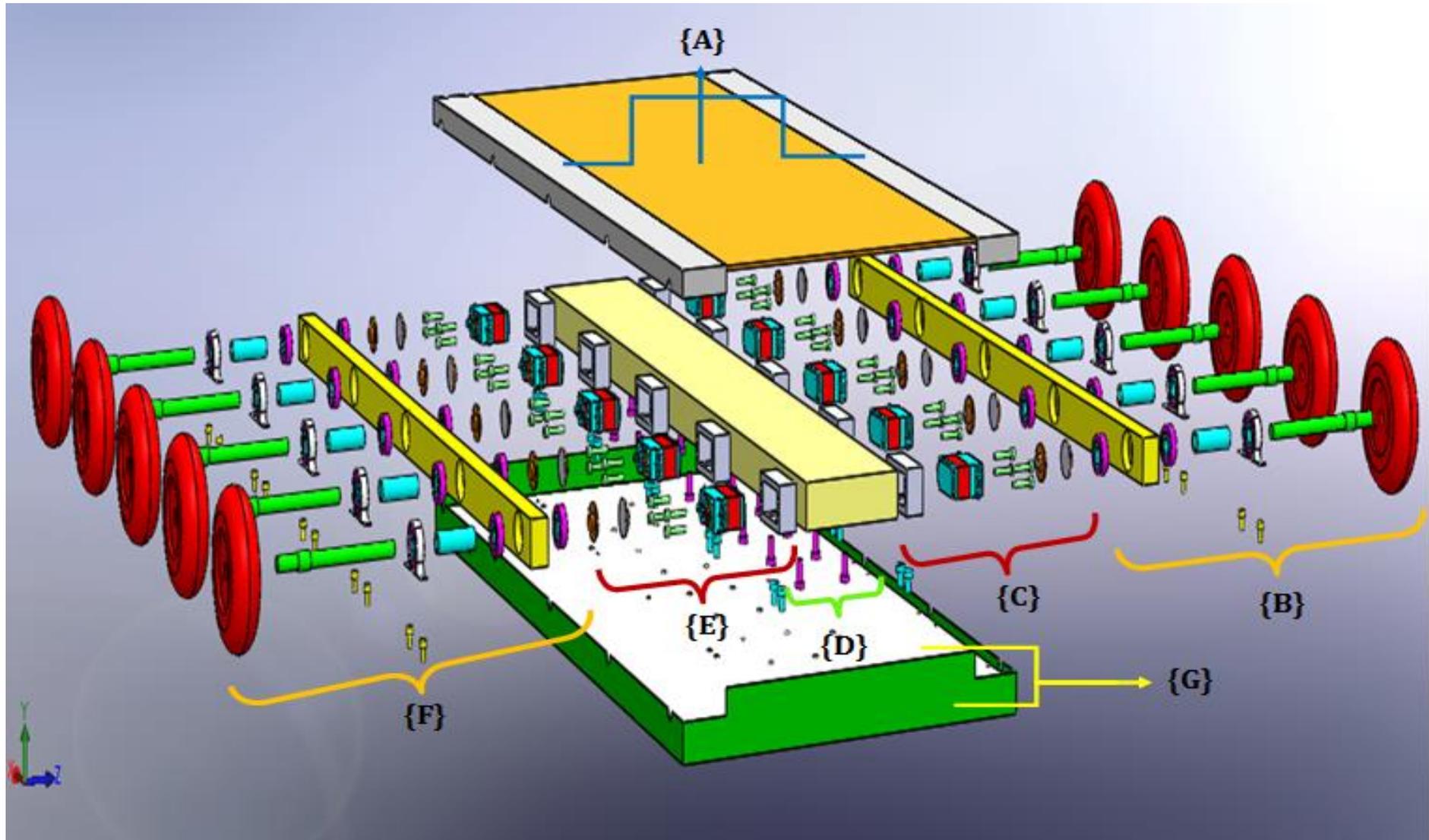


Figure II. 1 : Vue éclatée du châssis à 10 roues

2.4.4. Nomenclature des composants utilisés dans le robot à 10 roues :

Le **Tableau II.2** représente les pièces qui constituent le châssis ainsi que les matériaux utilisés

Tableau II.1. Désignation des composantes du châssis de robot mobile à 10 roues

Désignation	Nom d'assemblage	Nom des Pièces	Nombre de Pièces	Matériaux
{A}	Châssis Supérieur	Plaque Supérieur	1	plastique
		La base	2	plastique
{B} - {F}	Partie gauche et droite	Roue	10	Polyéthylène
		Axe	10	Acier Standard
		Roulement	30	Acier Standard
		Palier a Semelle	10	Fonte Grise
		Palier longue	2	Aluminium
		Bague Entretoise	10	Polyéthylène
		Vis CHC M6/9 Pour Fixation de Palier	20	Acier Standard
{C} - {E}	Partie servomoteur	Servomoteur	10	Polyéthylène
		Disque de Transmission Pour Servomoteur	10	Polyéthylène
		Disque de Transmission	10	Polyéthylène
		Support Servomoteur	10	Acier Standard
		Vis CHC M4/20 Pour Fixation De Servomoteur	40	Acier Standard
		Vis CHC M6/10 Pour Fixation de Support	20	Acier Standard
{D}	Poutre renforcé	Poutre en Composite	1	Epoxy Carbon UD (395 GPA) prepreg
		Vis CHC-M6-14 Pour la Fixation de Poutre	18	Acier Standard
{G}	Châssis Inférieur	La base	1	plastique
		L'entourage	1	plastique

{A} : Châssis Supérieur**➤ Plaque Supérieur**

La plaque supérieure représente la base qui porte les batteries

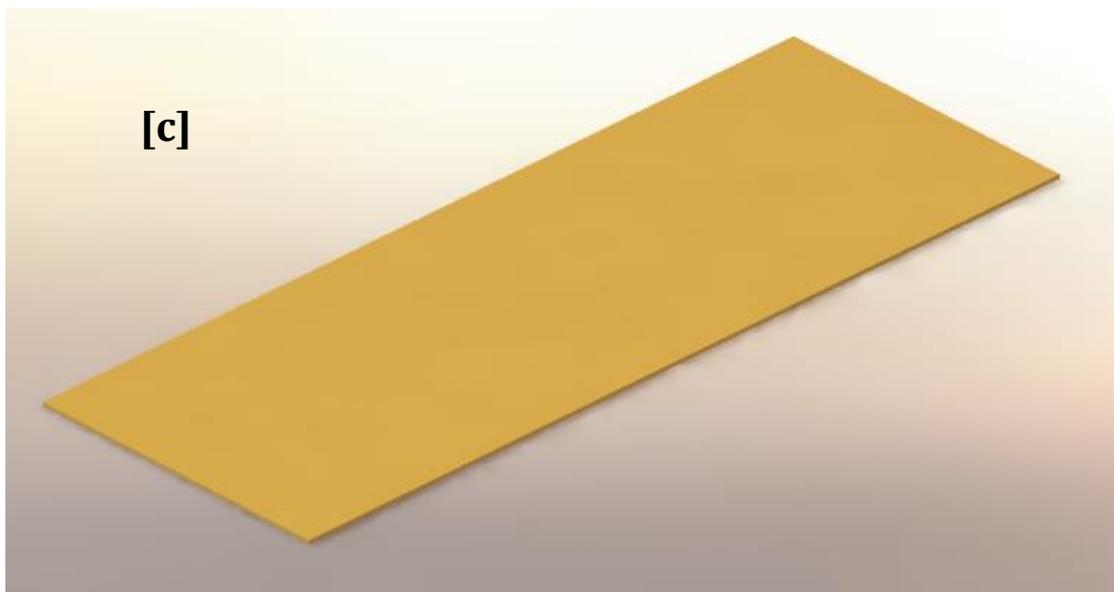
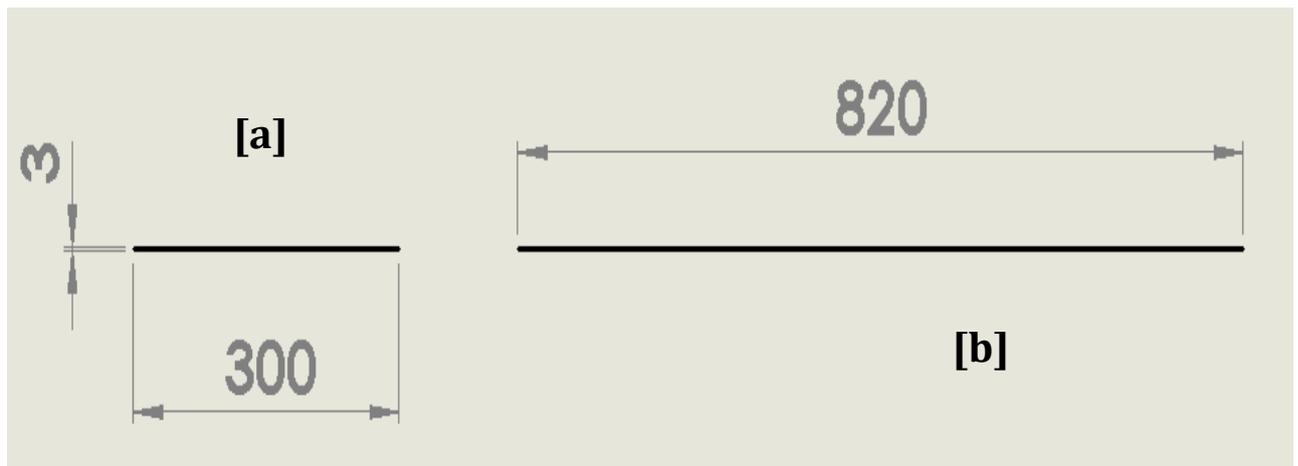


Figure II. 2 : Plaque Supérieur

[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue Isométrique

➤ Couvert gauche

Le couvert se trouve au niveau de la partie supérieure du châssis protège les pièces intérieures du robot

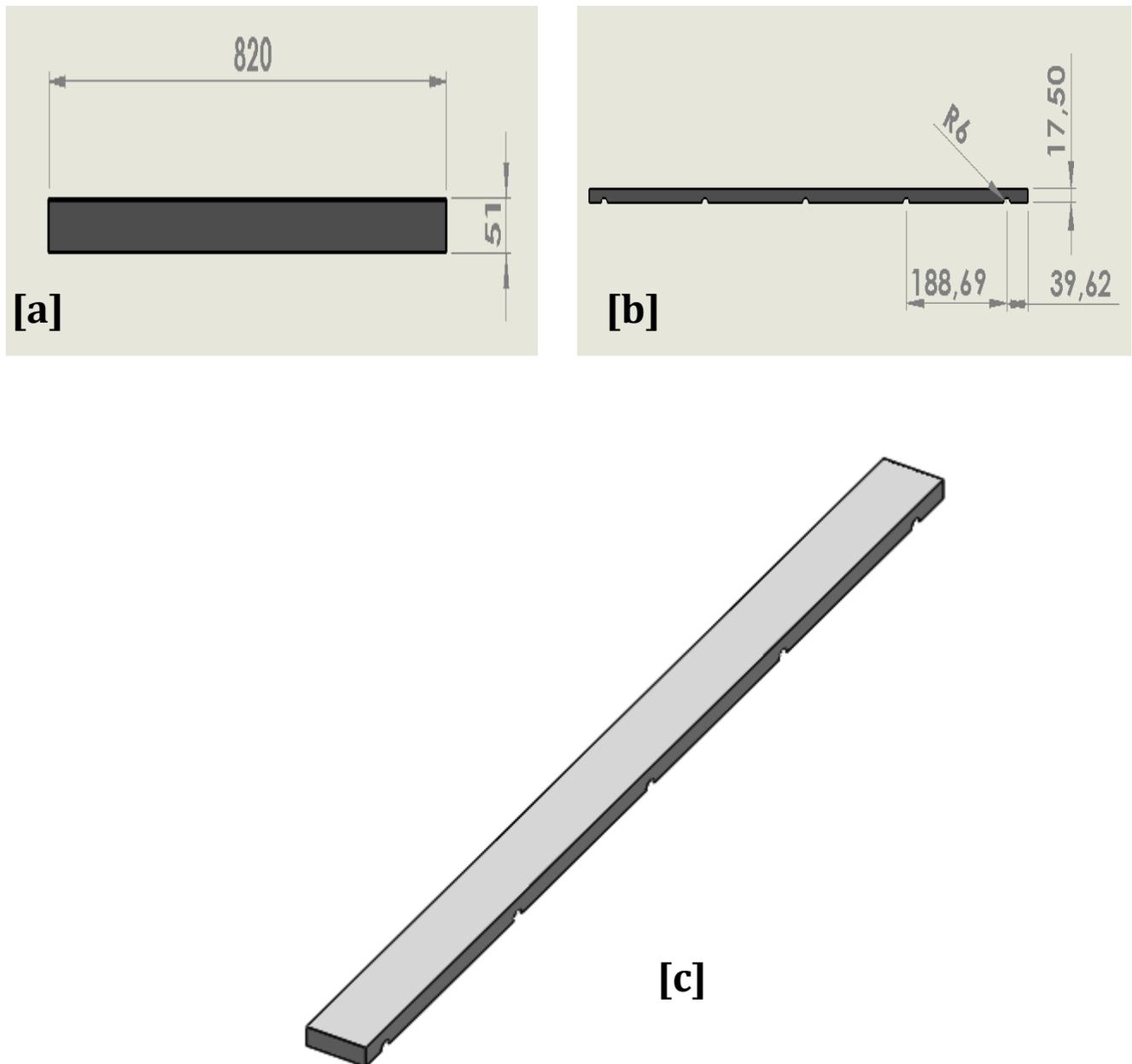


Figure II. 3 : Couvert gauche. [a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

{B} - {F} : Partie gauche et droite

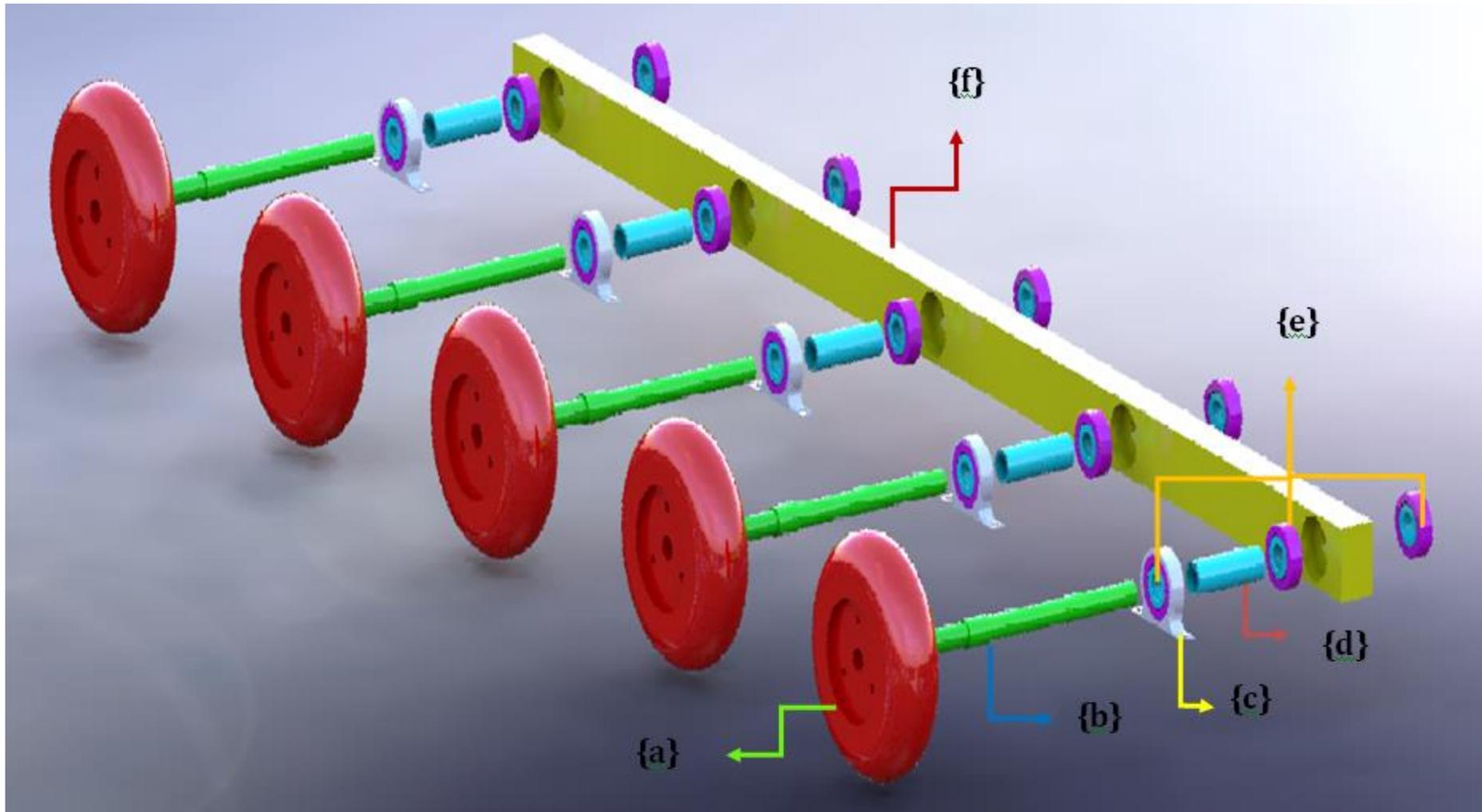


Figure II. 4 : Vue éclaté Partie gauche du châssis

➤ Roue {a}

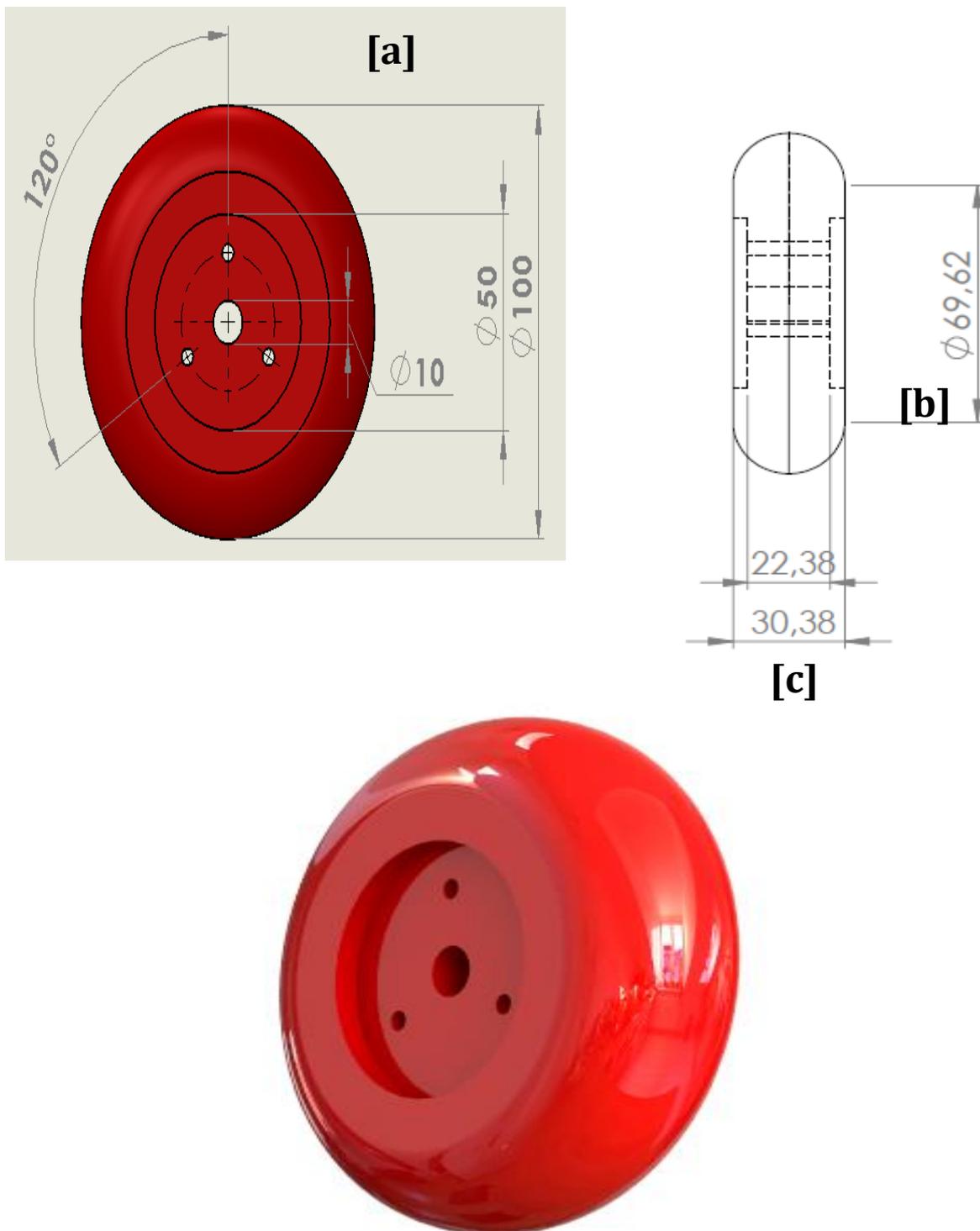


Figure II. 5 : Roue en polyéthylène [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue Isométrique

➤ **Axe de transmission{b}**

L'axe de transmission comme son nom indique permet de transmettre le mouvement du servomoteur aux roues

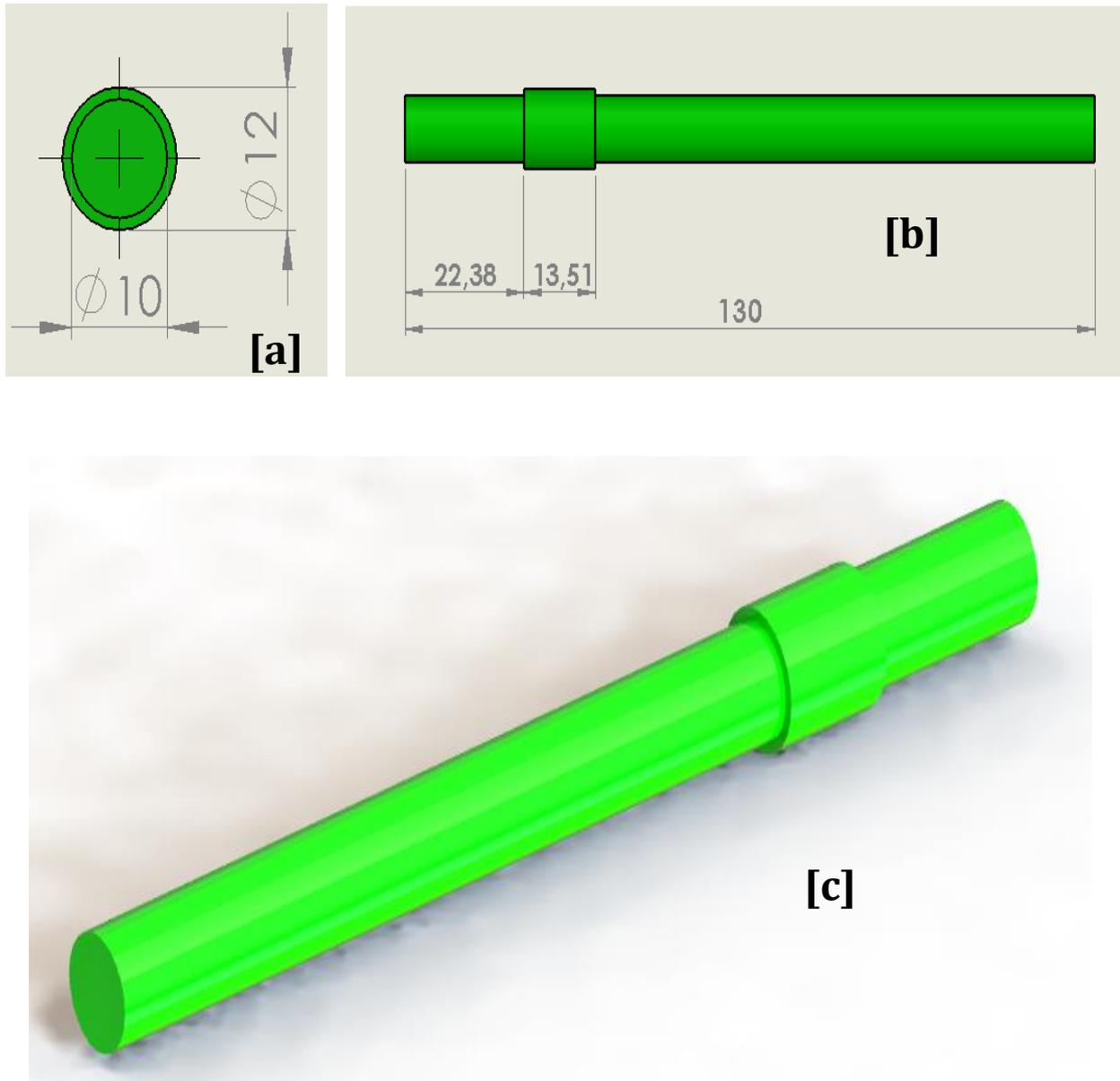


Figure II. 6 : Axe de transmission[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue Isométrique.

➤ **Palier à Semelle{c}**

Palier à semelle est utilisé comme un support de l'axe de transmission est pour diminuer les contraintes de flexion appliqué sur lui

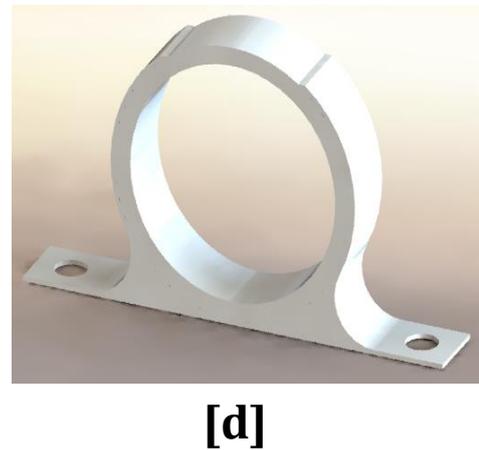
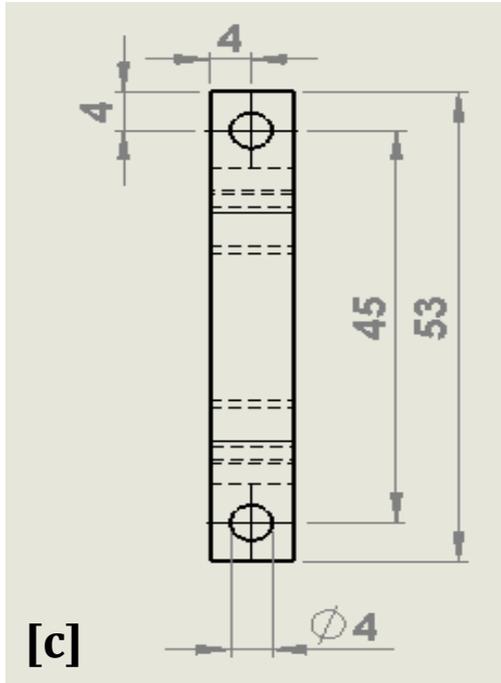
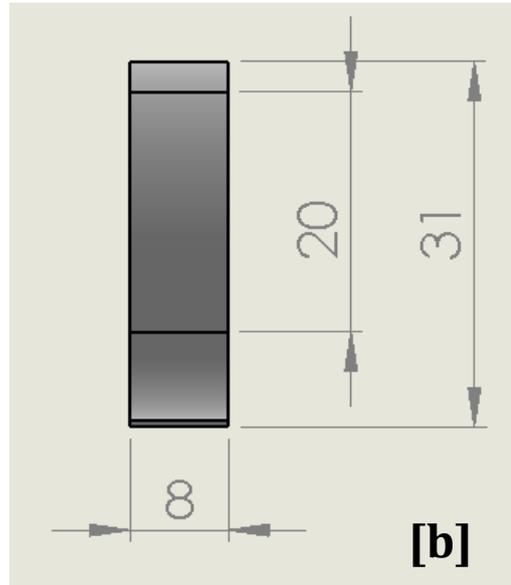
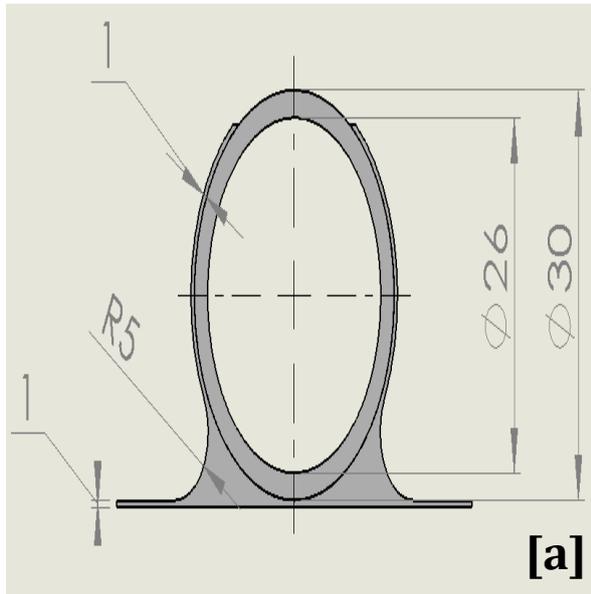


Figure II. 7 : Palier à Semelle en fonte grise[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Dessous, [d] : Vue Isométrique

➤ Vis CHC M6-9 Pour Fixation de Palier

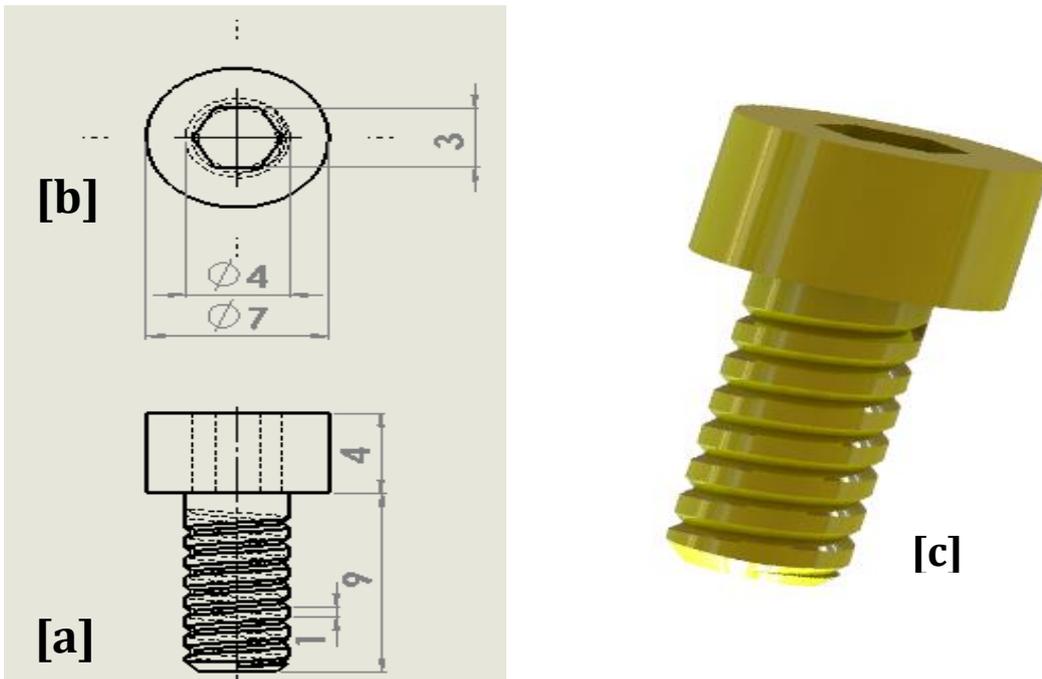


Figure II. 8 : Vis CHC M6-9 Pour Fixation de Palier [a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

➤ Bague Entretoise {d}

La bague entretoise assure la fixation du roulement

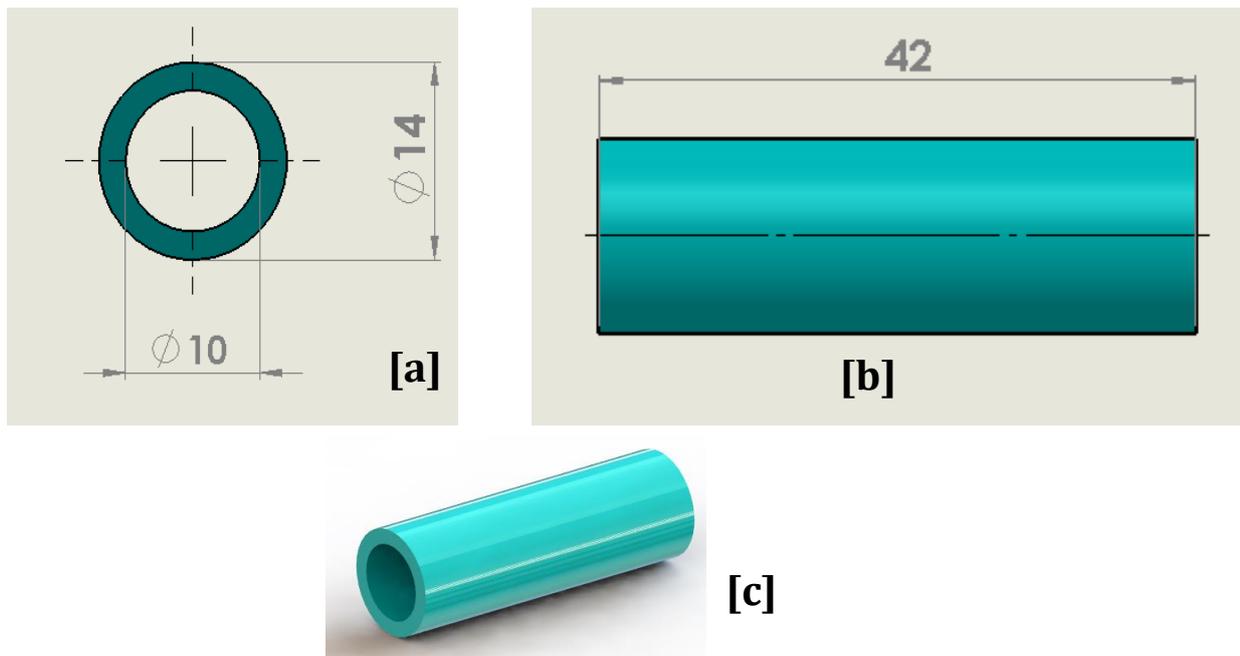


Figure II. 9 : Bague Entretoise [a] : Vue De Droite, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

➤ **Roulement BC {e}**

Roulement BC : 6202ZZC3/2 A

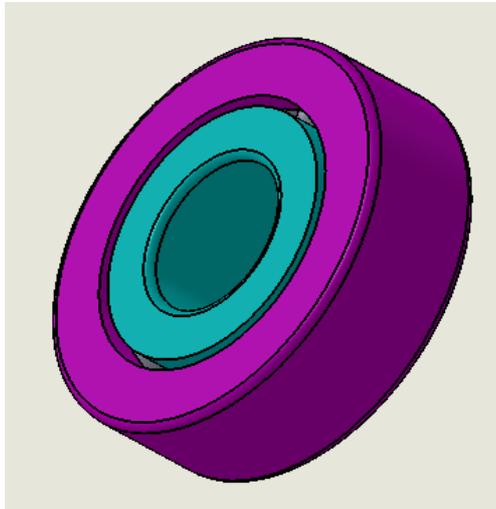


Figure II. 10: Vue Isométrique du roulement BC

➤ **Palier long {f}**

Palier long est utilisé comme un support pour la plaque supérieure et d'un autre côté pour diminuer les contraintes de flexion appliquées sur l'axe

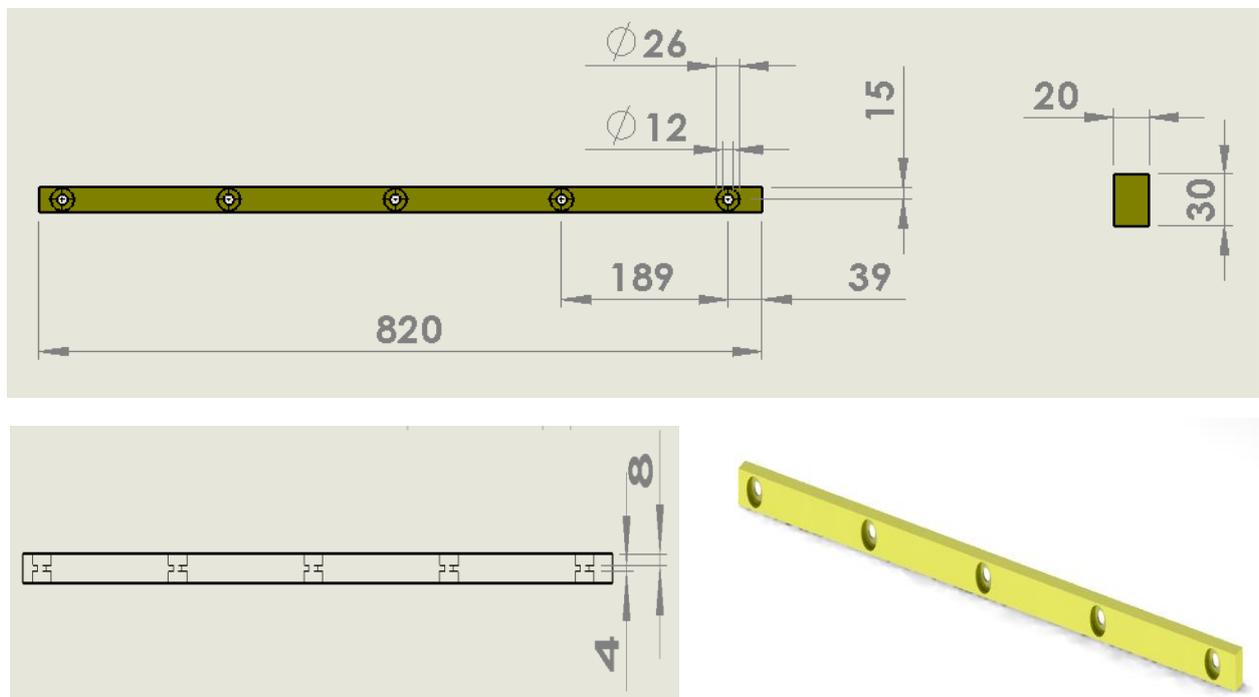


Figure II. 11 : Palier long [a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Dessus, [d] : Vue Isométrique

{C} - {E} : Partie servomoteur

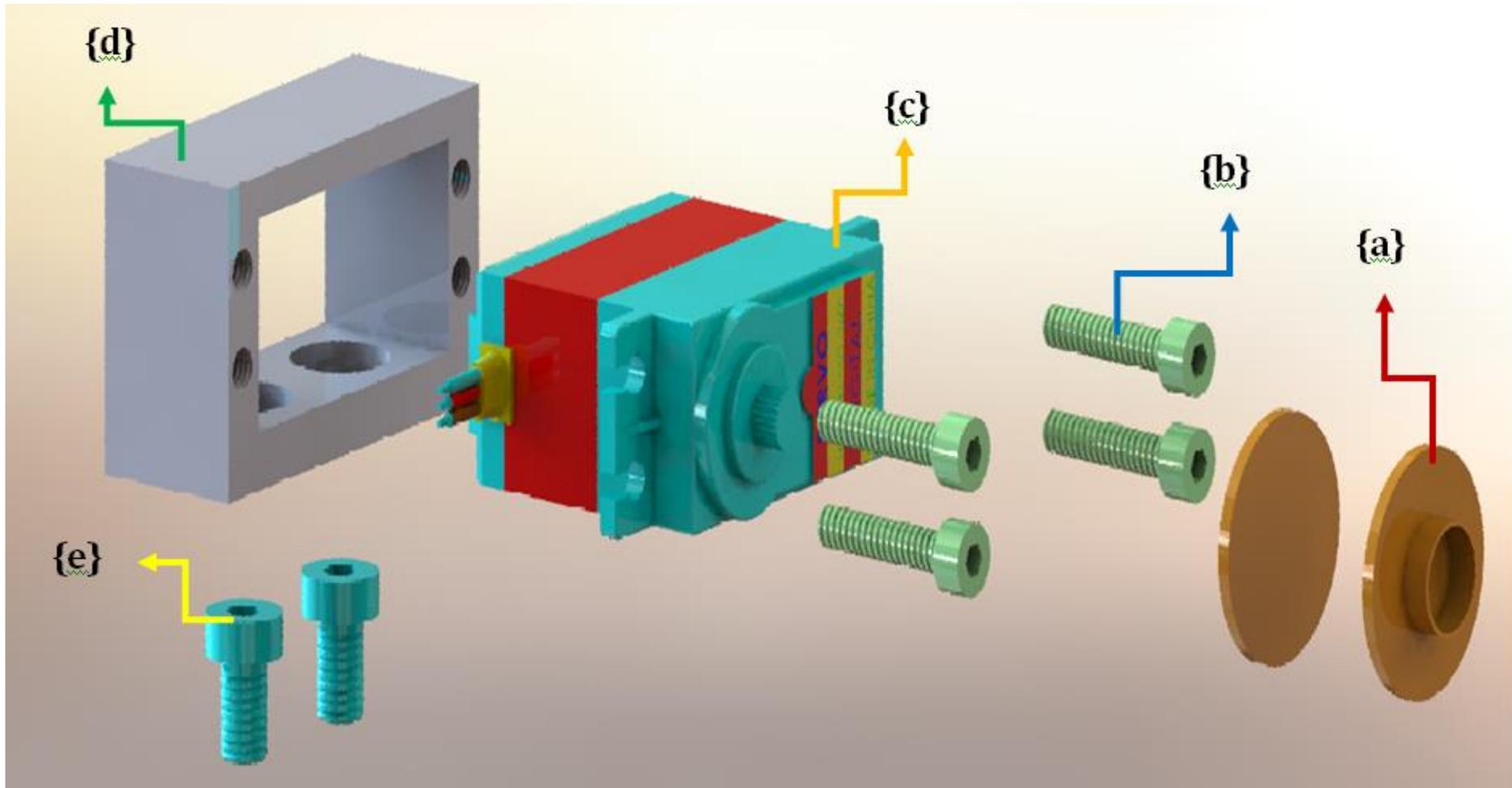


Figure II. 12: Vue éclatée du Partie servomoteur

➤ **Disque de Transmission Pour Axe {a}**

Le disque de transmission son role est de transmettre le mouvement à partir du disque du servomoteur à l'arbre de transmission

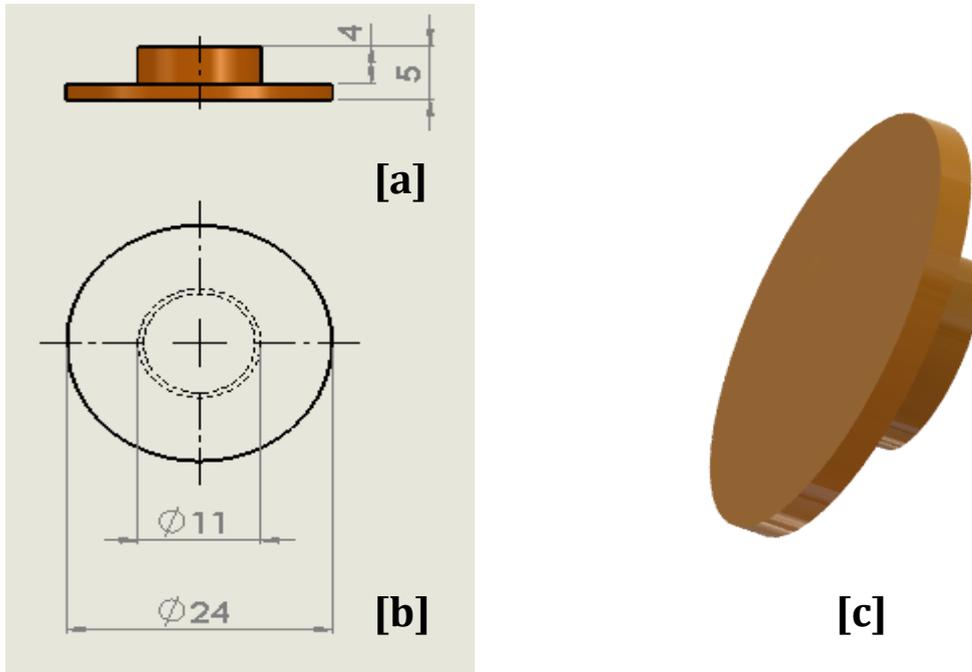


Figure II. 13 : Disque de Transmission Pour Axe
 [a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

➤ **Vis CHC M4/20 Pour Fixation De Servomoteur {b}**

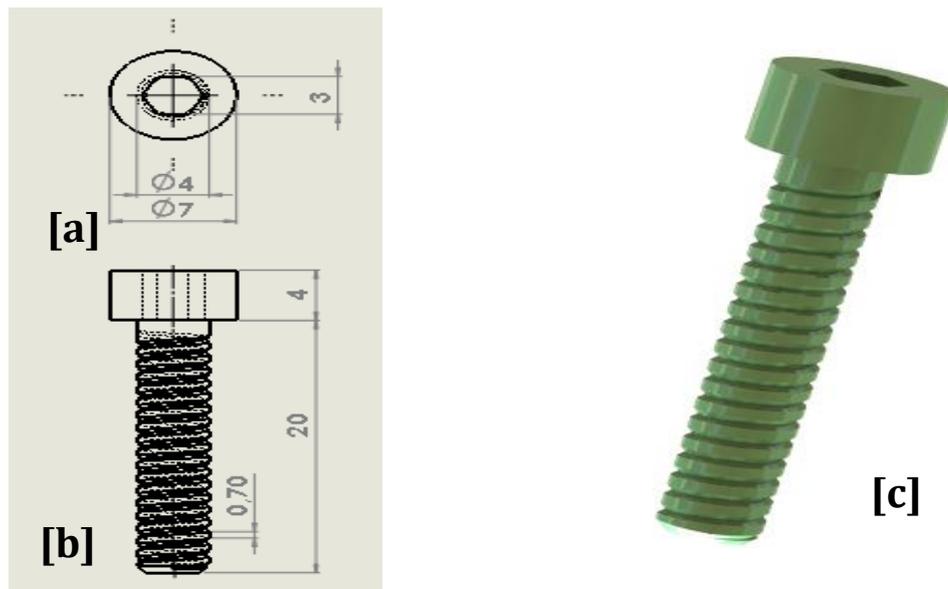


Figure II. 14 : Vis CHC M4-20 Pour Fixation De Servomoteur
 [a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

➤ Servomoteur{c}

Le servomoteur est l'organe responsable du mouvement dans le robot

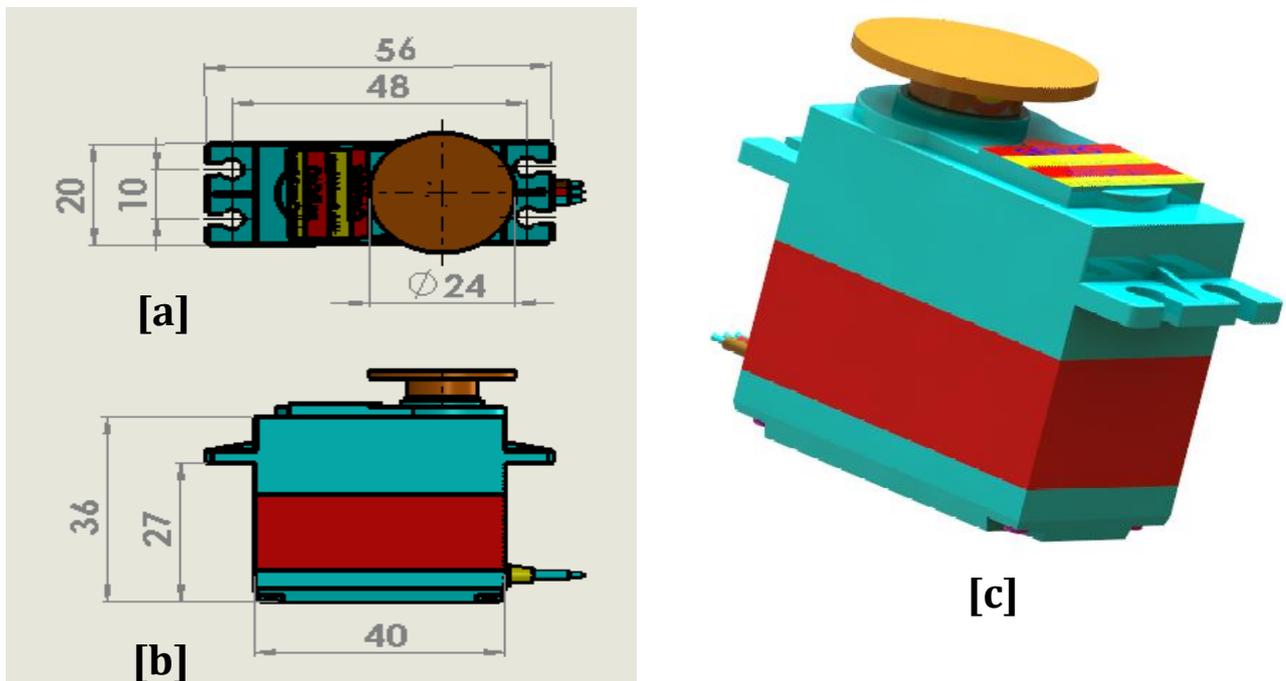


Figure II. 15 : Servomoteur

[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

➤ Support Servomoteur

Support servomoteur assure la fixation du servomoteur

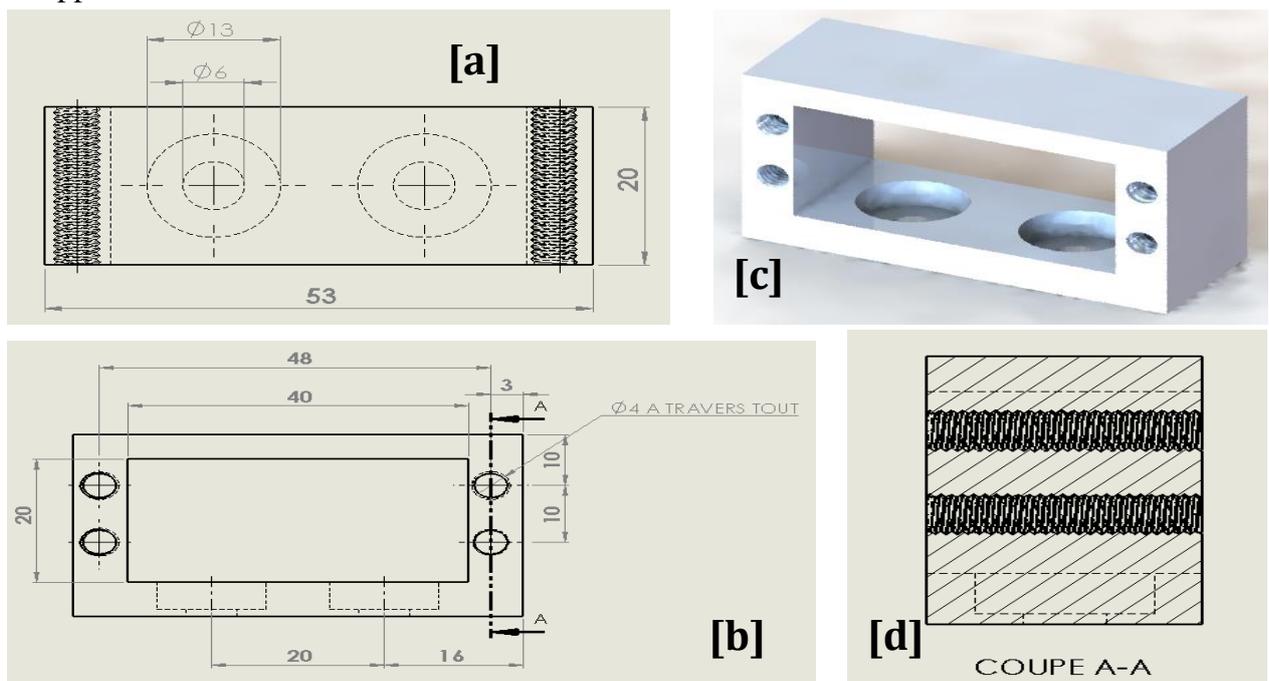


Figure II. 16 : Servomoteur

[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique, [d] : Vue de coupe

➤ **Vis CHC M6/10 Pour Fixation de Support {e}**

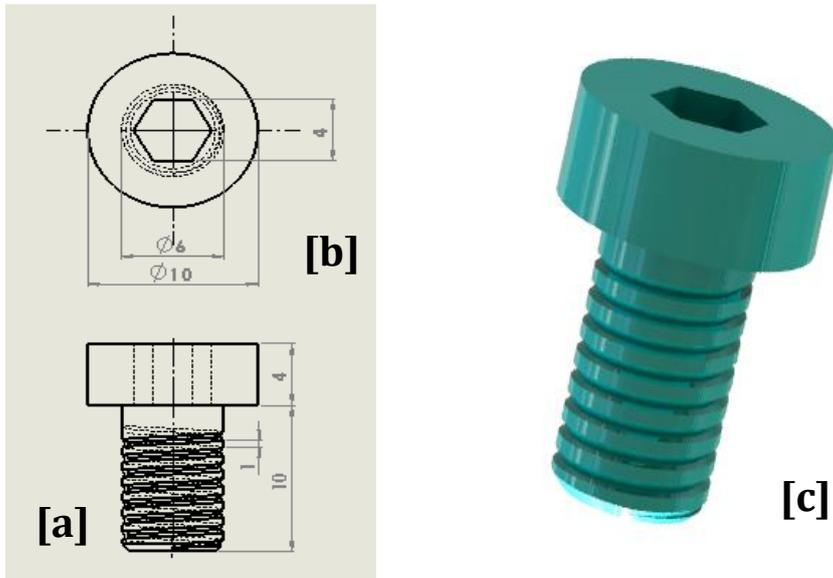


Figure II. 17 : Vis CHC M6-10 Pour Fixation de Support

[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

{D} : Poutre renforcé

➤ **Poutre en Composite**

Poutre composite son rôle est diminué les contraintes de flexion appliquée sur le châssis

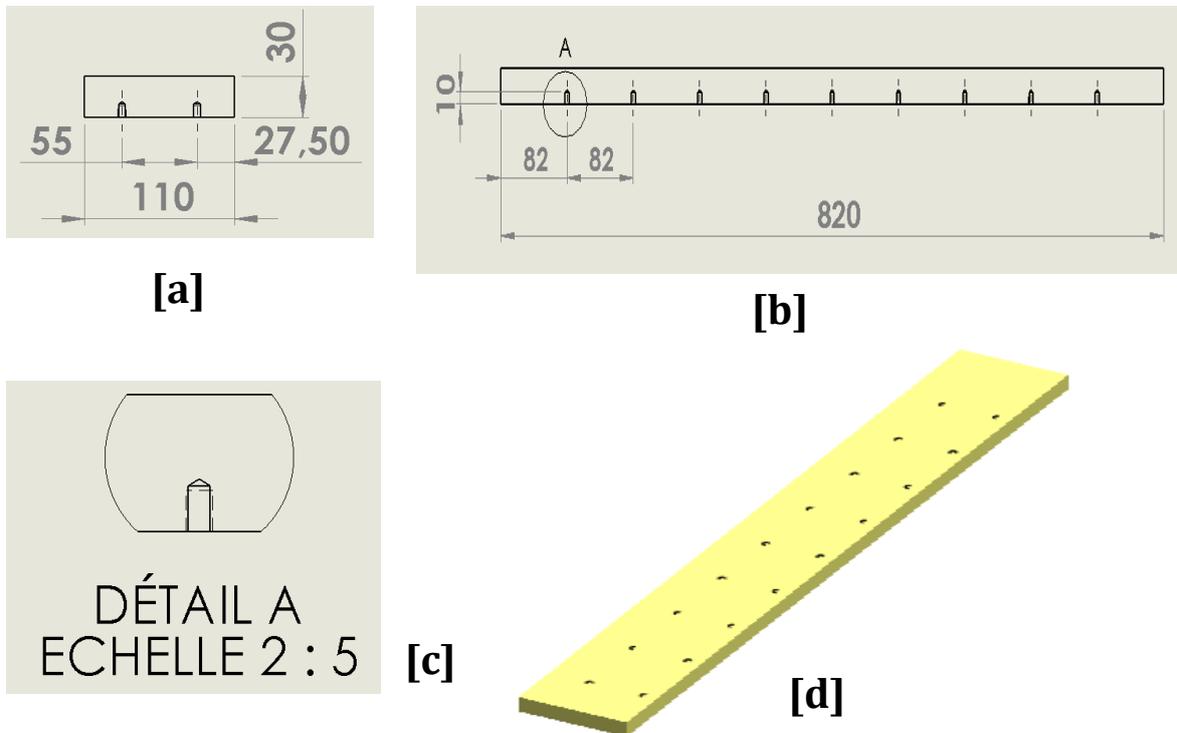


Figure II. 18 : Poutre en Composite

[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Détail, [d] : Vue Isométrique

➤ Vis CHC M6-14 Pour Fixation de Poutre

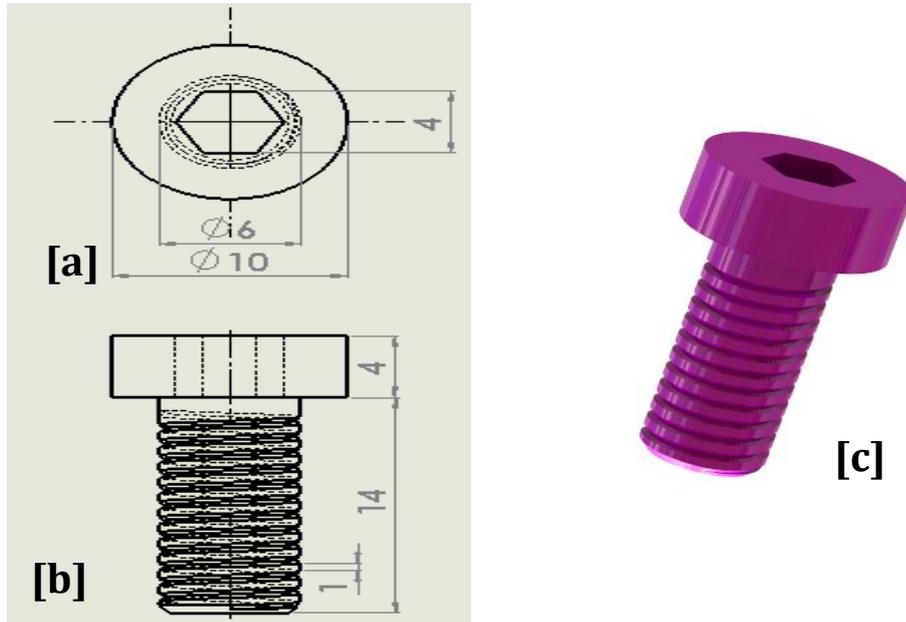


Figure II. 19 : Vis CHC M6-10 Pour Fixation de Support

[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

{G} : Châssis Inférieur

➤ La base

La base est la plaque inférieure sur la quelle sont posées et fixées les pièces du châssis

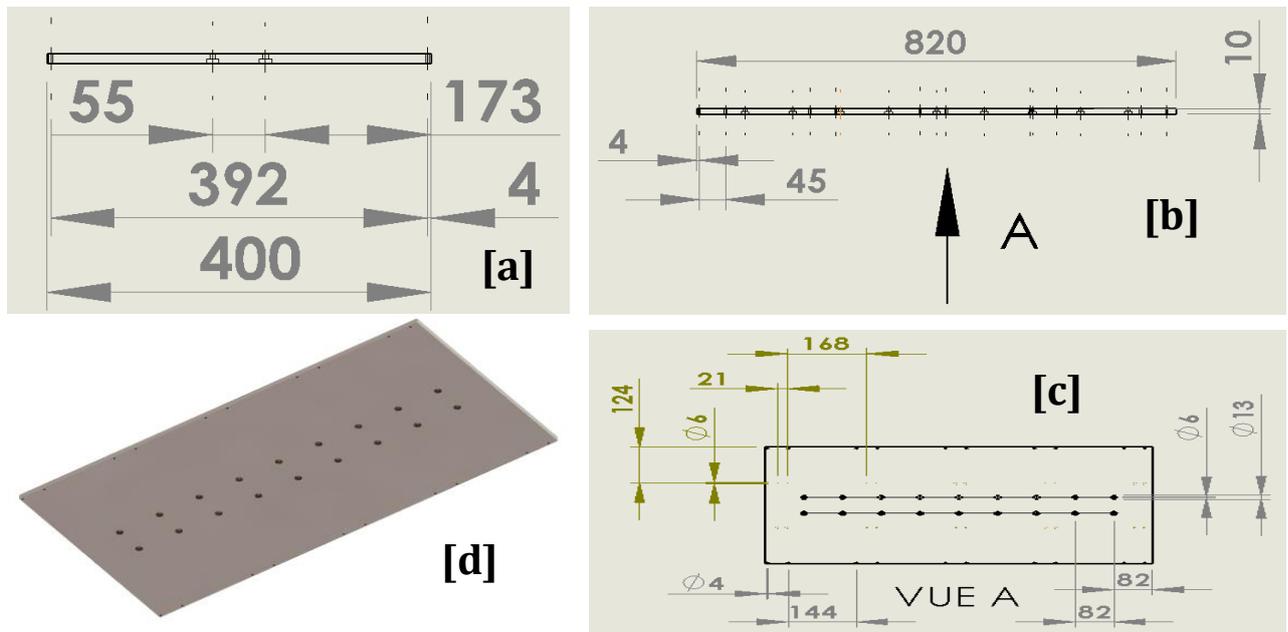


Figure II. 20 : La base

[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue A De Dessus, [d] : Vue Isométrique

➤ L'entourage

L'entourage est le couvert qui protège la partie inférieure du châssis

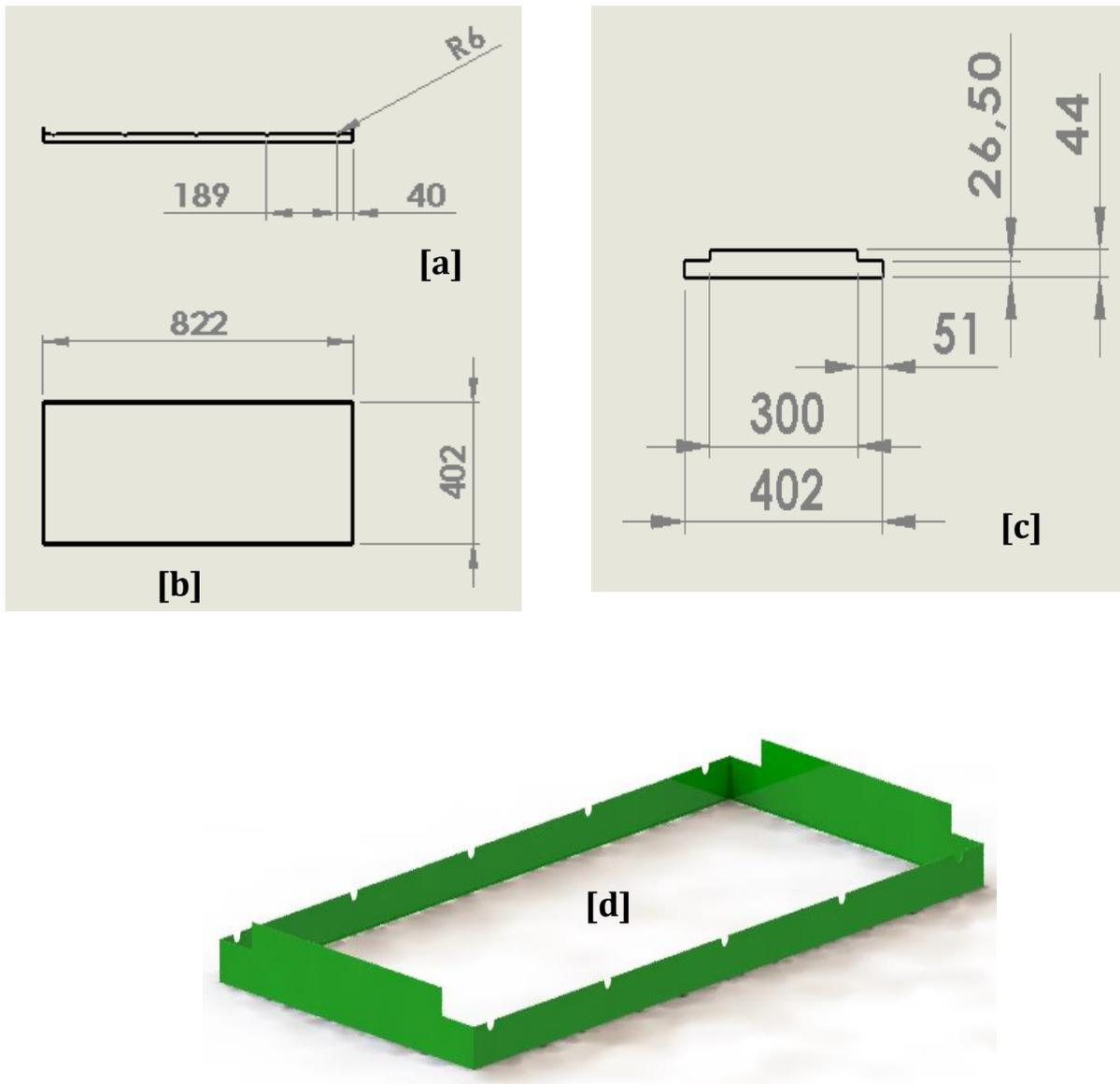


Figure II. 21 : l'entourage en plastique

[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Droite, [c] : Vue De Dessus, [d] : Vue Isométrique

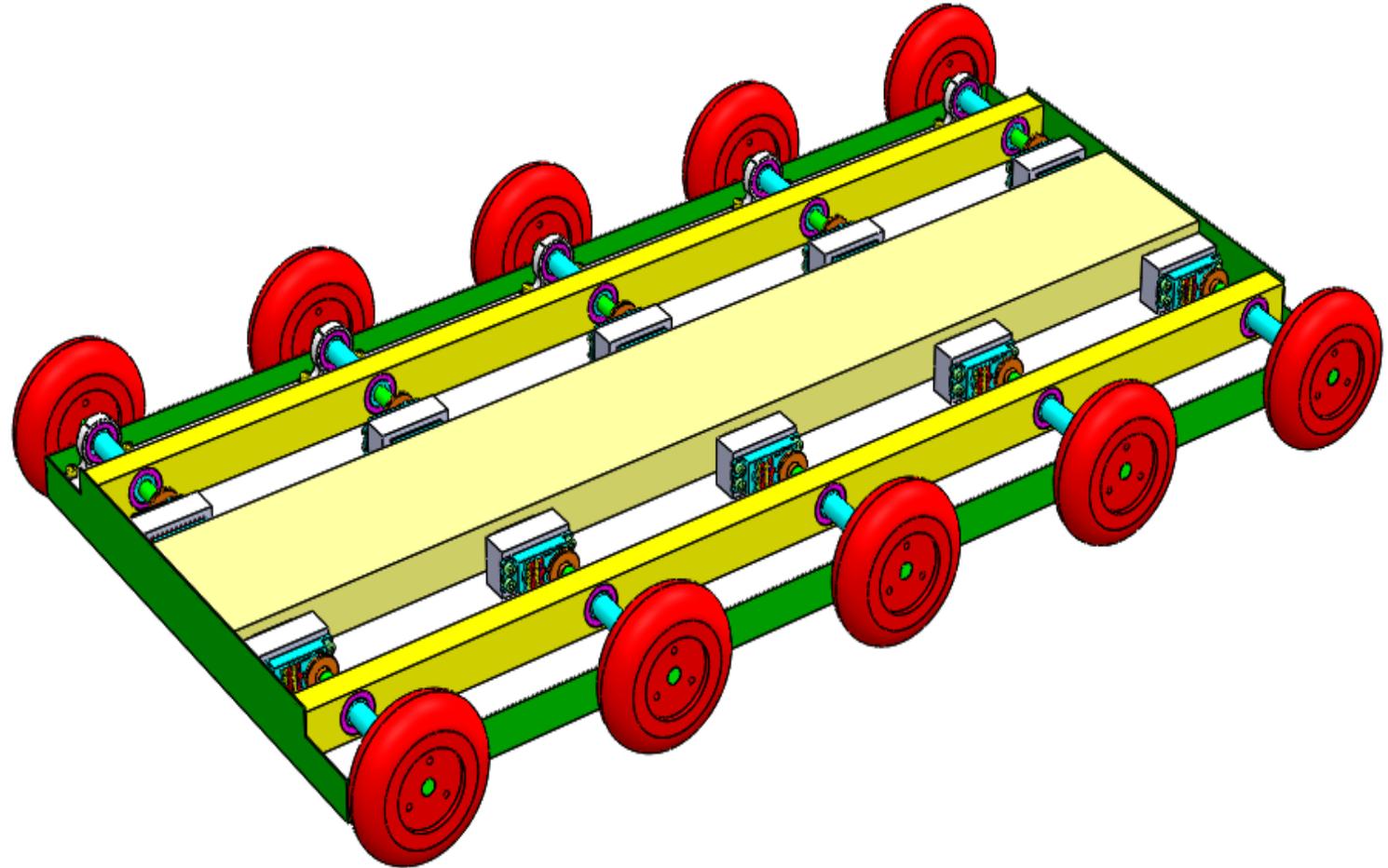


Figure II. 22 : Vue Isométrique du châssis de robot à 10 roues

2.4.5. Dessins de définition du deuxième modèle (châssis a 6 roues)

Notre deuxième modèle, on a change la poutre en composite par une poutre de renforcement en forme de Z et on a utilisé à la place du palier a semelle un palier long. Les autres changement sont dans le nombre de roues, des axe, des roulements...., et on a détaillé le changement dans le **Tableau II.2**

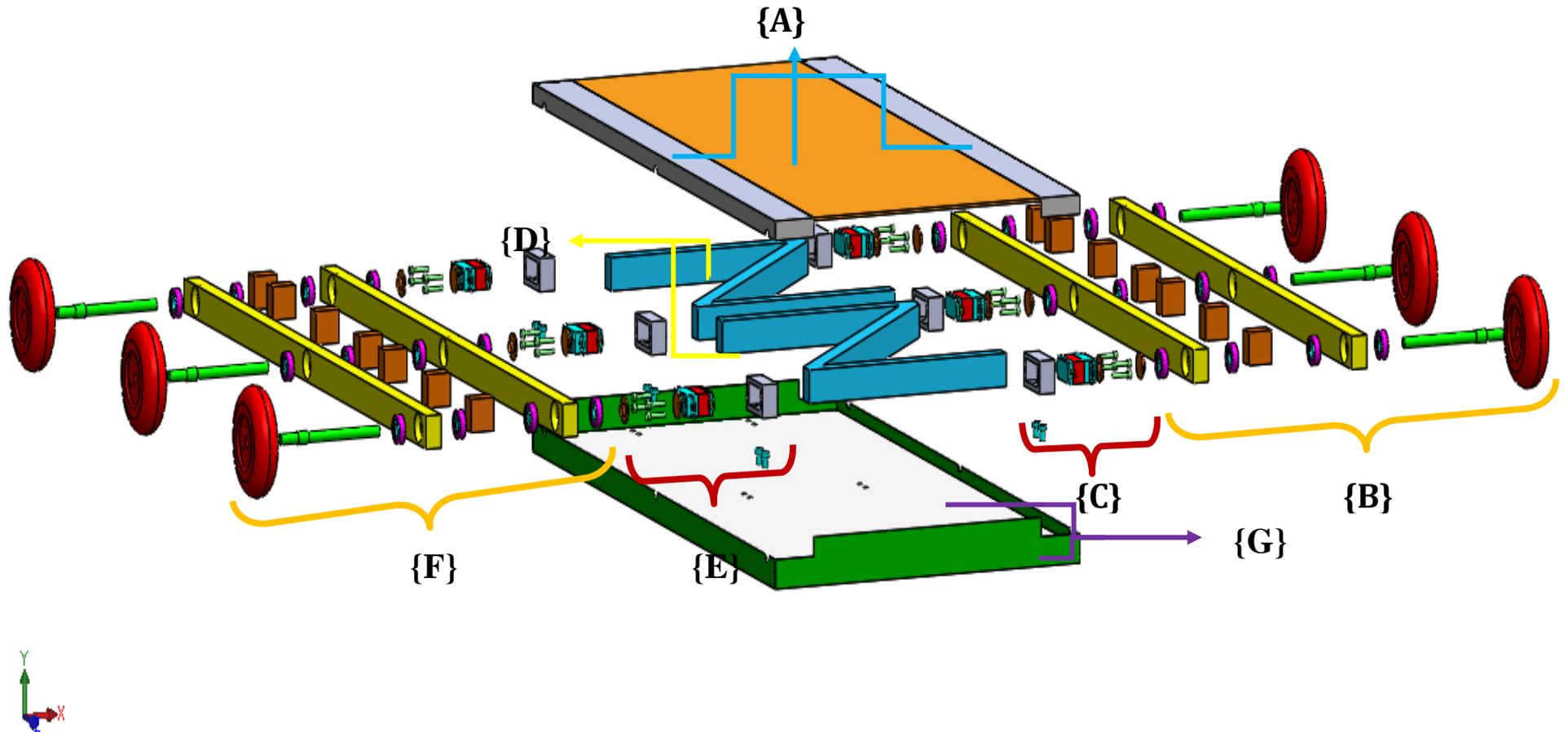


Figure II. 23: Vue éclatée du châssis à 6 roues

2.4.1. Nomenclature des composants utilisés dans le robot à 6 roues

Tableau II.2. Désignation des composantes du robot mobile à 6 roues

Désignation	Nom d'assemblage	Nom des pièce	Nombre de pièces	Matériaux
{A}	Châssis Supérieur	Plaque Supérieur	1	plastique
		La base	2	plastique
{B} - {F}	Partie gauche et droite	Roue	6	Polyéthylène
		Axe	6	Acier Standard
		Roulement	24	Acier Standard
		Pièce renforcé	14	Aluminium
		Palier longue	4	Aluminium
{C} - {E}	Partie servomoteur	Servomoteur	6	Polyéthylène
		Disque de Transmission Pour Servomoteur	6	Polyéthylène
		Disque de Transmission	6	Polyéthylène
		Support Servomoteur	6	Acier Standard
		Vis CHC M4/20 Pour Fixation De Servomoteur	24	Acier Standard
		Vis CHC M6/10 Pour Fixation de Support	12	Acier Standard
{D}	Poutre renforcé	Poutre de renforcement en forme Z	2	Aluminium
{G}	Châssis Inférieur	La base	1	Plastique
		L'entourage	1	Plastique

{B} - {F} : Partie gauche et droite

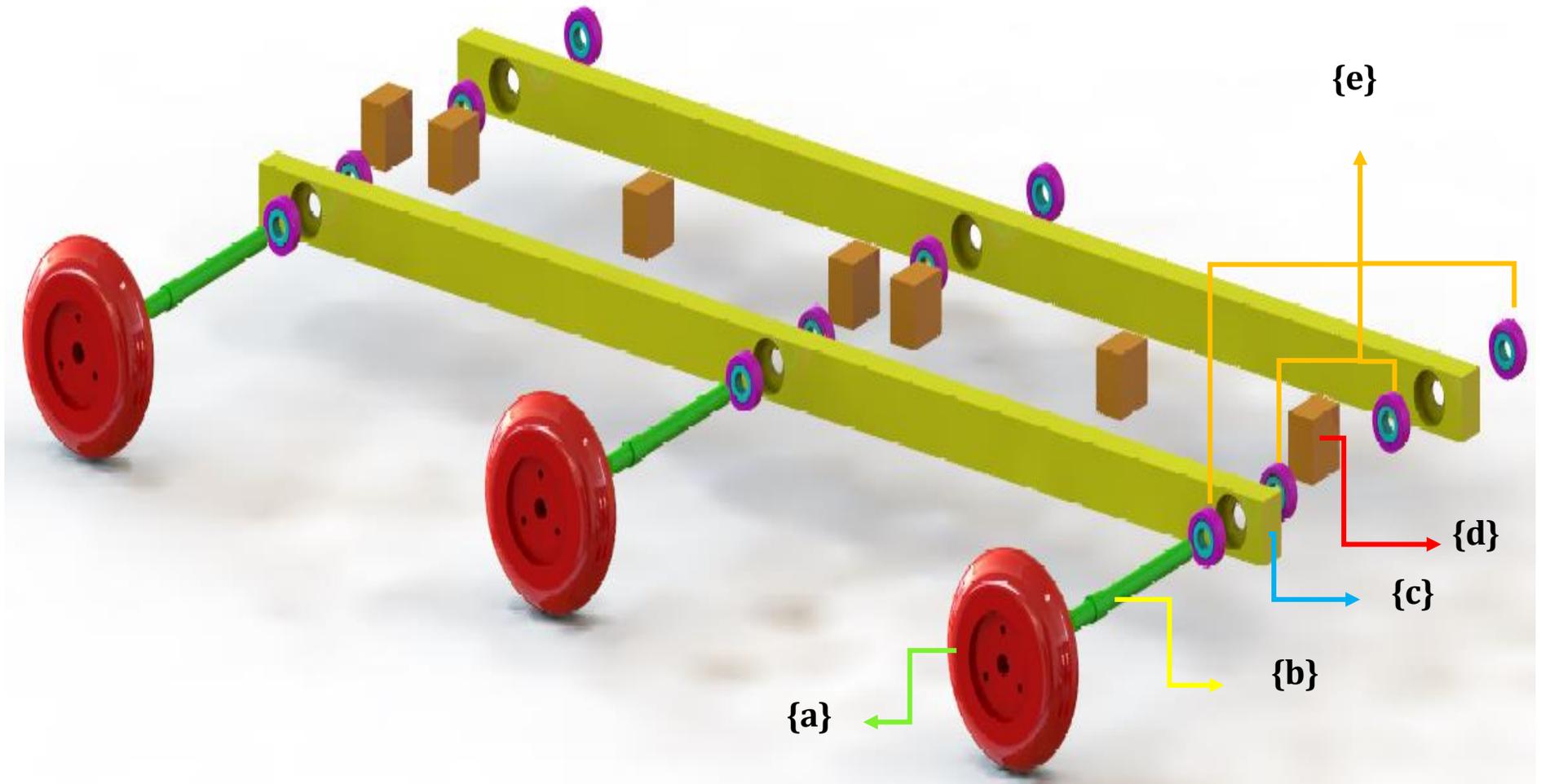


Figure II. 24: Vue éclate

➤ Palier longue {c}

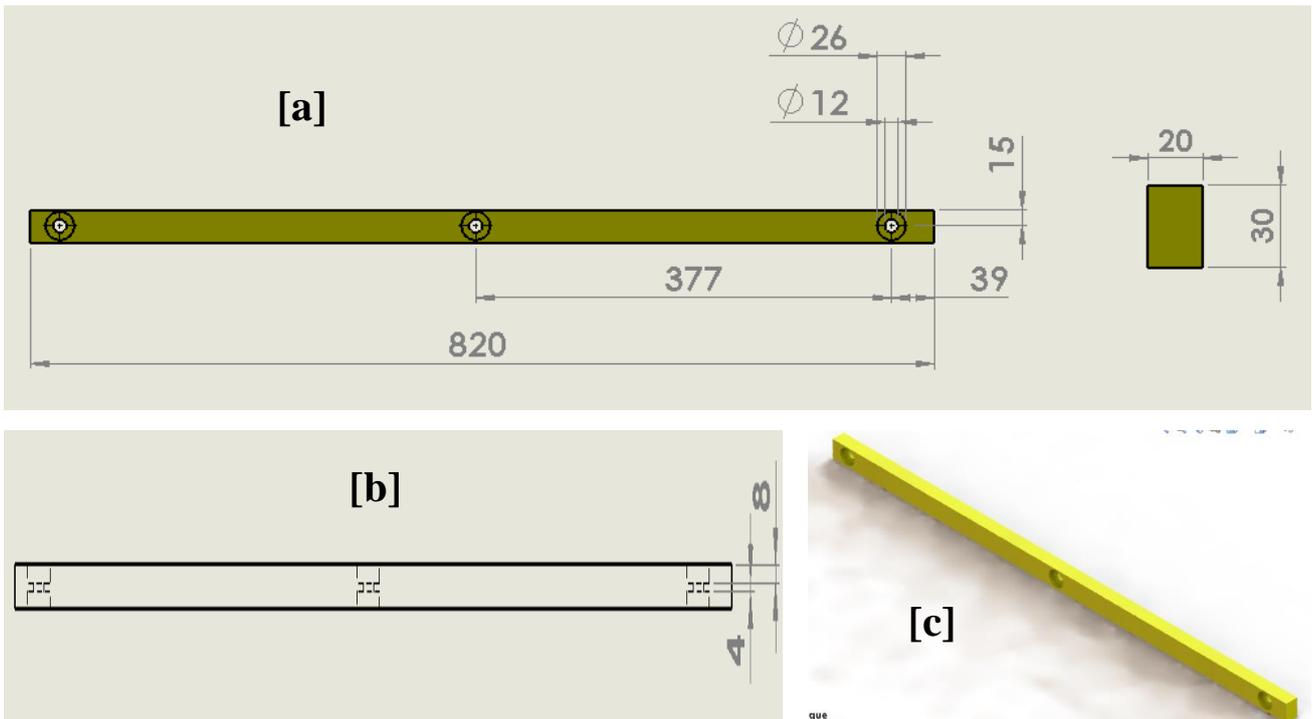


Figure II. 25 : Palier longue

[a] : Vue De Face, [b] : Vue De Gauche, [c] : Vue De Dessus, [d] : Vue Isométrique

➤ Pièce renforcé {d}

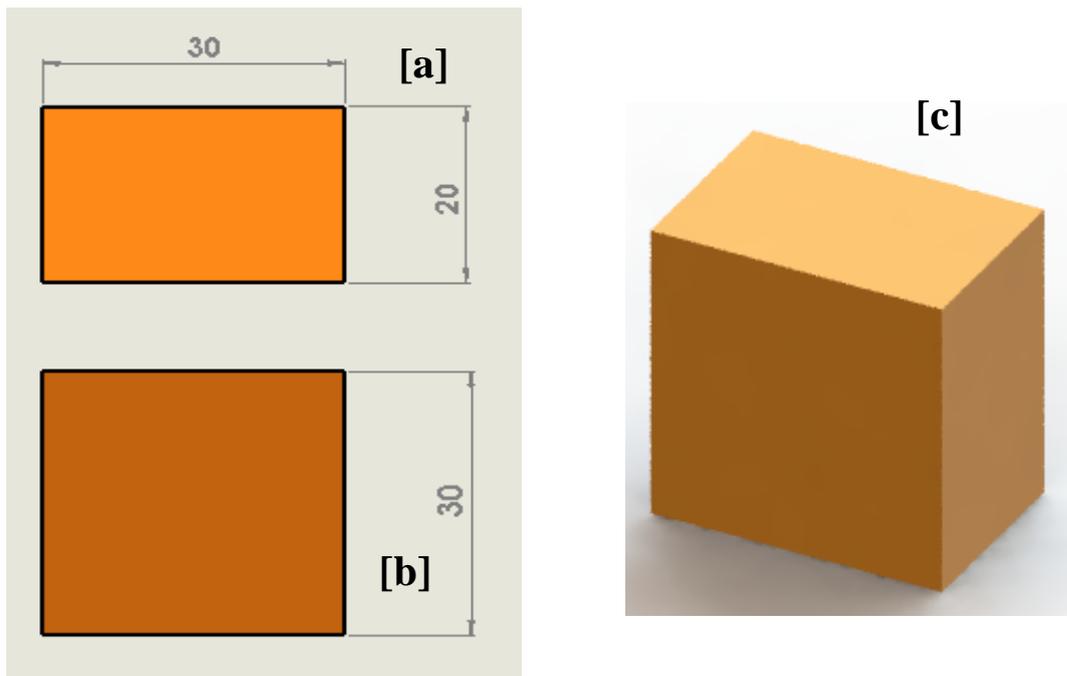


Figure II. 26 : Poutre renforcé

[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

➤ Poutre de renforcement en forme Z {D}

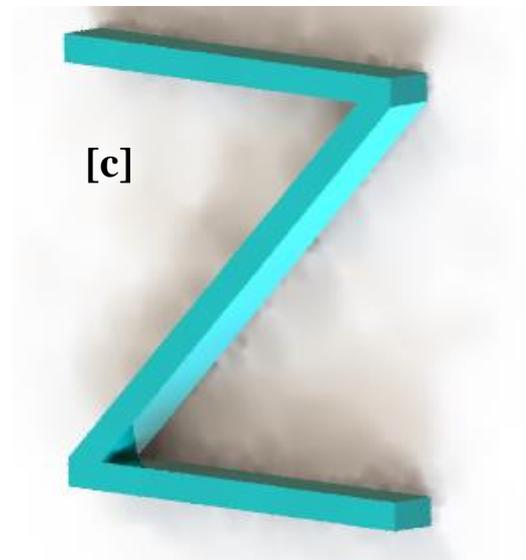
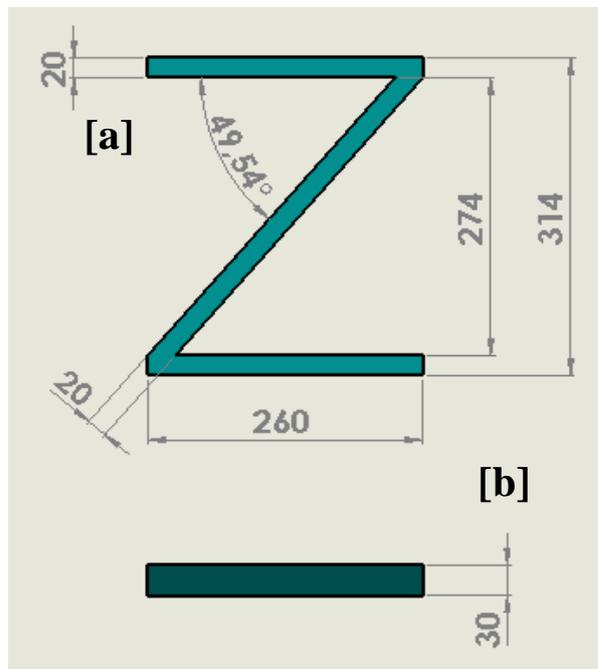


Figure II. 27 : Poutre de renforcement en forme Z

[a] : Vue De Dessous, [b] : Vue De Face, [c] : Vue Isométrique

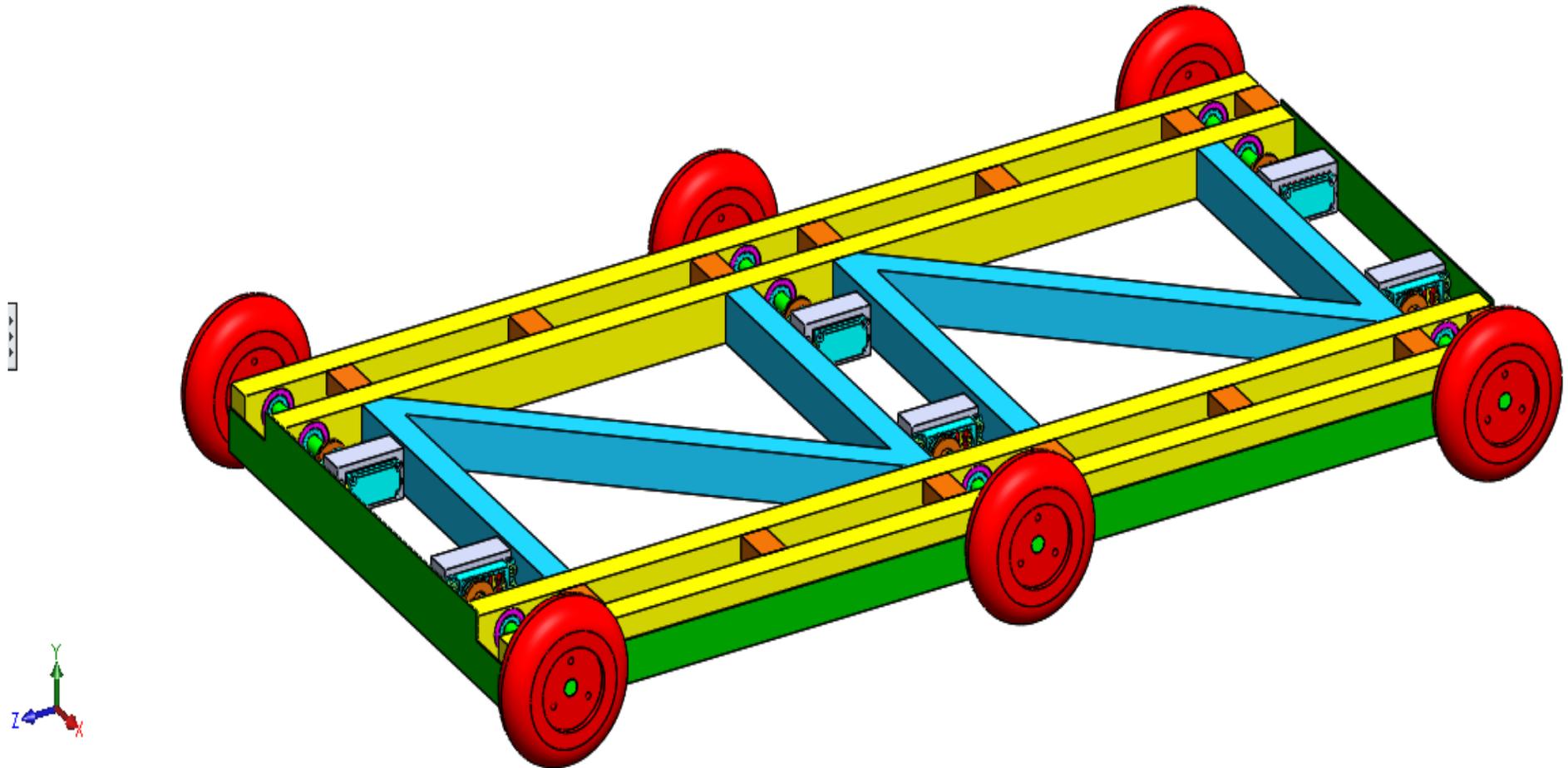


Figure II. 28 : Vue Isométrique du châssis de robot à 6 roues

2.5. Conclusion :

La conception est importante pour créer un modèle de châssis. Il est impératif de connaître son comportement aux contraintes mécaniques appliquées. L'analyse en utilisant la méthode des éléments finis est la meilleure solution pour vérifier sa résistance.

CHAPITRE III :

ÉTUDE ET ANALYSE D'UN FORCE CENTREE

APPLIQUEE SUR UN MODELE DE ROBOT

MOBILE

3.1. Introduction :

La prédiction du comportement mécanique du système de robot mobile est l'une des majeures problématiques de mécanique du robot. Une meilleure compréhension des mécanismes de déplacement d'un robot sous différentes charges et de la répartition des contraintes dans ce système est d'une importance fondamentale dans l'avancement des technologies dans les domaines des restaurations des robots mobiles [2]. Afin d'arriver à bout de cette analyse, nous proposons dans ce chapitre de caractériser les propriétés mécaniques du châssis supérieur et inférieur, des roues, de la poutre en composite, des axes de transmission, des servomoteurs, des disques de transmission, des supports du servomoteur, des vises d'assemblage, des roulements et des paliers longs. Les roues en plastique jouent un grand rôle dans la réduction des contraintes au niveau du robot mobile, et pour cette raison nous étudierons ces contraintes dans ce chapitre en créant quatre modèles tridimensionnels d'un robot mobile puis nous changerons le nombre de roues pour chaque modèle et cela afin d'obtenir un modèle de robot mobile qui peut supporter plus de stress et nous donner de meilleurs résultats.

L'objectif de ce chapitre est, de fournir une analyse entre une configuration géométrique du système de robot mobile, de trouver l'effet de nombre des roues, ensuite connaître le modèle le plus efficace d'un robot mobile qui soulèvera une charge de 15 kg des batteries posée sur la surface supérieure du châssis et enfin analyser la distribution des contraintes dans ce système en utilisant une simulation numérique 3D, basée sur les principes de la méthode des éléments finis.

3.2. MODELES ELASTIQUES LINEAIRES ISOTROPES DECRIVANT LE COMPORTEMENT DU ROBOT MOBILE

La loi de Hooke-Lamé décrit le comportement élastique linéaire isotrope d'un matériau indépendamment du temps.

Seuls deux paramètres sont nécessaires pour décrire un tel matériau : (i) le module d'élasticité ou module de Young, et (ii) le coefficient de Poisson. Rees et al [3] donnent un aperçu des modules d'élasticité et le coefficient de Poisson rapportés dans la littérature. La plupart des simulations sur la mobilité du robot mobile utilisent la loi de Hooke-Lamé pour décrire le comportement IVD. [4] [5].

Cependant, l'utilisation d'une telle loi suppose que les petites déformations, l'élasticité linéaire, l'homogénéité et l'isotropie, sont en contradiction avec le comportement des roues observé dans les expériences.

3.3. GEOMETRIE ET MODELE 3D DU ROBOT MOBILE

L'analyse des problèmes en mécanique du robot mobile comporte plusieurs étapes. La première consiste à étudier la forme en vue de définir la configuration géométrique de l'objet, ce qui permet la reconstitution du châssis supérieur et inférieur, du servomoteur, des axes de transmission du mouvement de rotation, des roues, en utilisant des programmes de CAO. Le résultat est un modèle géométrique 3D contenant plusieurs composantes qui ensuite vont être préparé pour une utilisation dans des analyses par éléments finis permettant l'étude de la répartition des contraintes dans le système voir **Figure III.1**.

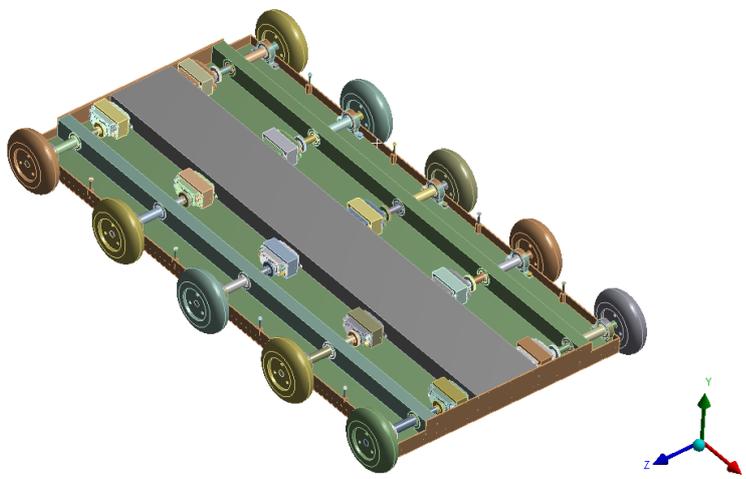


Figure III.1. Modèle 3D du robot mobile.

3.4. MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS D'UN ROBOT MOBILE

3.4.1. Introduction

La méthode des éléments finis (*F.E.M*), utilisée depuis une trentaine d'années, est appliquée à la modélisation des propriétés mécaniques des biomatériaux à partir de leur structure depuis quinze ans environ.

Cette méthode permet d'obtenir une approximation des solutions d'équations, d'équilibre de corps solides déformables soumis à des sollicitations d'origines diverses.

Les quantités mécaniques (déplacements, déformations, contraintes, ...etc.) liées à l'équilibre des solides et satisfaisant aux lois de la physique sont ainsi calculées en certains points du solide modélisé. L'échantillon d'étude devient alors une structure découpée en un nombre fini de sous-ensembles appelés éléments. Ces éléments sont constitués d'un nombre fini de points appelés « *nœuds* ». Les éléments sont interconnectés par les nœuds, généralement situés au milieu ou aux

sommets des arches constituant les éléments, comme le montre la **figure III. 2**, formant ainsi le maillage de la structure initiale. Il existe plusieurs types d'éléments pour les systèmes de modélisation en 3D : l'élément hexaédrique (brique) à 8 nœuds et l'élément tétraédrique à 10 nœuds par exemple.

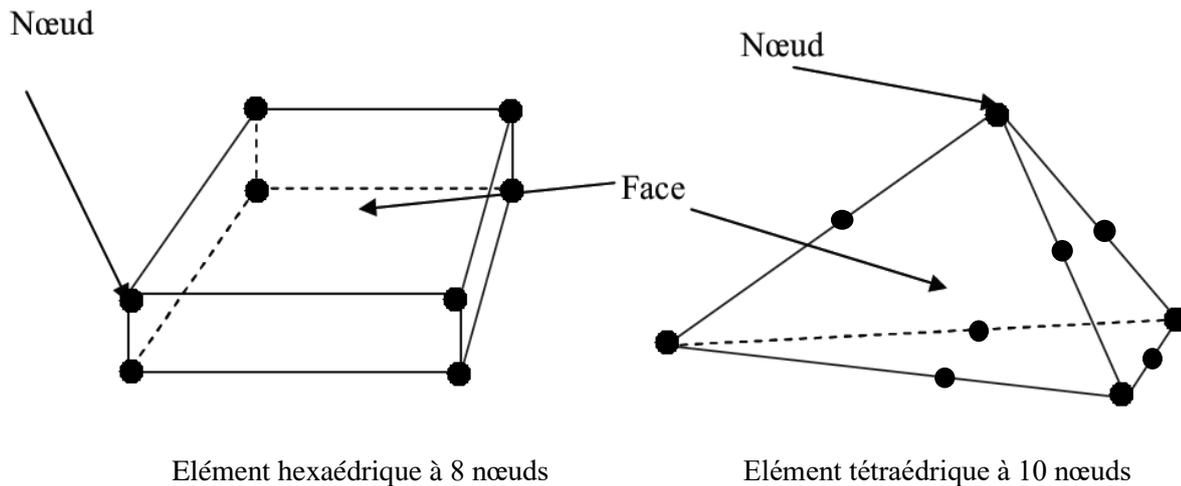


Figure III. 2. Exemple de deux géométries 3D d'éléments utilisés pour la méthode des éléments finis.

Les calculs mathématiques sont effectués uniquement aux nœuds. Après avoir calculé l'équilibre de chaque élément, l'équilibre global du solide, sous un chargement donné, est approché en sommant les contributions de chaque élément et en tenant compte des conditions aux limites qui lui sont imposées.

Les principaux logiciels d'analyse par éléments finis sont *ABAQUS*[®], *ANSYS*[®], *COSMOS*[®], *MSC PATRAN*[®], ...etc. Ce sont des logiciels des éléments finis généralistes qui traitent d'un très grand nombre d'applications en mécanique des solides, et qui ont été utilisés par plusieurs auteurs pour la modélisation mécanique.

Ce chapitre sera d'abord consacré à l'analyse statique du robot mobile modélisé dans le chapitre précédent, ainsi qu'à l'ensemble des méthodes récentes associées à la génération de ces modèles : maillage, attribution des propriétés des matériaux et définition des conditions de chargement, validation du modèle.

3.4.2. Application aux modèles numériques

Dans des conditions de chargement statique, le robot mobile reconstruit est utilisé dans une analyse permettant d'étudier le rôle des roues, du châssis en AL6061, de la poutre long en composite et de la répartition des contraintes dans ces composants ainsi que dans ses structures d'appui. Préparant ce robot pour une analyse par éléments finis, ce système est utilisé comme un moyen d'effectuer une analyse des contraintes.

3.4.3. Définition du problème

Tous les problèmes statiques en mécanique des solides peuvent généralement être définis par les trois points principaux suivants :

- ❖ La géométrie des composants.
- ❖ Le comportement mécanique de ces composants.
- ❖ Les conditions aux limites.

3.4.4. Conditions aux limites

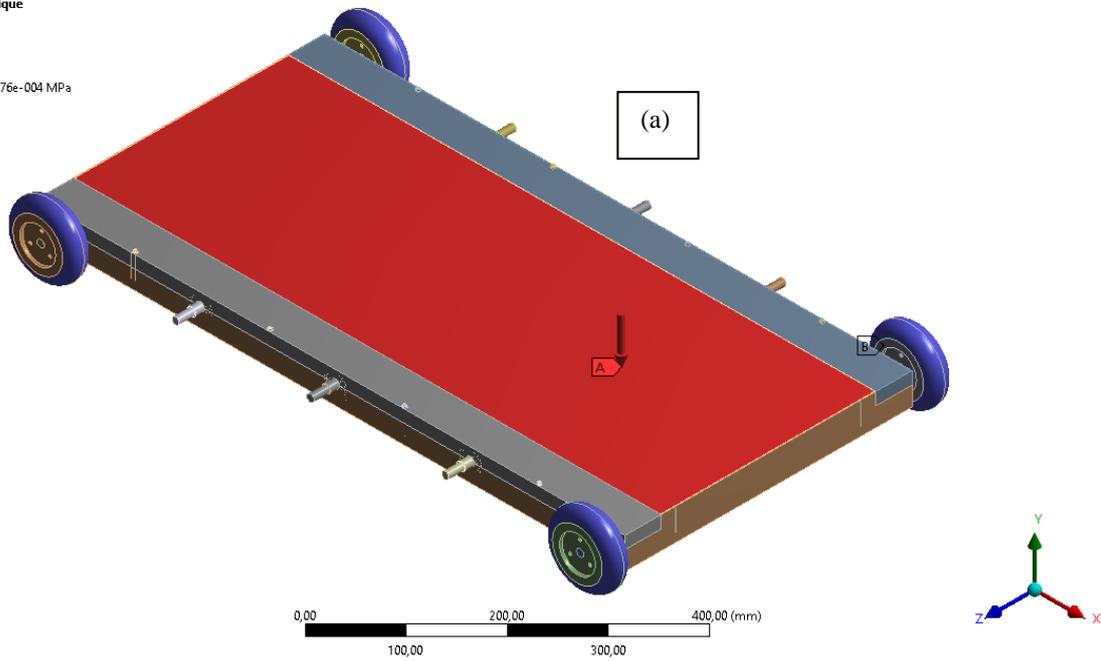
Afin de définir les conditions aux limites, une restriction sur les mouvements de translation et de rotation dans le robot mobile a été appliquée dont le plan inférieur est défini en tant qu'ayant des déplacements nuls. Une charge de compression a été appliquée de la manière suivante :

- ✚ L'application de la charge de compression sur la face supérieure du châssis supérieur du robot mobile ceci mentionnée dans la **Figure III. 3** et **Figure III. 4**.
- ✚ La partie fixe appliquée sur les roues ceci mentionnée dans la **Figure III. 3** et **Figure III. 4**.

3.5. Les différents cas des modèles de chargement

A: Structure statique
 Structure statique
 Temps: 1, s
 28/10/2020 14:22

A Pression: 6,0976e-004 MPa
 B Support fixe



A: Structure statique
 Structure statique
 Temps: 1, s
 28/10/2020 14:29

A Pression: 6,0976e-004 MPa
 B Support fixe

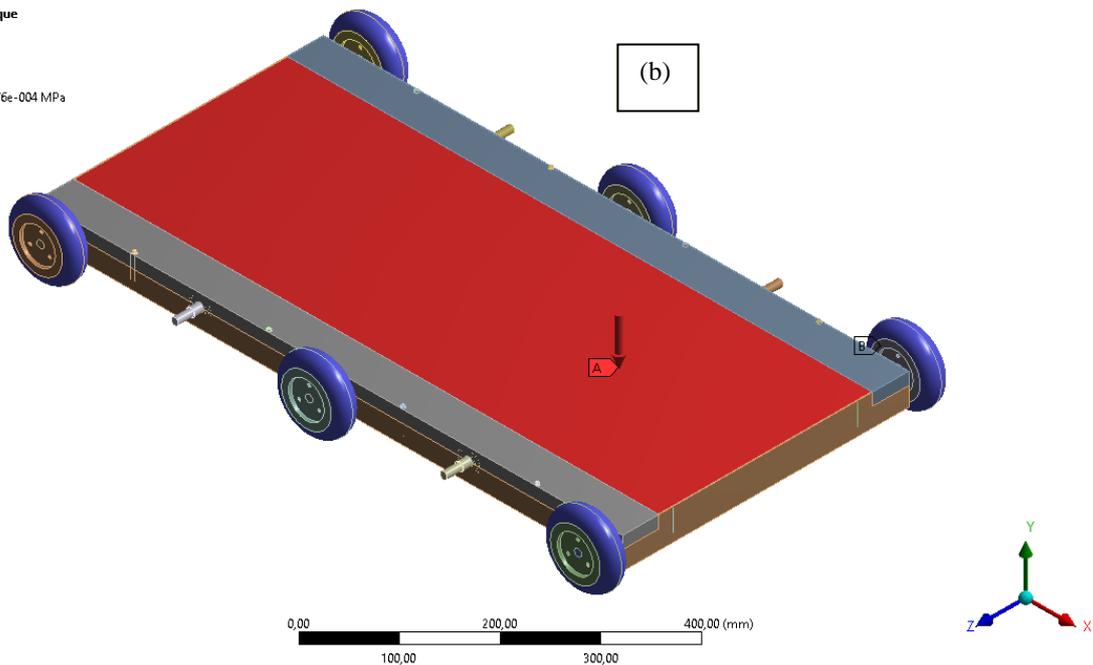


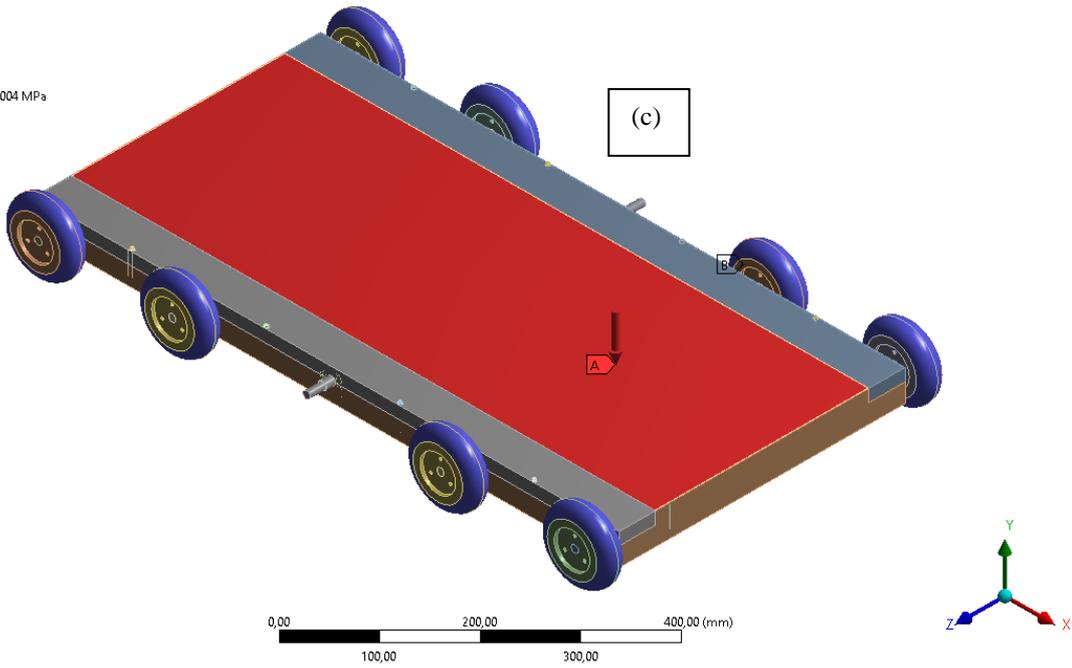
Figure III. 3. Modèle mécanique de robot mobile et les conditions aux limites.

(a) : 4roues, (b) : 6roues.

A: Structure statique

Structure statique
Temps: 1, s
28/10/2020 14:33

- A: Pression: 6,0976e-004 MPa
- B: Support fixe



A: Structure statique

Structure statique
Temps: 1, s
28/10/2020 14:36

- A: Pression: 6,0976e-004 MPa
- B: Support fixe

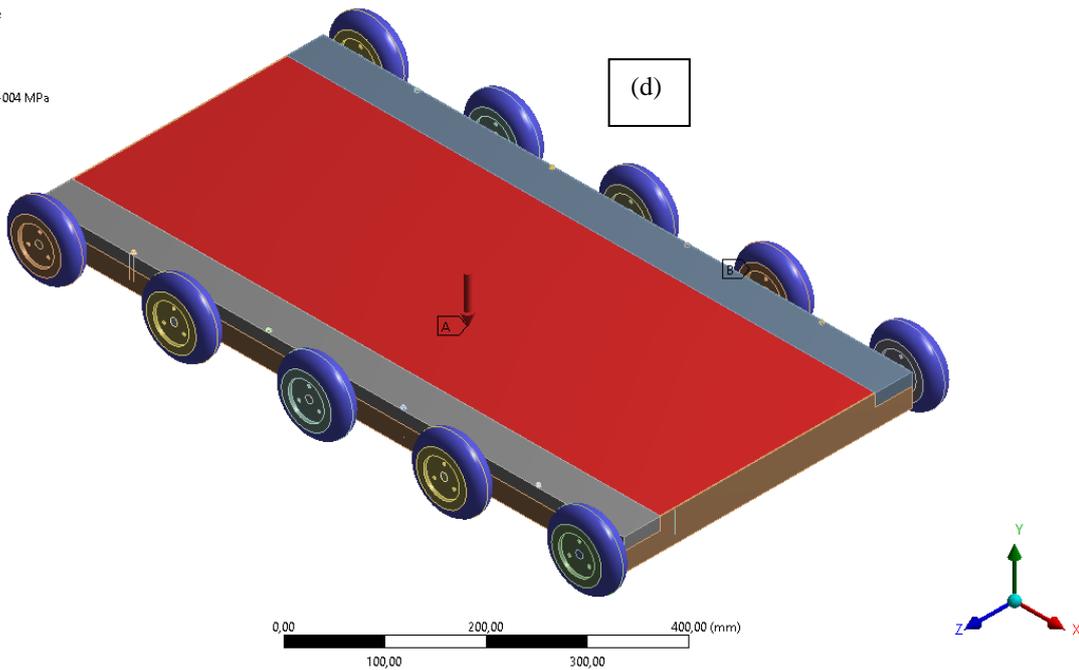


Figure III. 4. Modèle mécanique de robot mobile et les conditions aux limites.

(a) : 8roues, (b) : 10roues.

3.6. ÉTATS DE L'INTERFACE

Les interfaces entre les différentes composantes du système de robot mobile, à savoir, châssis supérieur et inférieur, support servomoteur, servomoteur, roulement, palier à semelles, poutre en composite, palier long en AL6061 et les vises sont traitées comme des interfaces parfaitement collées.

3.7. SELECTION DES EQUATIONS CONSTITUTIVES

3.7.1. Châssis supérieur et inférieur

La sélection des équations constitutives du châssis supérieur et inférieur est définie comme un **matériau** isotrope, élastique linéaire et homogène avec un module d'Young de l'ordre de 1100 MPa et coefficient du poisson $\nu = 0.42$.

3.7.2. Les roulements, les axes, les supports et les vises

Il est reconnu que les roulements, les axes et les vises d'assemblage présentent de meilleures capacités de charge que le châssis supérieur et inférieur, le matériau de ces éléments considéré comme un matériau isotrope, élastique linéaire et homogène avec un module d'Young de l'ordre de 2.10^5 MPa et coefficient du poisson $\nu = 0.3$.

3.7.3. Poutre en composite

La sélection des équations constitutives de poutre en composite comme décrite précédemment, la poutre en composite est principalement constituée de deux matériaux principaux : la résine plus les fibres. Ces matériaux sont intrinsèquement anisotropes et élastiques non linéaires, les paramètres mécaniques de ces matériaux sont présentés dans le **Tableau III.1**

3.7.4. Palier long en AL6061

Le comportement du palier long est élastique-linéaire. Comme dans des études antérieures [14], une loi élastique linéaire est choisie pour représenter ce comportement, les paramètres mécaniques de Palier long sont donnés dans le **Tableau III.1**.

3.7.5. Palier à semelle en fonte grise

Le comportement du Palier à semelle est élastique-linéaire. Comme dans des études antérieures [14], une loi élastique linéaire est choisie pour représenter ce comportement, les paramètres mécaniques de Palier à semelle sont donnés dans le **Tableau III. 1**.

3.8. Propriétés des matériaux utilisés dans l'étude

Les propriétés des matériaux utilisés dans cette étude sont montrées dans le **Tableau III. 1**.

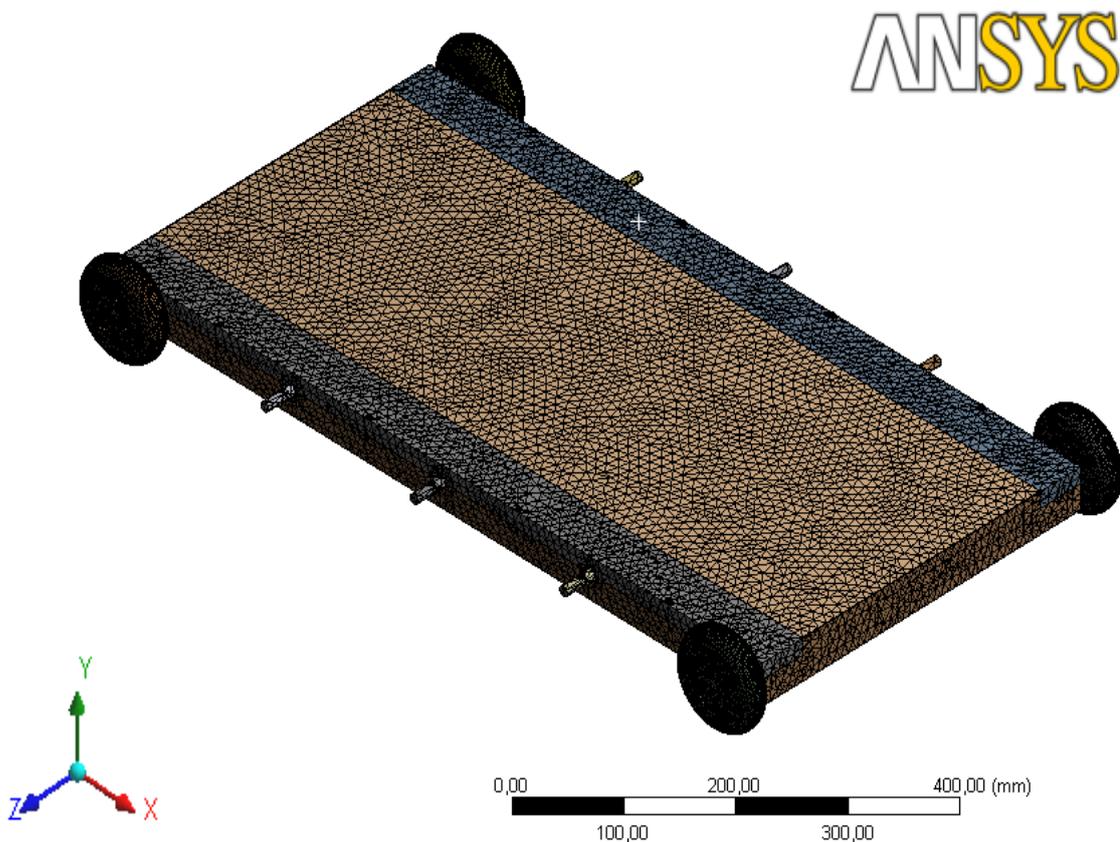
Tableau III. 1. Les propriétés mécaniques du robot mobile.

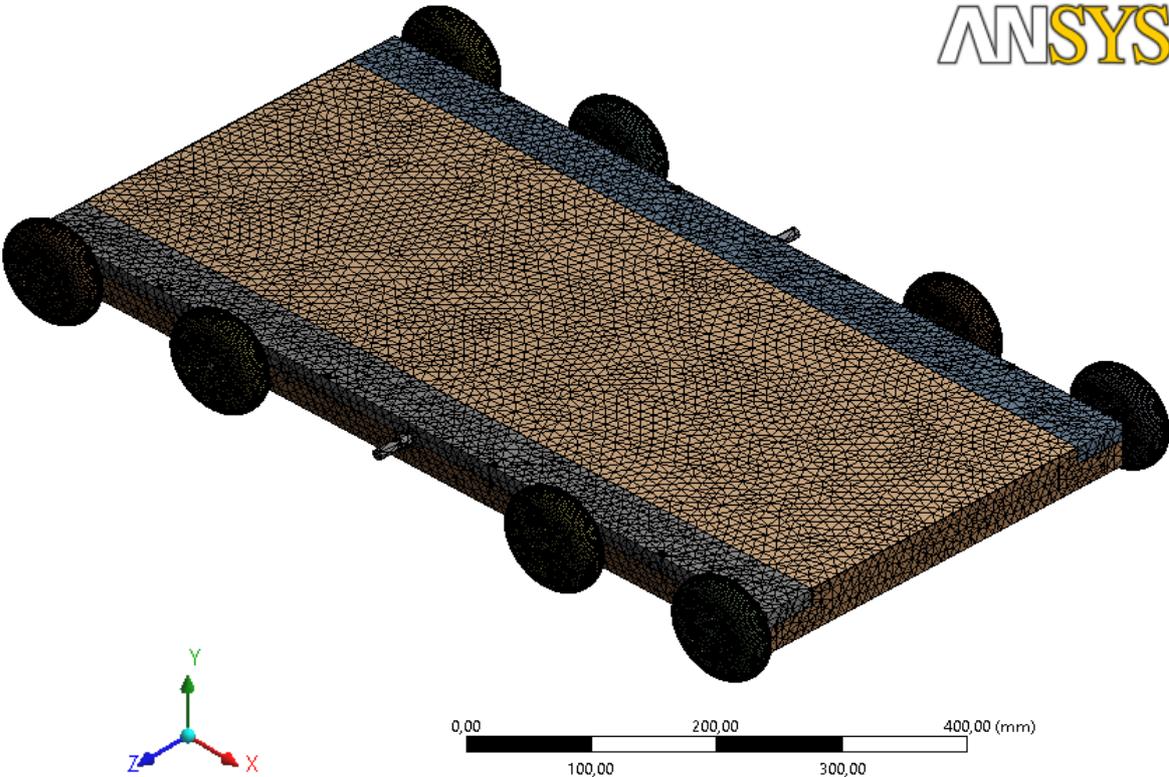
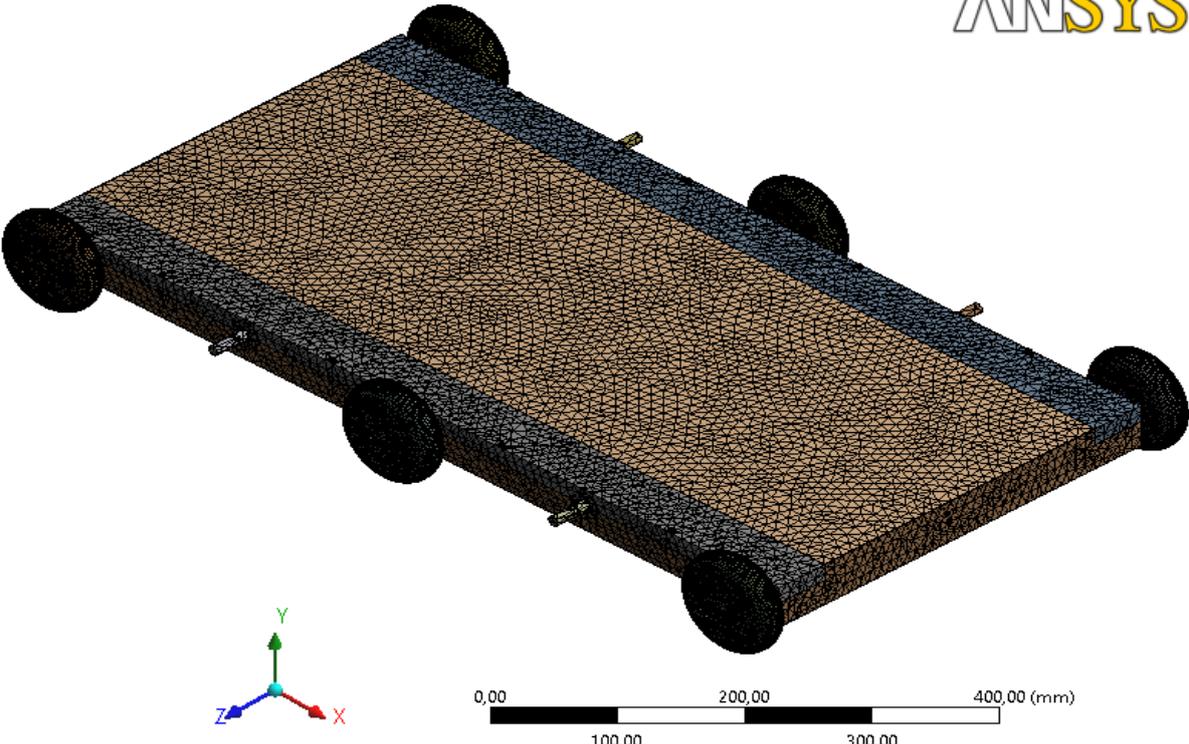
Composante	Module Élastique (E) (MPa)	Coefficient de Poisson	Matériau
châssis supérieur	1100	0.42	polyéthylène
châssis inférieur	1100	0.42	polyéthylène
Servomoteur	1100	0.42	polyéthylène
Disque de transmission	1100	0.42	polyéthylène
Les roulements	2.10 ⁵	0.3	Acier standard
Les supports Servomoteur	2.10 ⁵	0.3	Acier standard
Les vis	2.10 ⁵	0.3	Acier standard
Les axes	2E+05	0.3	Acier standard
Poutre en composite	$E_x = 209000$ $E_y = 9450$ $E_z = 9450$ $G_{xy} = 5500$ $G_{yz} = 3900$ $G_{xz} = 5500$	$V_{xy} = 0.27$ $V_{yz} = 0.40$ $V_{xz} = 0.27$	Epoxy Carbon UD (395 GPa) Prepreg
Palier A Semelle	1.1E+05	0.28	Fonte grise
Palier Long	71000	0.33	Aluminium

3.9. MAILLAGE 3D PAR ELEMENTS FINIS DE ROBOT MOBILE

Le logiciel *ANSYSWORKBENCH* dispose d'un puissant mailleur automatique, pouvant analyser la géométrie et générer le maillage le plus adapté. Pour le comportement étudié, nous avons utilisé des éléments tétraédriques, de type Solid187, conforme aux surfaces paramétriques définies (Figure III. 5 et 6).

Le maillage des composants est simple et se compose d'éléments linéaires tétraèdres à 10 nœuds (Figure III. 5 et 6). Puisque les roues, les paliers long et le châssis les plus importantes contraintes et déformations sous un chargement différent, il est donc nécessaire de mailler les composantes du robot mobile avec des éléments petits et confondus (Figure III. 5 et 6) afin d'assurer une précision optimale dans les calculs. Par conséquent, on peut évaluer les résultats des contraintes et déformations dans les composants de ce mécanisme.





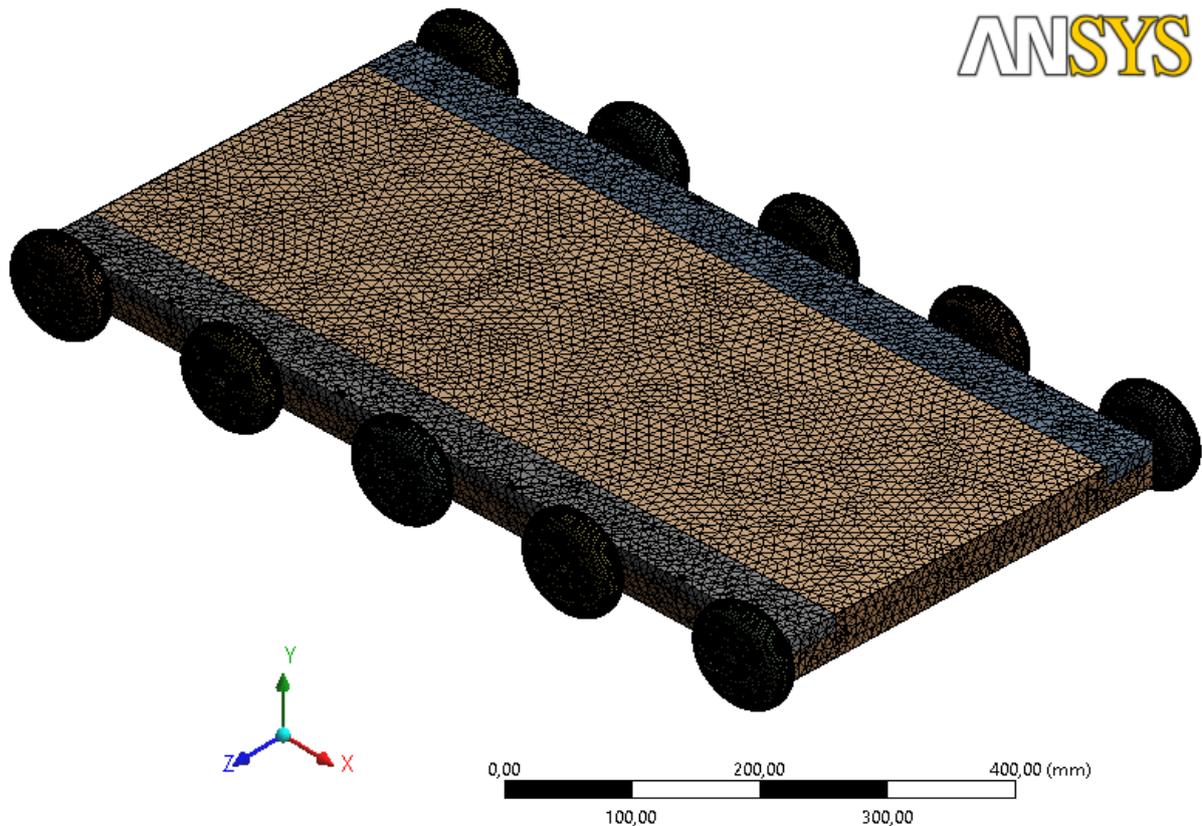


Figure III. 6. Maillage global de l'ensemble.

La simulation numérique des roues en polyéthylène, poutre en composite, roulements, palier roulement et palier long en aluminium 6061 est fondée sur un modèle d'éléments finis de robot mobile. Le modèle de robot mobile se compose de deux châssis supérieur et inférieur, dix servomoteurs, 10 supports servomoteurs, des vis d'assemblage CHC-M4 et CHC-M6, poutre en composite, deux palier long, 30 roulements BC, 10 paliers à semelles en font grise, 10 axes et disques de transmission de mouvement de rotation plus 10 roues en polyéthylène ces sont montraient dans la **Figure. III.6.**

3.9.1. Maillage des différents composants du système de robot

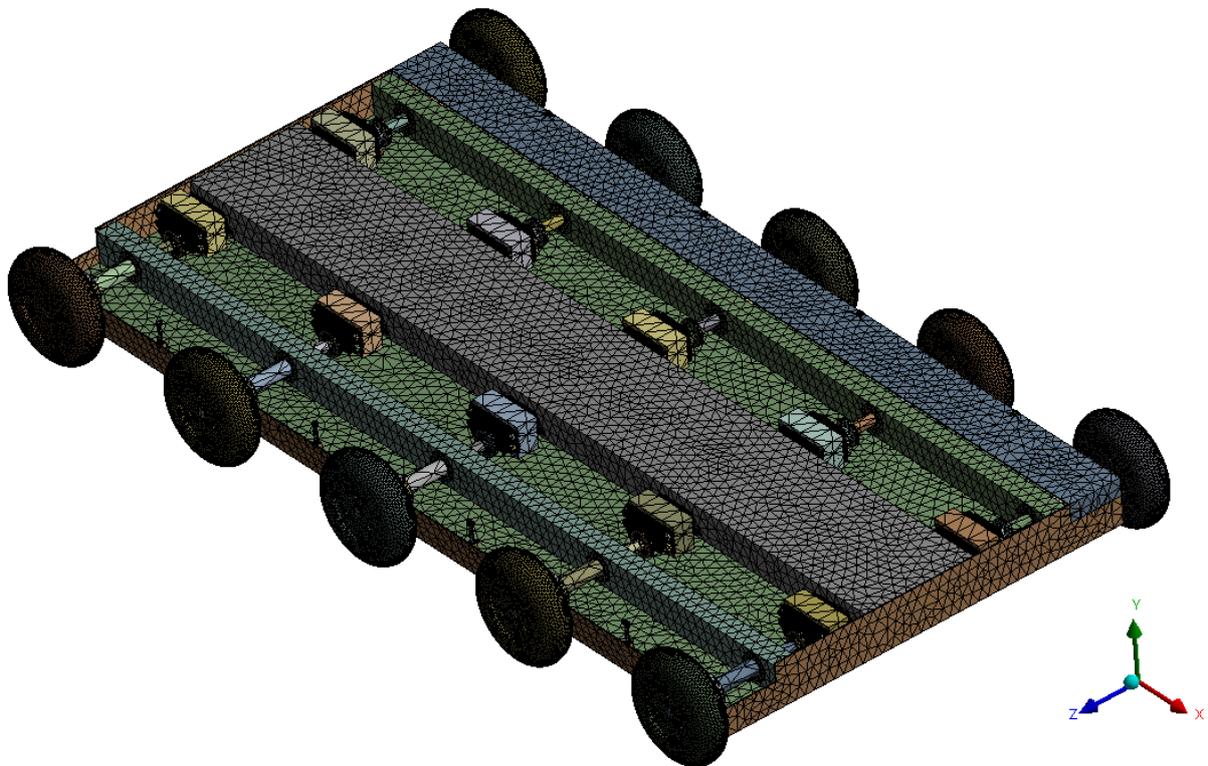


Figure III. 7. Modélisation 3D par éléments finis des composants du robot mobile.

3.9.2. Statistiques

La Figure III. 7 montre un processus de maillage condensé de taille 1.5mm appliqué sur les servomoteurs, 3mm appliquée sur les roues en polyéthylène, 10mm appliquée sur les composants suivants (châssis supérieur et inférieur, les vis, les supports, les axes, les bagues, les roulements, les paliers long, les paliers des roulements, poutre en composite). Le modèle complet se compose de 1707479 éléments et 2556557 nœuds qui ont été modélisés avec des éléments tétraédriques à 10 nœuds. Les Paliers à semelle a été modélisé avec 6414 éléments, 14227 nœuds ; Les roulements a été modélisé avec 46188 éléments, 99497 nœuds ; Les Paliers long a été modélisé avec 8579 éléments, 16079 nœuds ; Les roues a été modélisée avec 615861 éléments, 880611 nœuds et Les disques de transmission a été modélisé avec 9846 éléments, 18544 nœuds. D'autre part, les vis d'assemblage et la poutre en composite ont été modélisé avec 18924, 27290 éléments et 39884, 42386 nœuds. Les servomoteurs et les supports ont été modélisée avec 1282484, 17140 éléments et 1282484, 888859 nœuds. La modélisation des axes, des bagues et châssis supérieur et inférieur montrée dans le Tableau III.2.

Tableau III. 2. Résultats du maillage.

Composantes	Nombre des nœuds	Nombre d'éléments	Taille d'élément
Palier à semelle	14227	6414	3mm
Les roulements	99497	46188	3mm
Les Paliers long	16079	8579	10mm
Les roues	880611	615861	3mm
Les disques	18544	9846	3mm
Les vis	39884	18924	3mm
Poutre en composite	42386	27290	10mm
Les supports servomoteurs	17140	8259	10mm
Les servomoteurs	1282484	888859	1.5mm
Les axes	7029	3258	10mm
Les bagues	2490	1084	10mm
Châssis supérieur et inférieur	136186	72917	10mm
TOTAL	2556557	1707479	

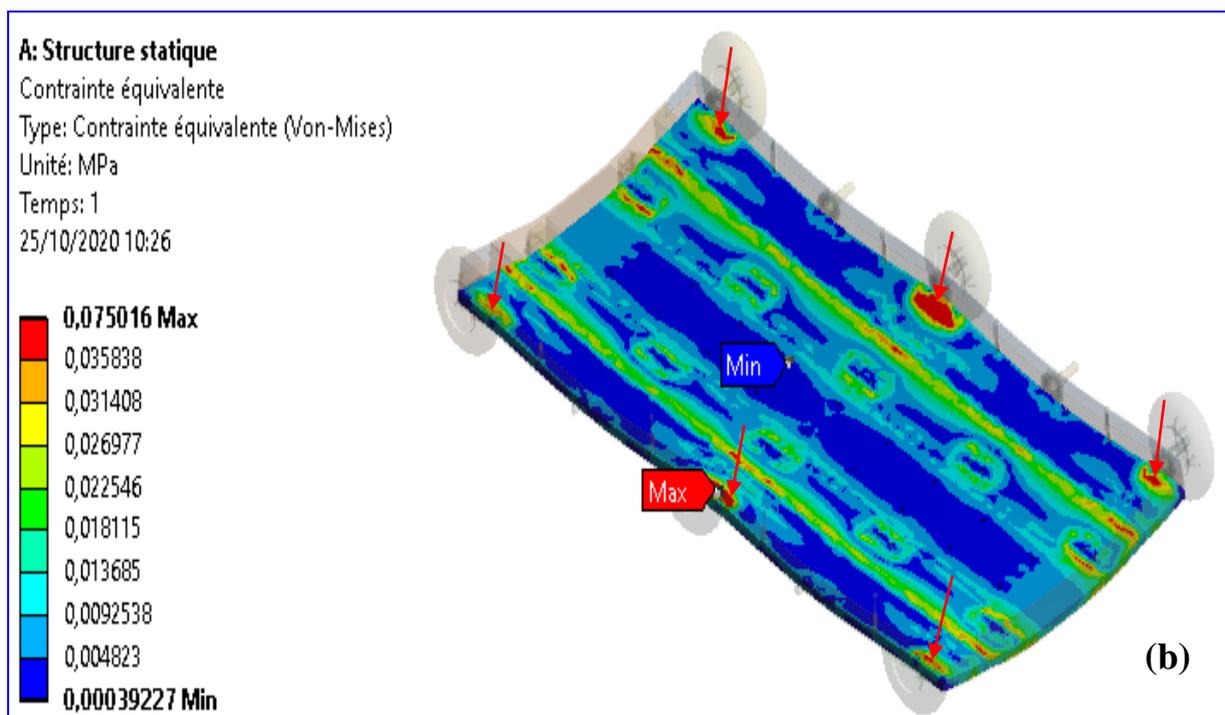
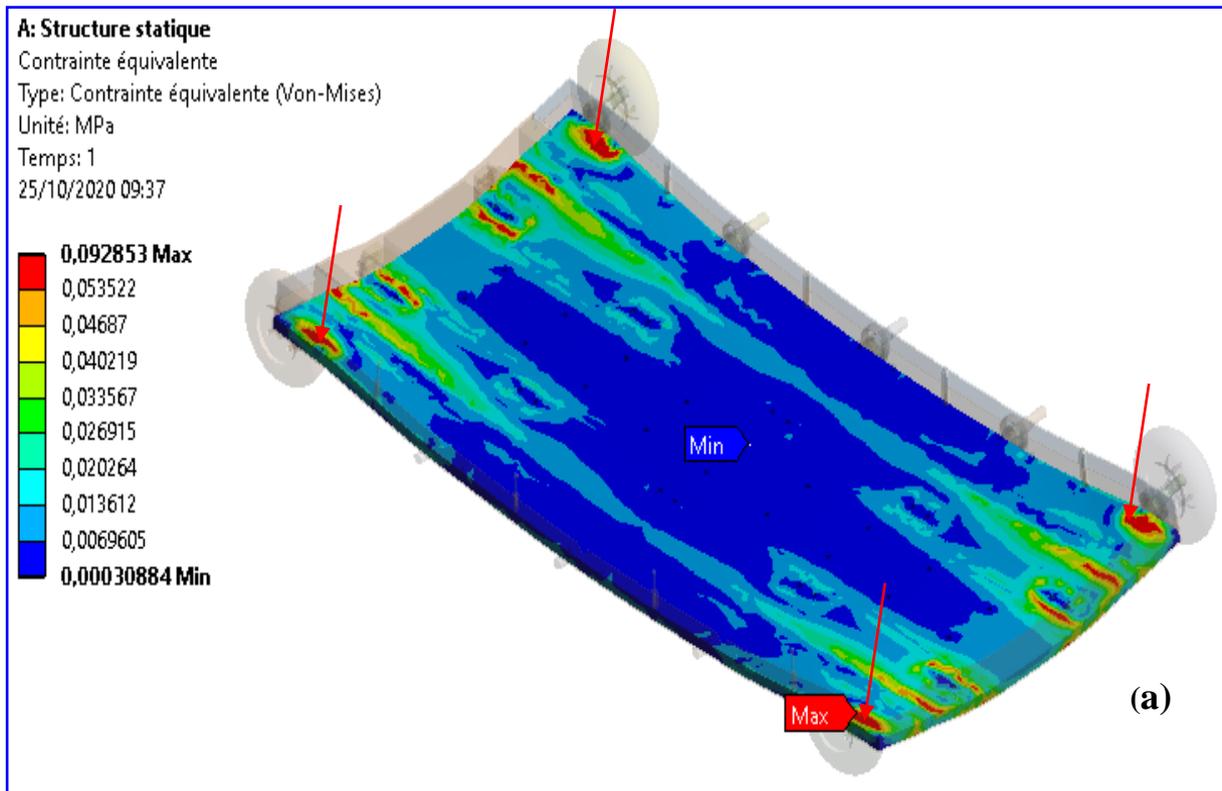
3.10. Résultats et discussion

3.10.1. Distribution des contraintes de Von Mises dans le châssis inférieur

Nous avons analysé la distribution et le niveau des contraintes de Von Mises pour les quatre types de modèle de chargement du robot mobile. Cette dernière montre que la répartition de la contrainte équivalente de Von Mises n'est pas homogène dans toute la structure. Les contraintes les plus fortes sont localisées aux niveaux des paliers à semelles qui sont montrant par des flèches en rouge voir **Figure III. 8 (a), (b), (c), (d)**.

L'intensité de contrainte peut atteindre un niveau trop élevé (environ 0.092853MPa) dans le robot à 4 roues. Cela résulte de l'application de la charge concentrée sur la surface supérieure du châssis.

Le deuxième type de robot à 6 roues (**Figure III. 8.b**). Nous constatons que de même chargement de compression appliquée sur un robot à 6 roues, les résultats conduisent à une faible diminution de la contrainte équivalente dans le châssis inférieur. La contrainte maximale ne dépasse pas 0.075016 MPa.



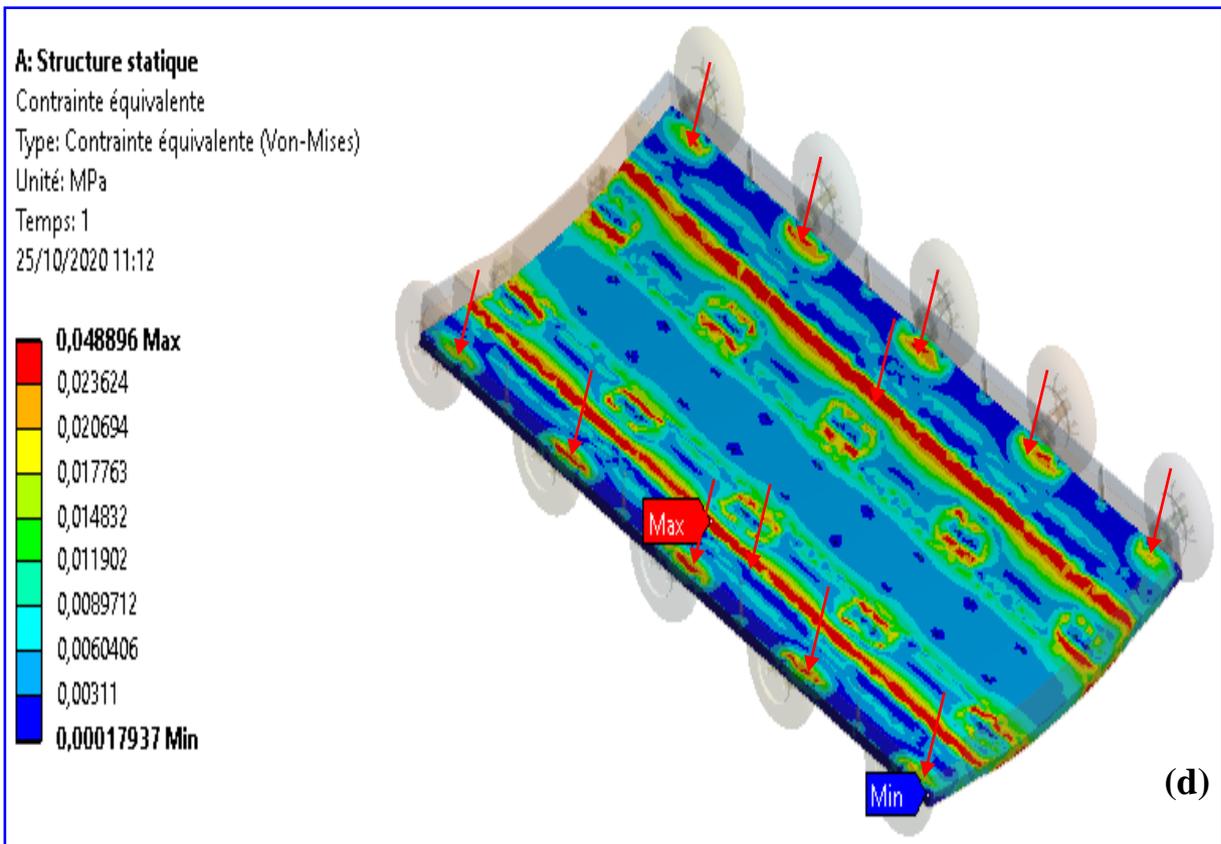
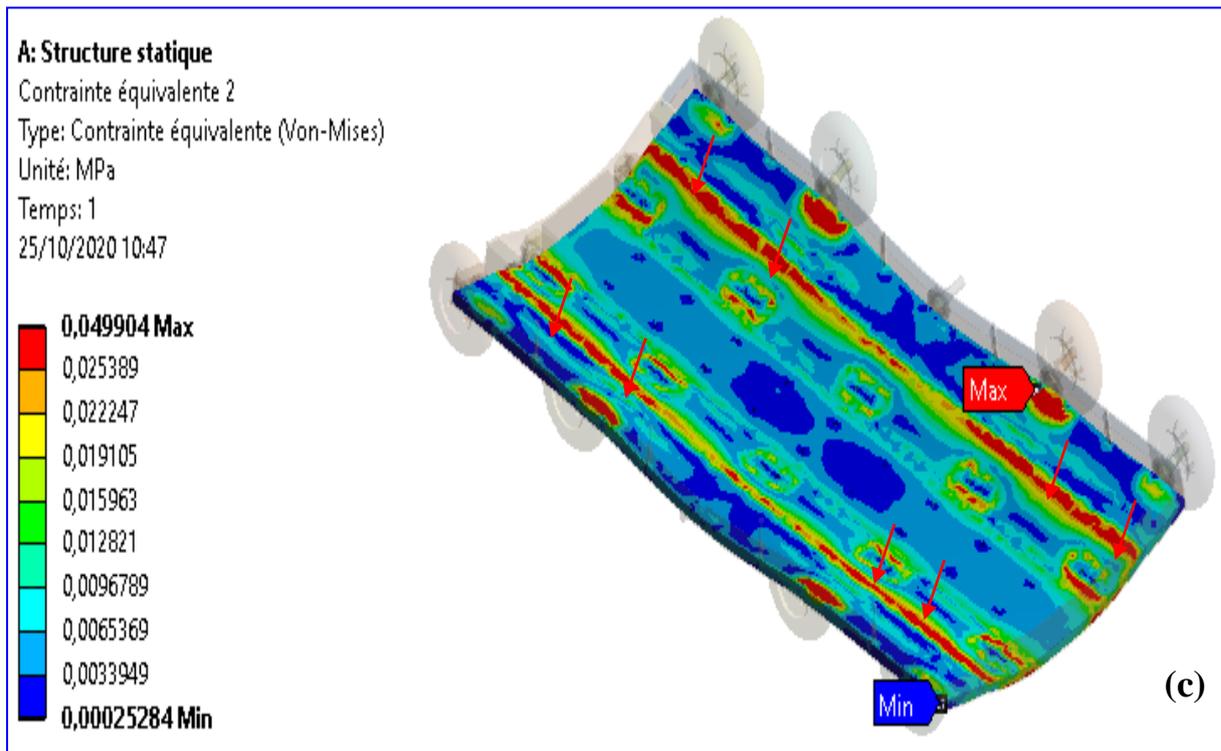


Figure III. 8. Distributions des contraintes de Von mises dans le châssis inférieur pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

Le troisième type de modèle est caractérisé par un robot de 8 roues par rapport les autres robots (**Figure III. 8.c**). Sous cet effet, les contraintes de Von Mises sont toujours concentrées dans la zone des paliers à roulement BC (**Figure III. 8.c**). Cette zone se trouve fortement sollicitée ; un tel comportement entraîne une augmentation de la contrainte équivalente. La contrainte la plus forte, d'amplitude de l'ordre de (0.049904MPa), est exercée sur le châssis inférieure.

Le quatrième type de modèle est caractérisé par un robot de 10 roues par rapport les autres robots (**Figure III. 8.d**). Sous cet effet, les contraintes de Von Mises sont toujours concentrées dans la zone des paliers à roulement BC (**Figure III. 8.d**). Cette zone se trouve fortement sollicitée ; un tel comportement entraîne une augmentation de la contrainte équivalente. La contrainte la plus forte, d'amplitude de l'ordre de (0.048896MPa), est exercée sur le châssis inférieure.

La **Figure III. 9** présente la variation des contraintes de Von Mises dans le robot mobile pour différents nombre des roues. On peut remarquer que pour un nombre de 4 roues les contraintes de Von Mises sont maximales aux niveaux des paliers, les contraintes diminuent considérablement avec l'accroissement de nombre des roues, alors que, pour un robot de 10 roues une diminution de contrainte a été constatée avec l'augmentation de ce dernier.

La **Figure III. 10** illustre la répartition des contraintes de Von Mises le long de la trajectoire du châssis inférieure. On peut remarquer que la valeur maximale ($\sigma_{Max} = 0.0928\text{Mpa}$) est obtenue pour un robot à quatre roues. Il est à noter également que les trois robots mobiles (6roues, 8roues, 10roues) sont soumis à des contraintes de Von Mises qui sont relativement faibles.

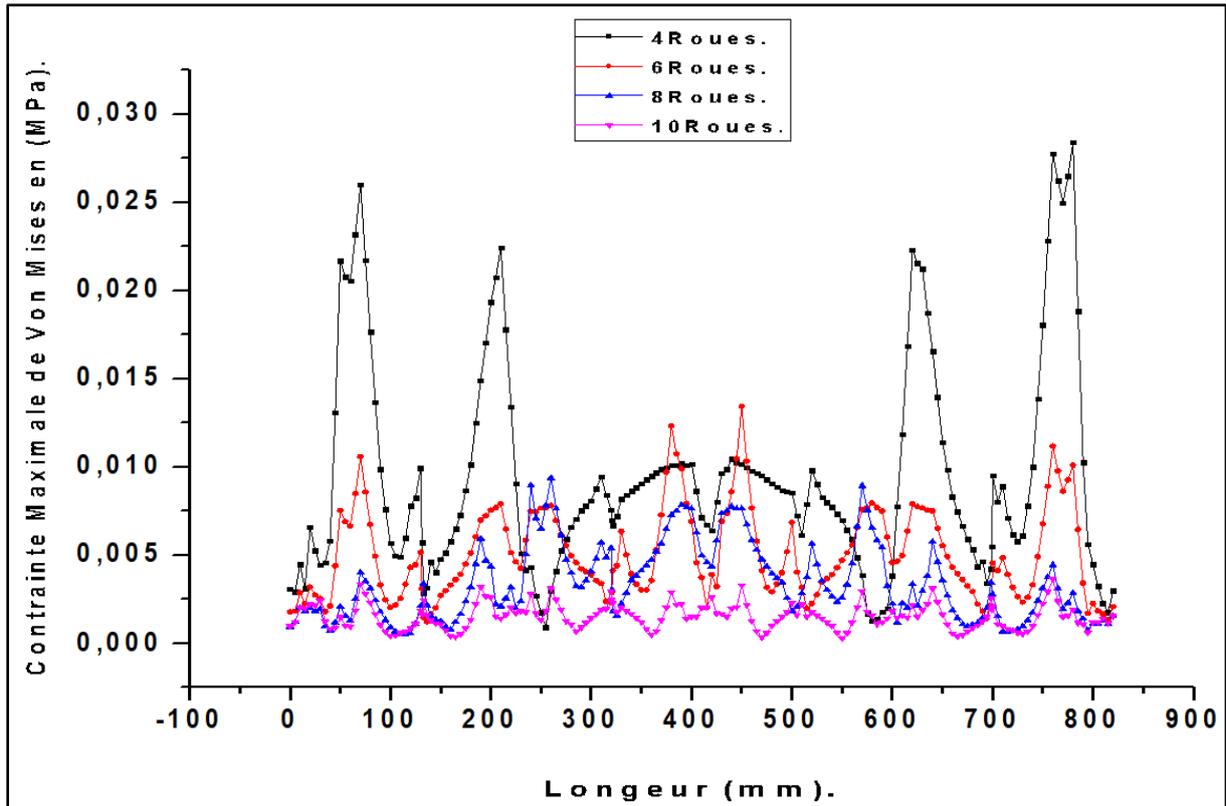


Figure III. 9. Graphe des contraintes de Von mises dans le châssis inférieur (*profile longitudinale*) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

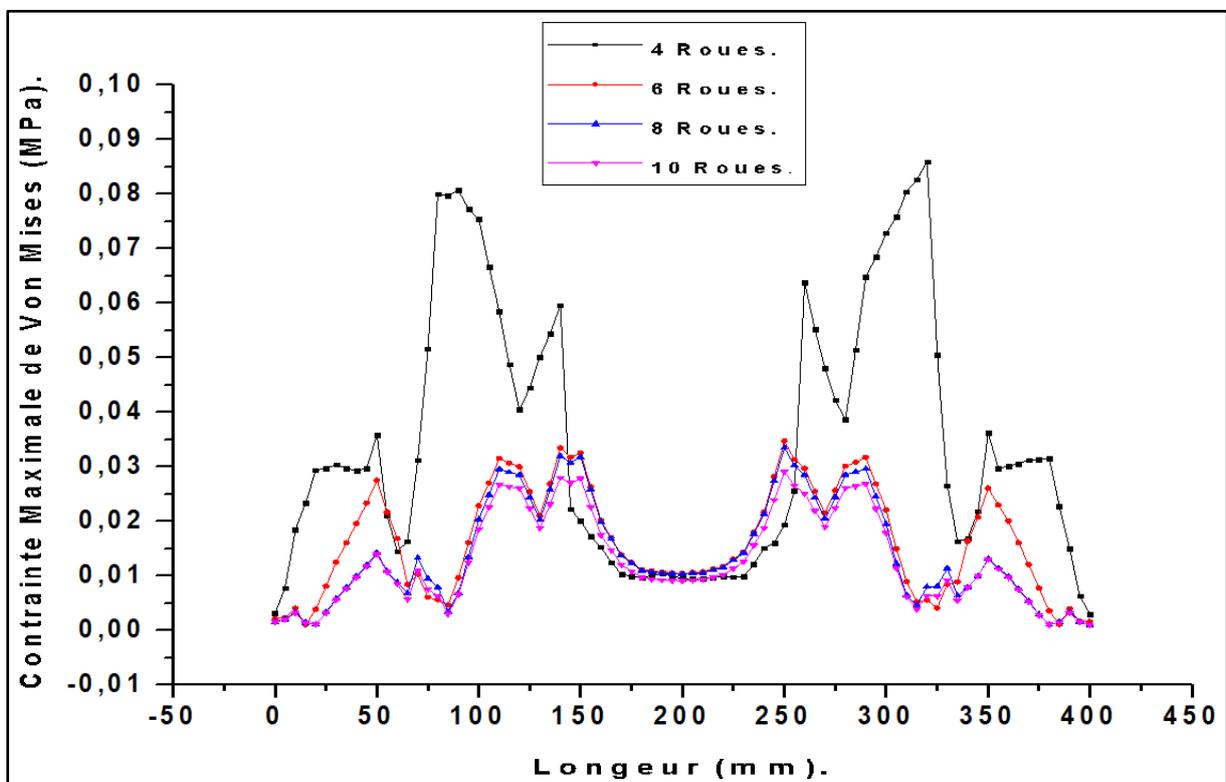
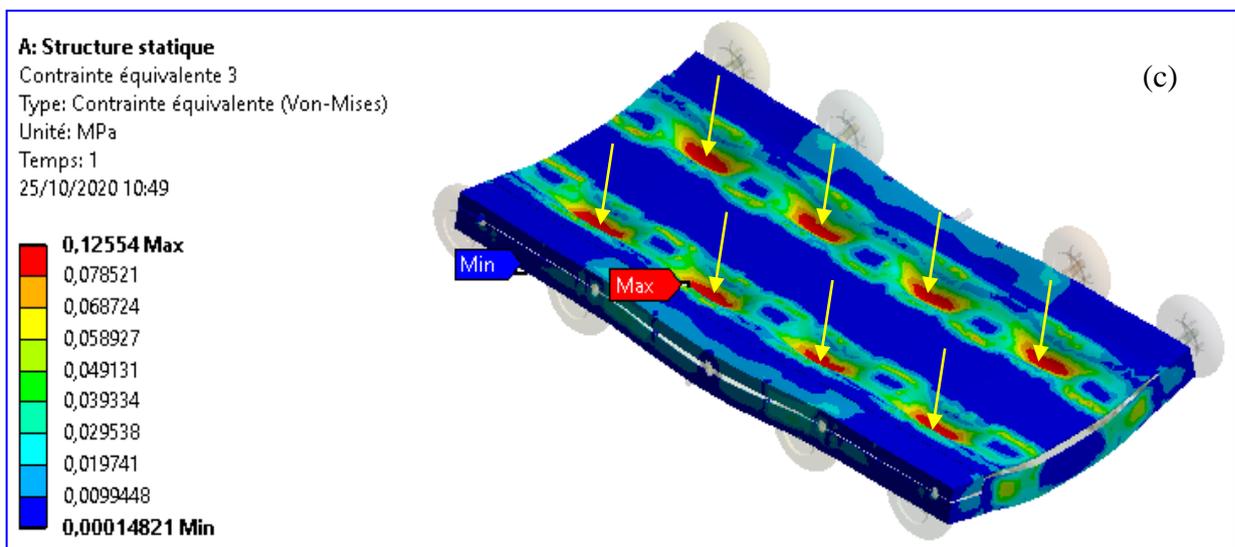
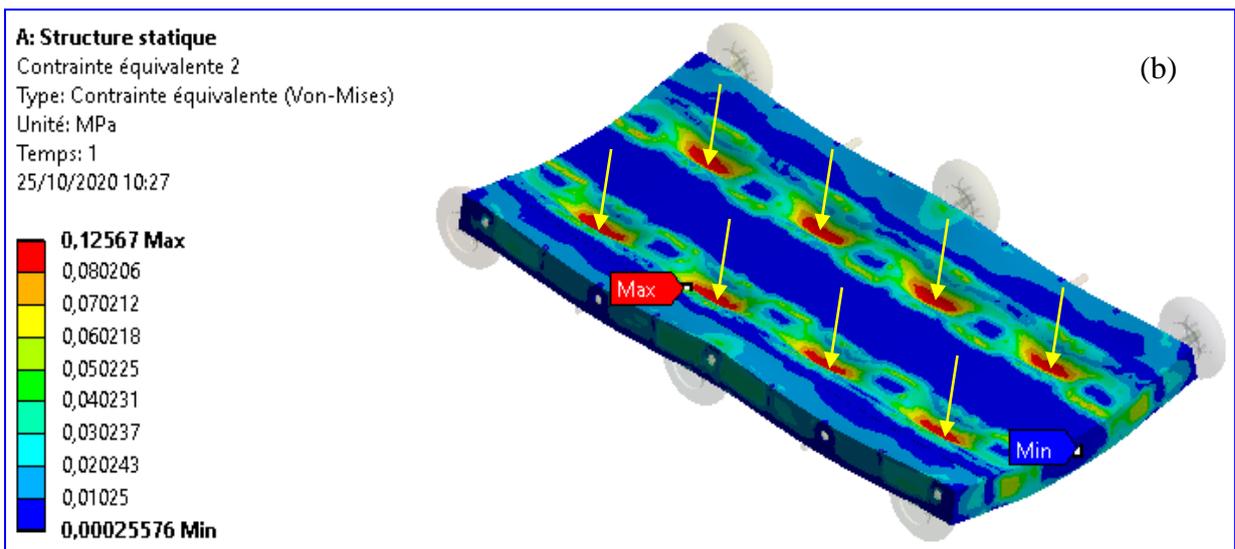
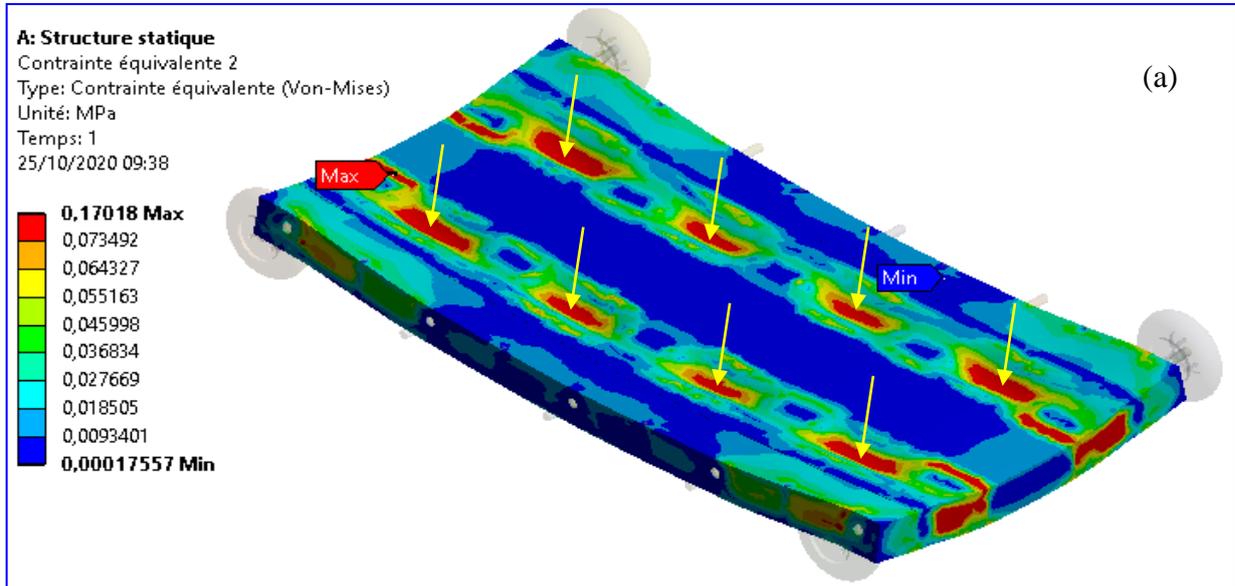


Figure III. 10. Graphe de la distribution des contraintes de Von mises dans le châssis inférieur (*profile transversale*) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

3.10.2. Distribution des contraintes de Von Mises dans le châssis supérieur



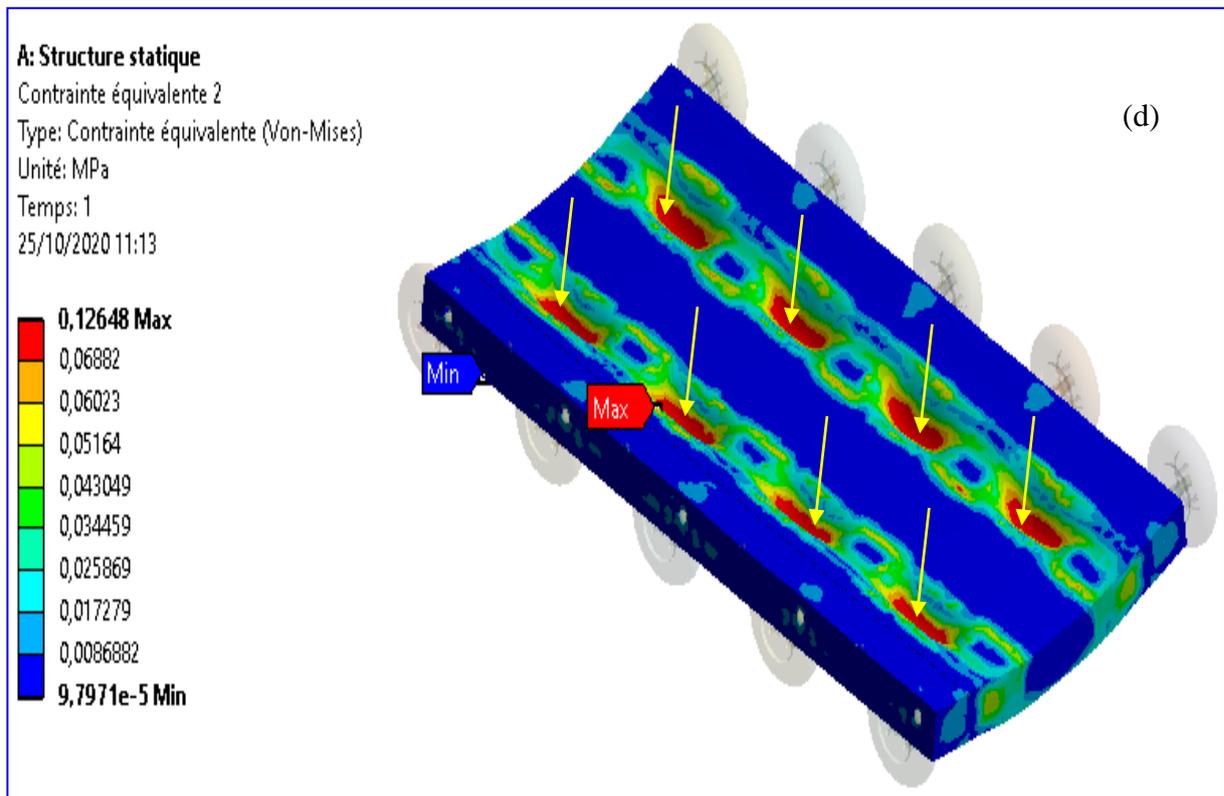


Figure III. 11. Distributions des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

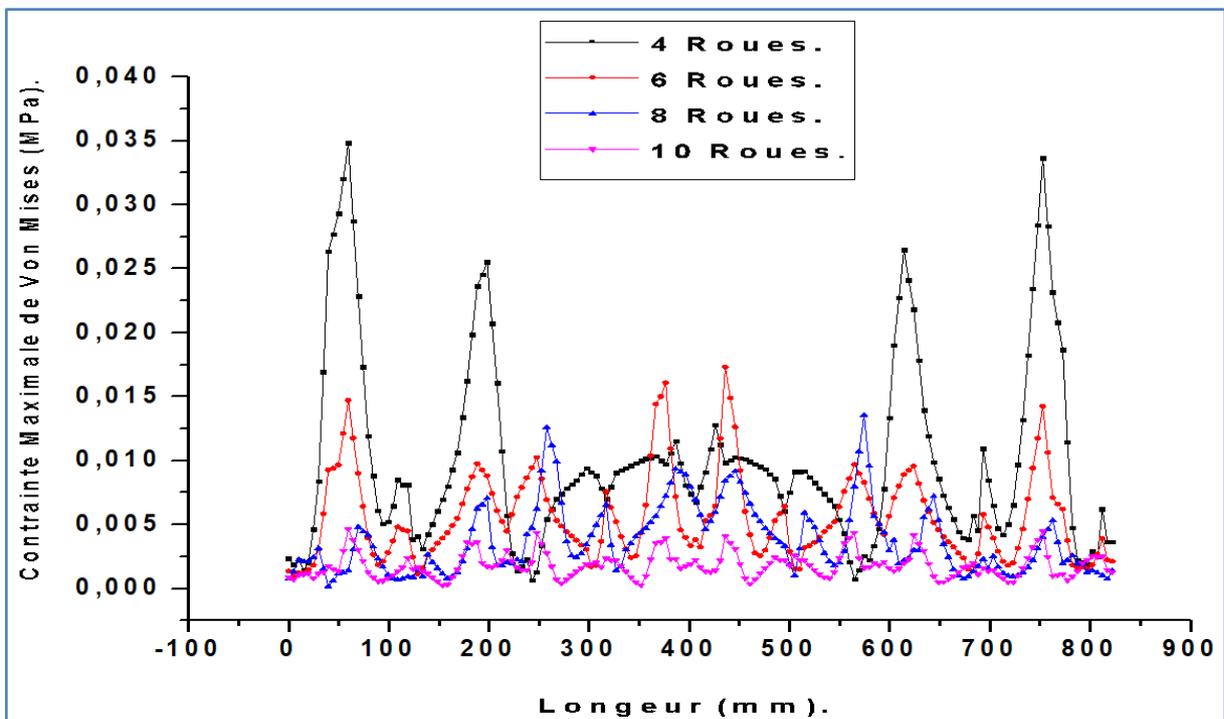


Figure III. 12. Graphe de la distribution des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure (profile longitudinale) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

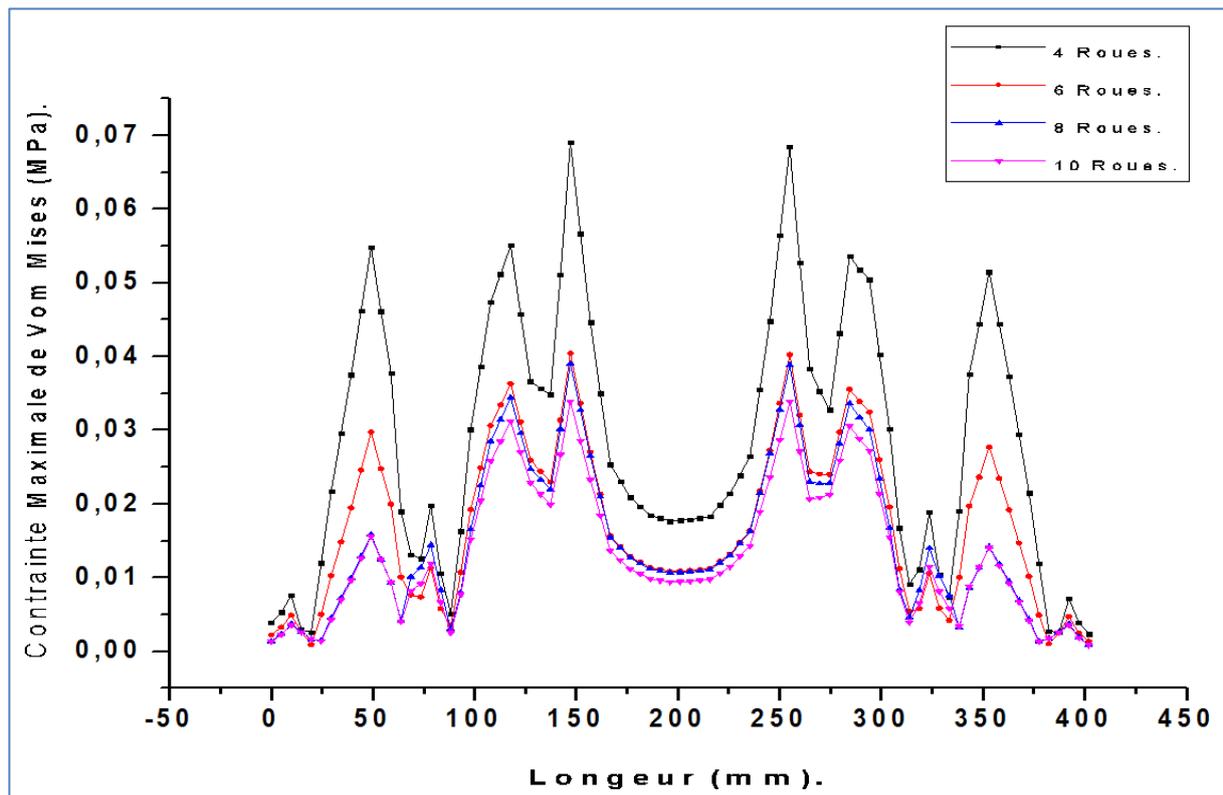


Figure III. 13. Distributions des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure (profil transversale) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

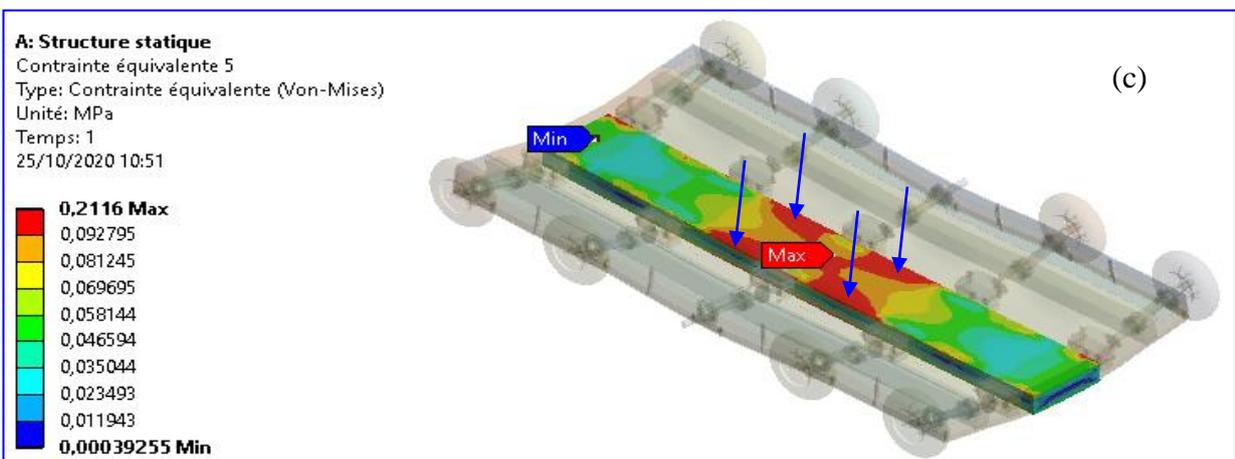
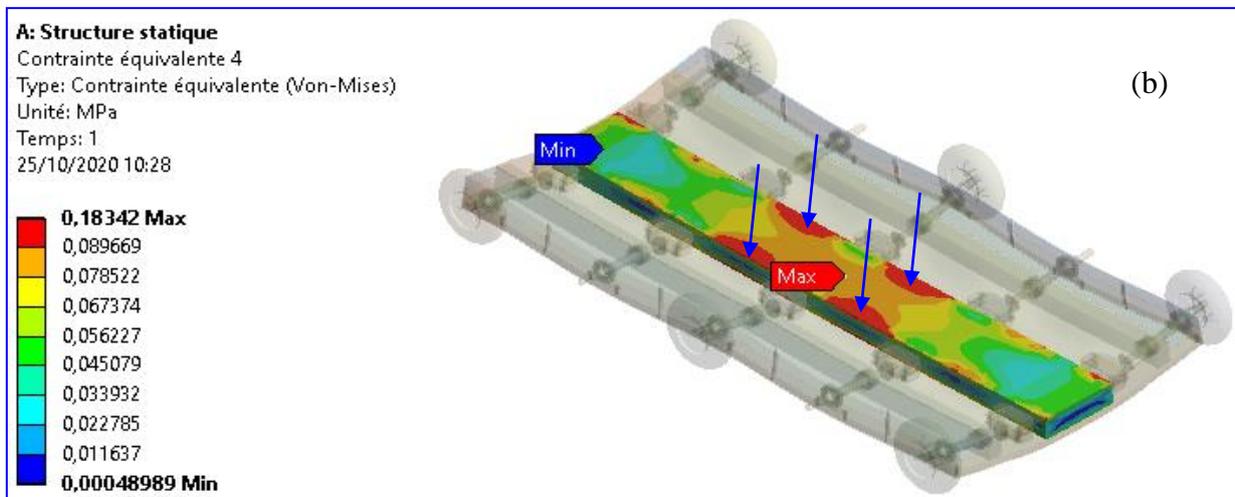
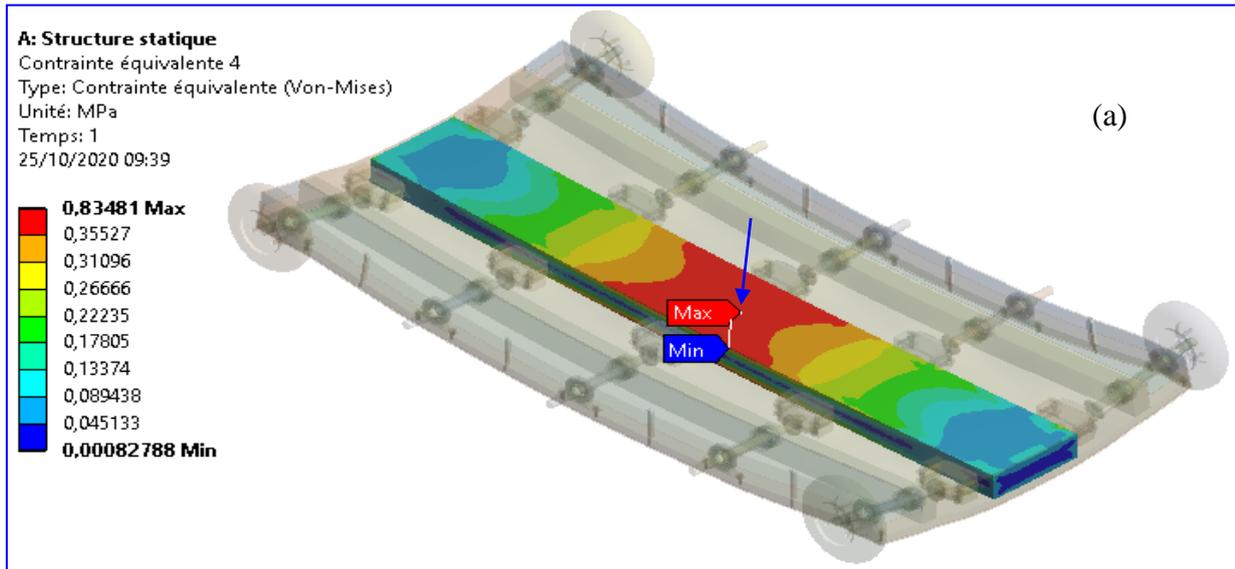
La répartition des contraintes de Von mises dans le châssis supérieure pour différents nombre des roues sont illustrées par la **Figure III. 11**. A partir de cette illustration, on peut observer que pour ces différents modèles de robot mobile avec un robot mobile de quatre roues, les contraintes de Von Mises sont égales à 0.17018MPa (contour en rouge). En outre, une diminution de contrainte équivalente observée avec l'augmentation de nombre des roues. Les valeurs maximales pour ces trois robots étudiées sont $\sigma_{Max}=0.12567\text{Mpa}$, $\sigma_{Max}=0.12554\text{Mpa}$ et $\sigma_{Max}=0.12648\text{Mpa}$ ceci mentionnée dans la **Figure III. 11**.

La **Figure III. 12** illustre l'effet du nombre des roues sur la répartition des contraintes dans châssis supérieure. On peut remarquer que la valeur maximale de contrainte ($\sigma_{Max}=0.035\text{Mpa}$) dans le robot qui contient à quatre roues, alors que la valeur minimale ($\sigma_{Min}=0.005\text{Mpa}$) est obtenue avec un robot à 10 roues. Pour les robots à 6roues, 8roues et 10 roues, les contraintes respectives sont inférieures par rapport à celles du robot à 4 roues.

En outre, on peut constater qu'il y a une légère différence entre les variations des contraintes dans le cas de robot à 4 roues et à 10 roues°, alors qu'une variation importante des contraintes équivalentes a été remarquée pour les trois dernier robots (6roues, 8roues, 10roues) c'est-à-dire le

nombre des roues joue un rôle très important de diminution et minimisation des contraintes de Von Mises dans châssis supérieure.

3.10.3. Distribution des contraintes de Von Mises dans la poutre en composite



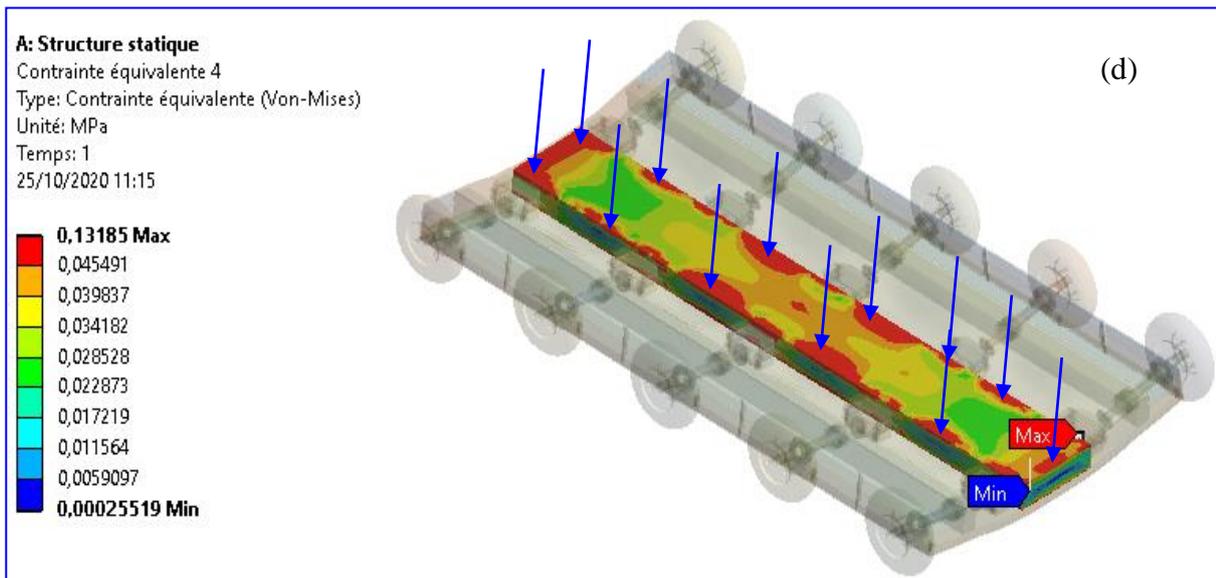


Figure III. 14. Distributions des contraintes de Von mises dans la poutre en composite pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

Un chargement de compression P appliqué sur la surface supérieure du châssis supérieure entraîne une forte concentration de contraintes normales maximales dans la partie supérieure et inférieure de la poutre en composite (partie rouge **Figure III. 14**).

La **Figure III. 14**présentes la distribution des contraintes de Von Mises pour différentes nombre des roues dans le robot mobile. On peut remarquer que pour un rebot à 4 roues, 6 roues et 10 roues, les contraintes diminuent considérablement avec l'accroissement de la nombre des roues, alors que, pour un modèle de robot à 4 roues les contraintes de Von Mises égales à 0.83481MPa et 0.13185MPa pour un modèle de robot à 6, ceci justifier que le nombre des roues joue un rôle important de diminution des contraintes de Von Mises.

La **Figure III. 15**représente les variations de la contrainte de Von Mises dans la poutre en composite pour un nombre différent des roues (4 roues, 6 roues, 8 roues, 10 roues). Les résultats montrent que les valeurs importantes des contraintes de Von Mises sont obtenues pour un robot à quatre roues, alors que les valeurs les plus faibles sont obtenues pour trois dernières modèles (6 roues, 8 roues, 10 roues). Notant que la valeur maximale est de 0.085Mpa (dans le robot à 4 roues), alors que la valeur minimale est de 0.02Mpa (dans le robot à 10 roues). Dans ce cas-ci, nous avons remarqué également que les contraintes de Von Mises diminuent avec l'augmentation de nombres des roues

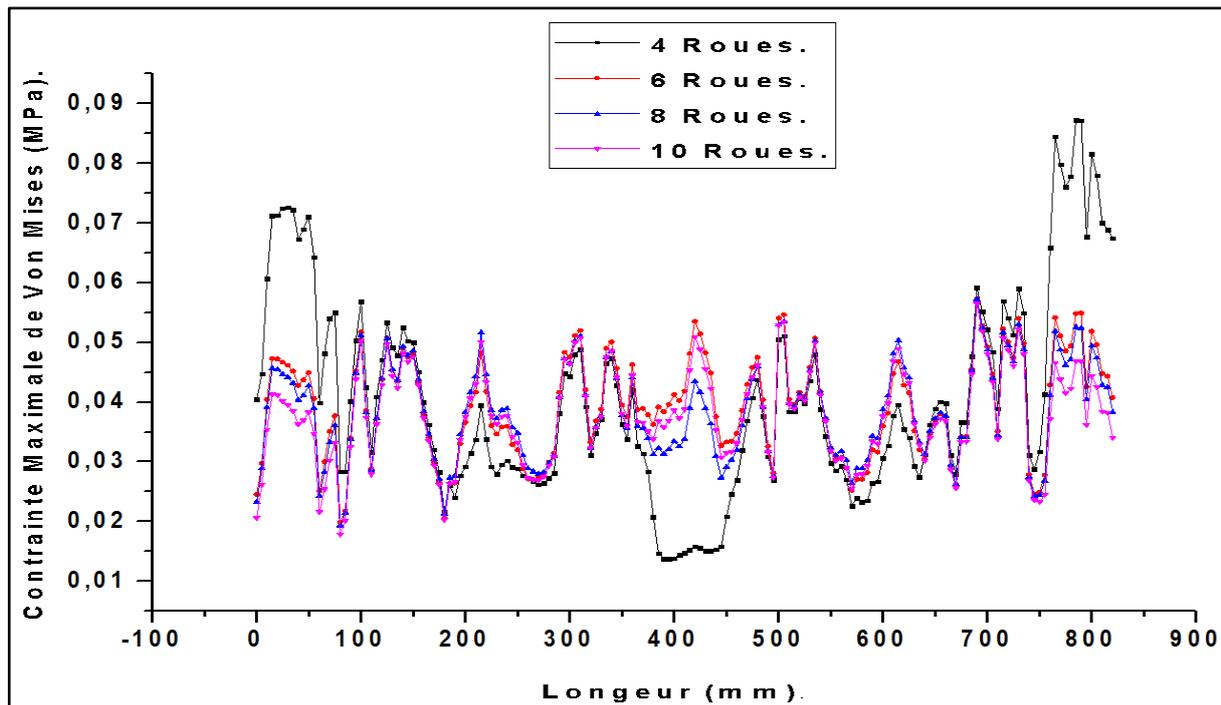


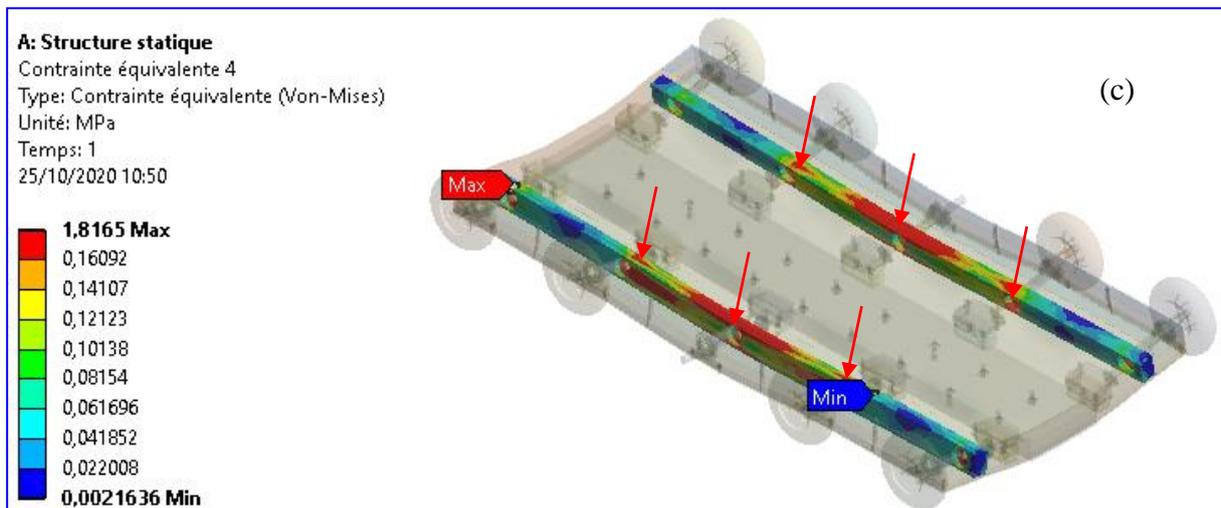
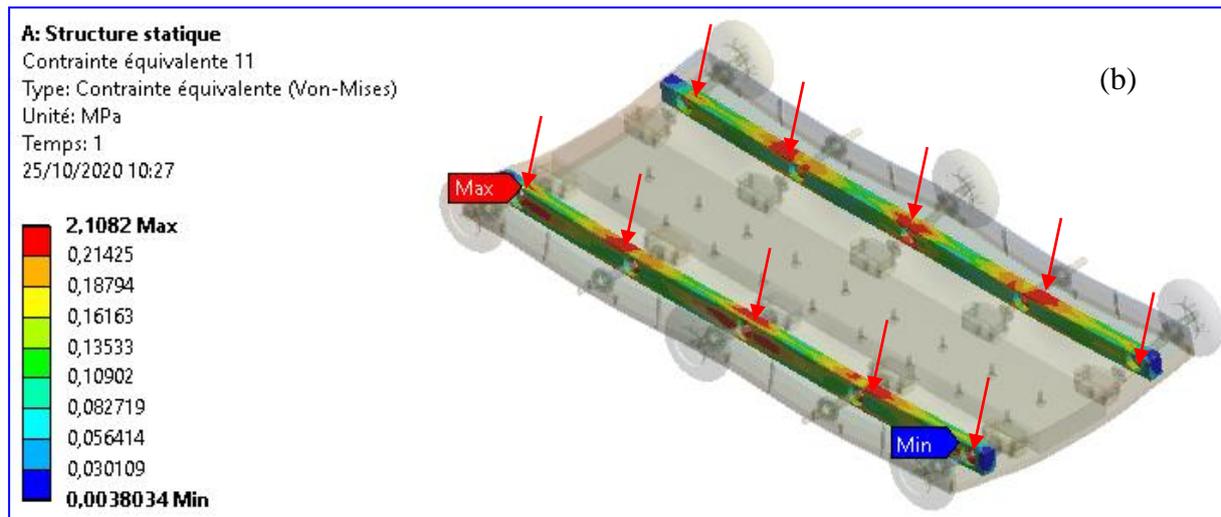
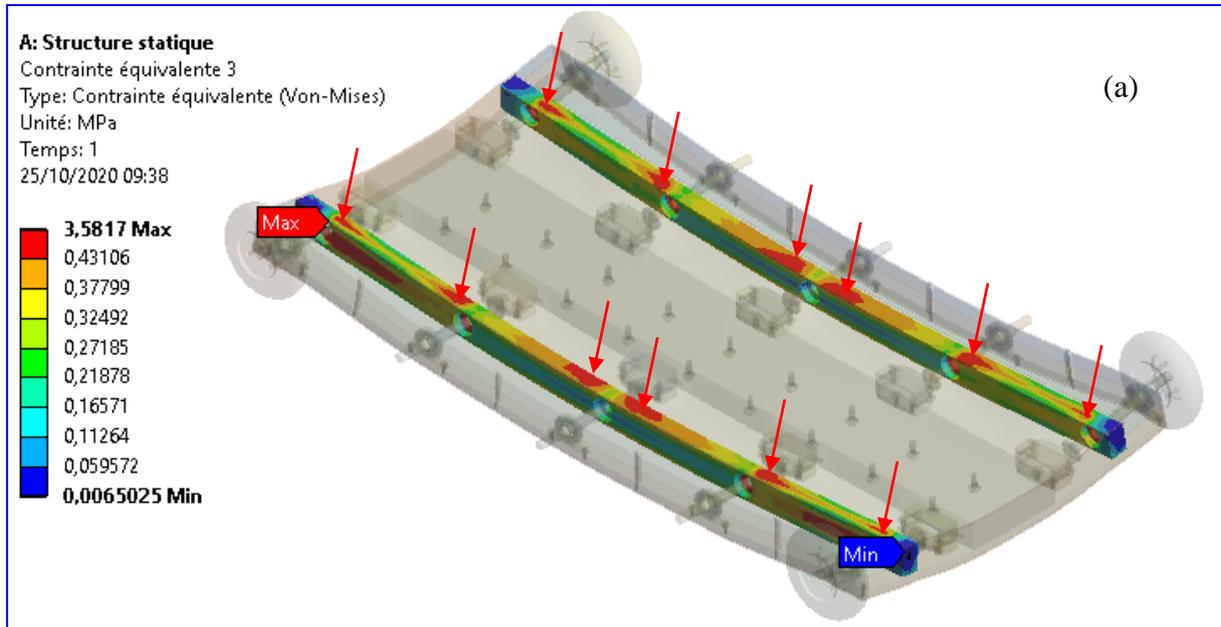
Figure III. 15. Distributions des contraintes de Von mises dans la poutre en composite (profil longitudinal) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

La **Figure III. 16** indique l'effet d'un chargement de compression de 15kg sur la surface supérieure de robot qui va engendrer des contraintes maximales de Von Mises respectivement égales à 3.5817MPa, 2.1082MPa, 1.8165MPa et 1.657MPa (contour en rouge).

Un chargement vertical sur la tôle du châssis supérieur de robot conduit à un niveau de contrainte assez élevé dans la poutre long en aluminium 6061, essentiellement dû aux conditions aux limites du déplacement imposé. L'effet du nombre des roues sur la distribution et l'intensité de contrainte dans la poutre long est très peu marqué. Cependant, une augmentation de la contrainte équivalente aux niveaux de la position des roulements BCa été constatée (**Figure III. 16**).

La **Figure III. 17** représente les variations de la contrainte équivalente dans la poutre en aluminium 6061 pour différents types de robot mobile (4 roues, 6 roues, 8 roues, 10 roues). Les résultats montrent que les valeurs importantes des contraintes de Von Mises sont obtenues pour un robot à quatre roues, alors que les valeurs les plus faibles sont obtenues pour les trois derniers modèles (6 roues, 8 roues, 10 roues). Notant que la valeur maximale est de 0.03MPa (dans le robot à 4 roues), alors que la valeur minimale est de 0.0025MPa (dans le robot à 10 roues). Dans ce cas-ci, nous avons remarqué également que les contraintes de Von Mises diminuent avec l'augmentation de nombres des roues.

3.10.4. Distribution des contraintes de Von Mises dans le palier long



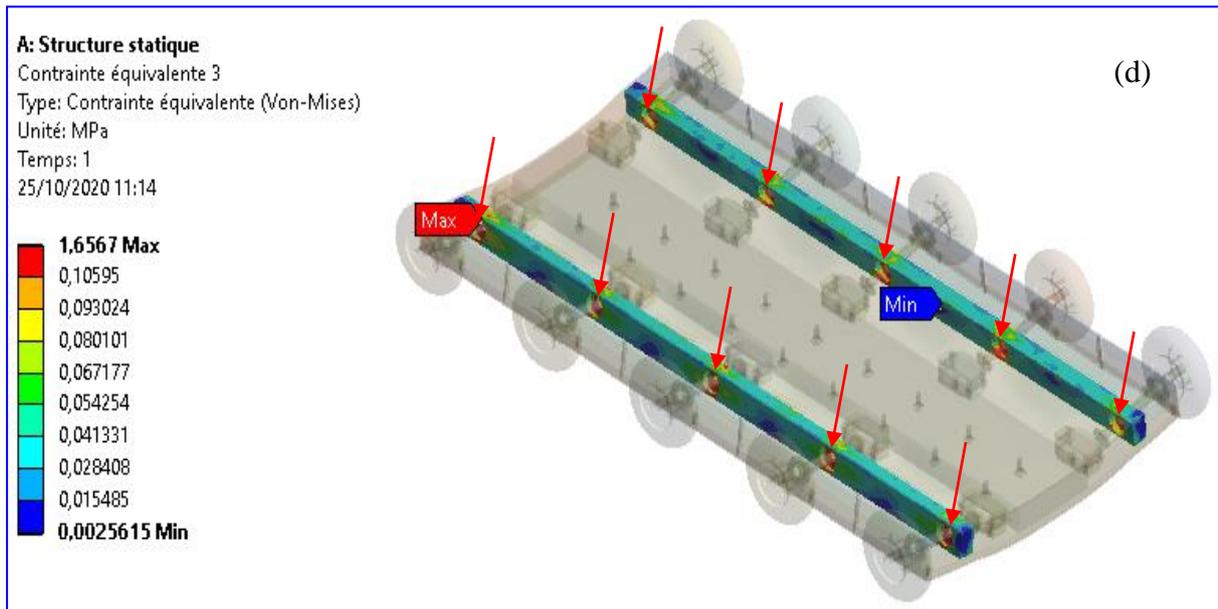


Figure III. 16. Distributions des contraintes de Von mises dans le palier long pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

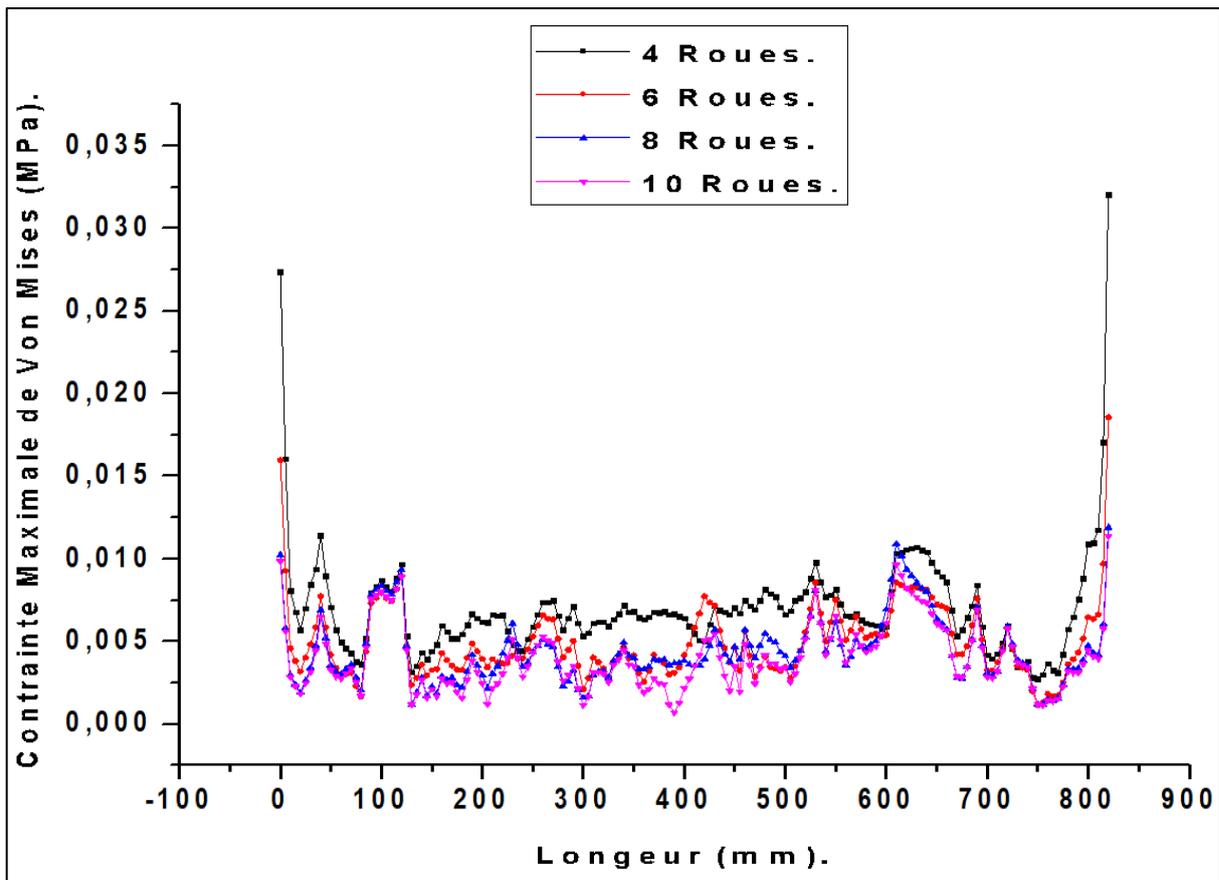
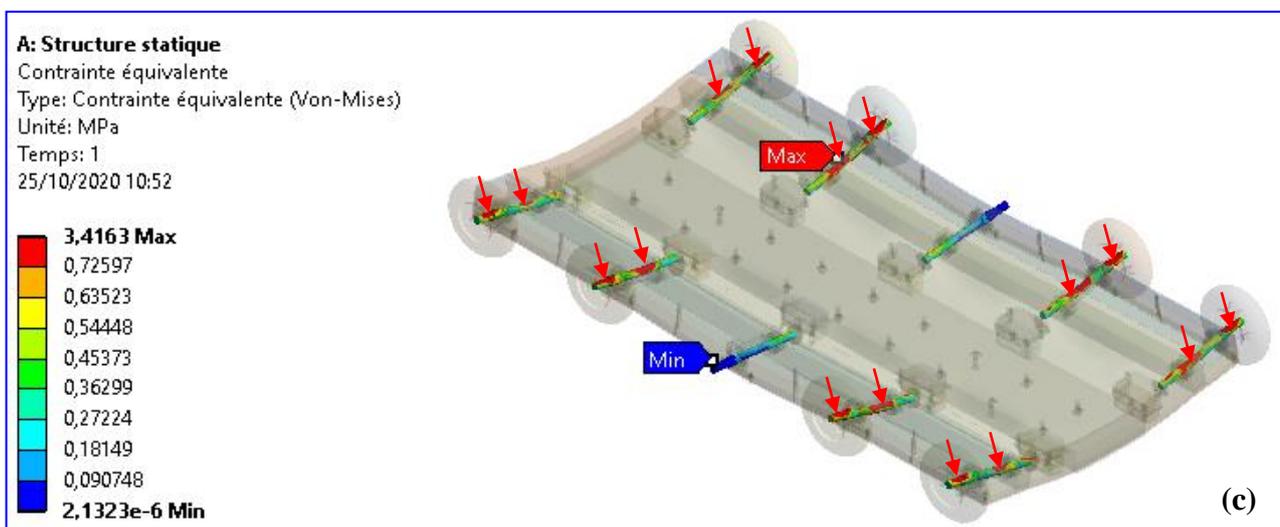
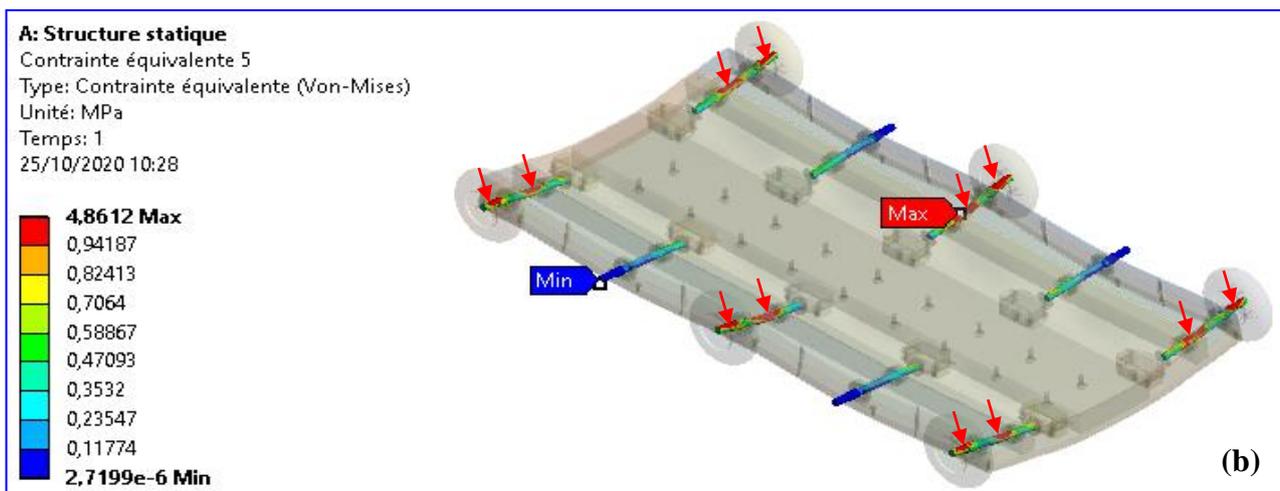
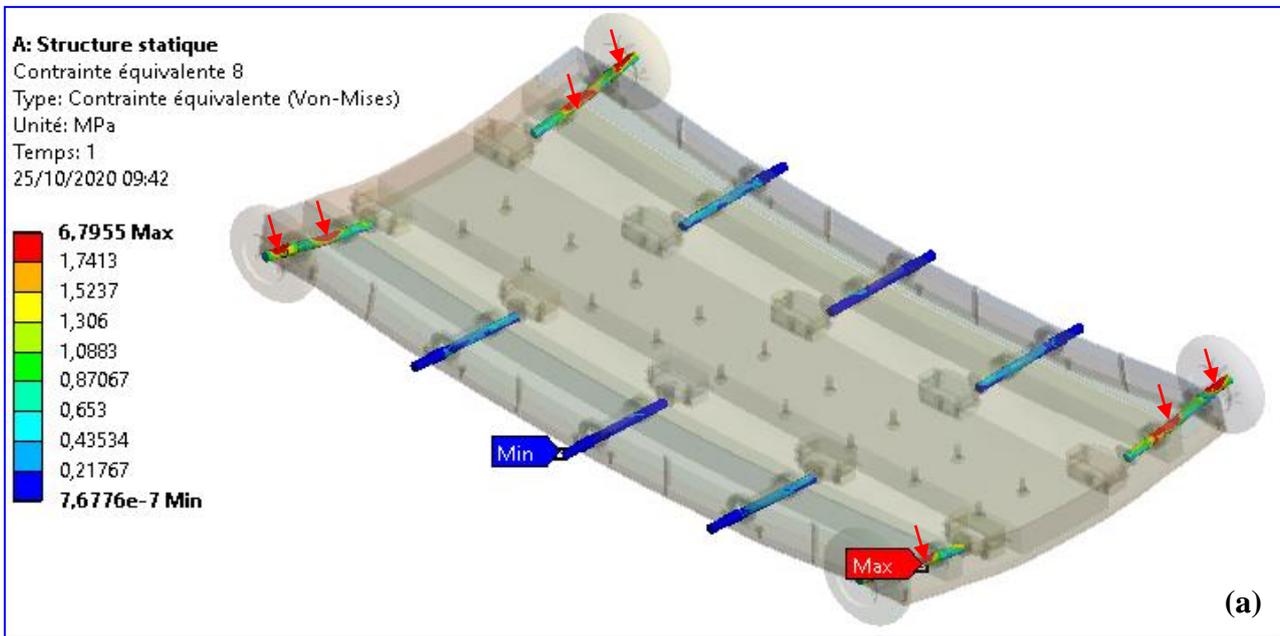


Figure III. 17. Distributions des contraintes de Von mises dans le palier long (profil longitudinal) pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

3.10.5. Distribution des contraintes maximales de Von Mises dans les axes



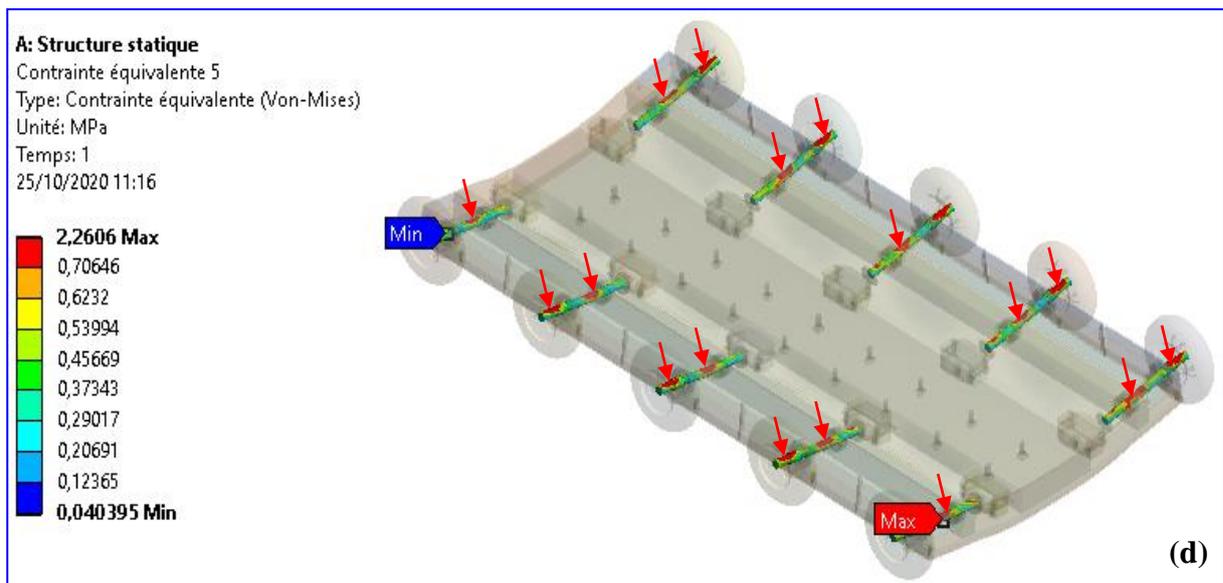
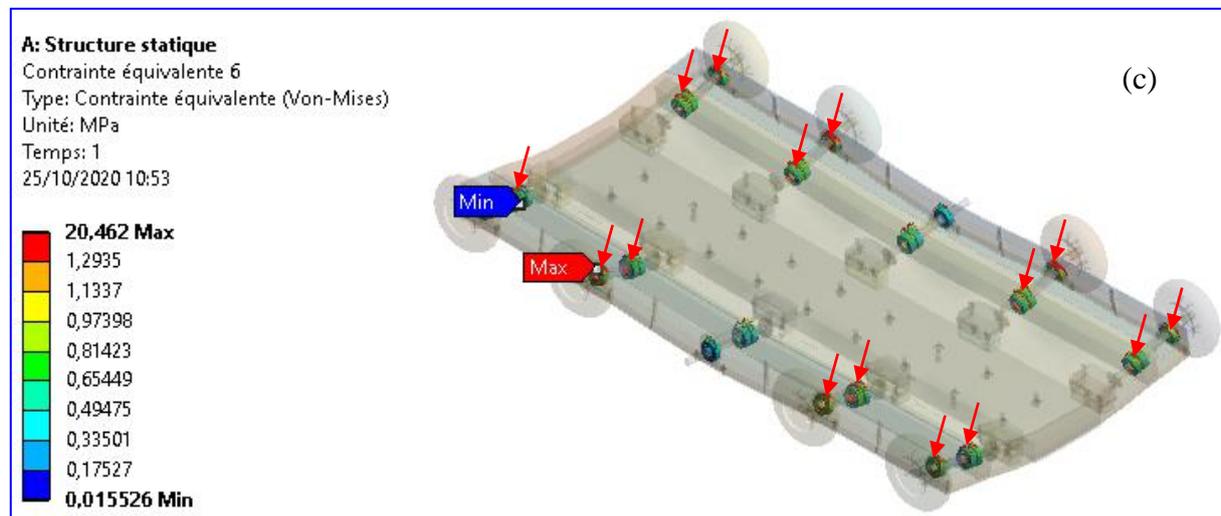
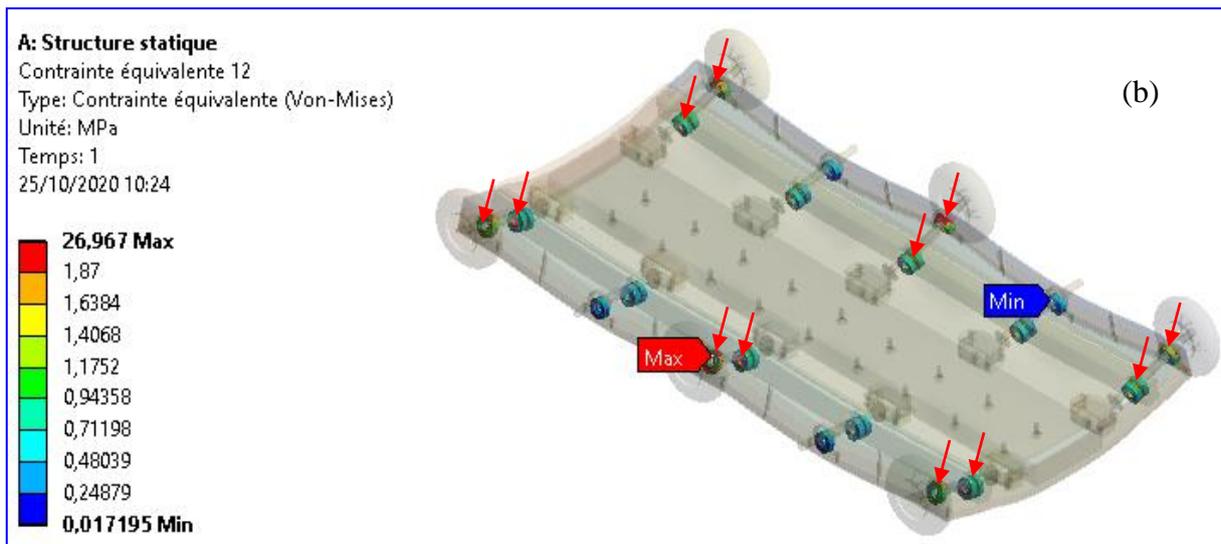
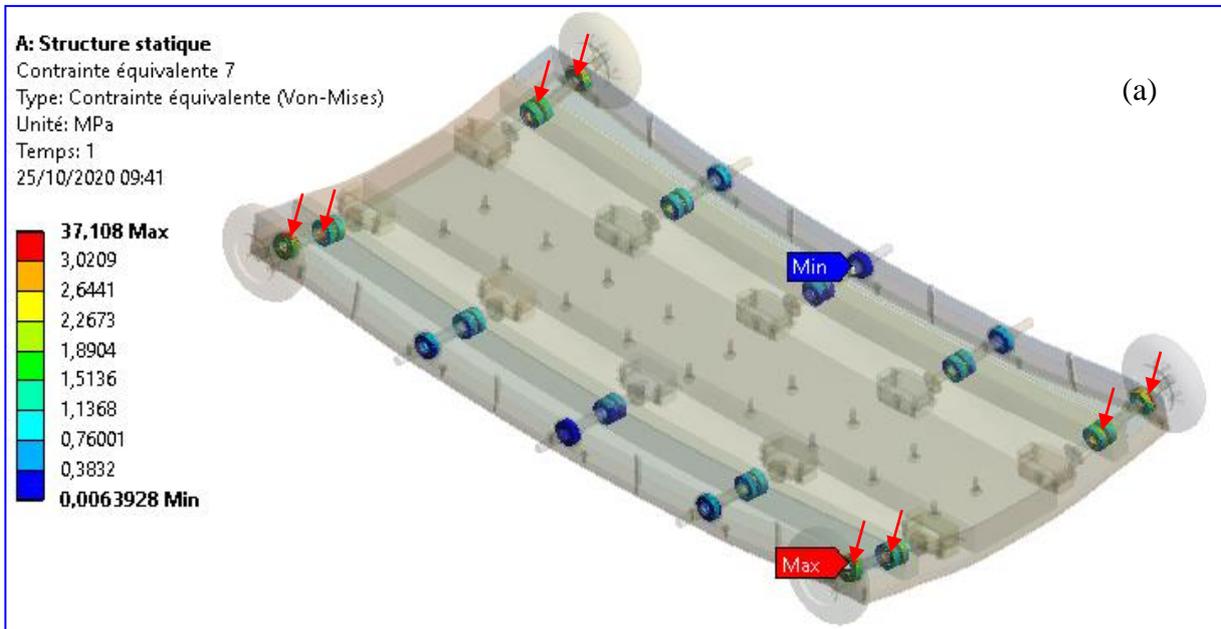


Figure IV. 30. Distributions des contraintes de Von mises dans les axes pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

Un chargement appliqué sur la surface supérieure de châssis supérieure entraîne une forte concentration de contraintes normales maximales aux niveaux des axes roulements à billes (voir partie en rouge **Figure III. 30**). Le modèle de robot à 4 roues et 6 roues supportent une contrainte maximale de valeur égale à 6.7955 MPa et 4.8612MPa ; d'autre part, les contraintes sont minimales au niveau de robot à 10 roues de valeur égale 2.2606MPa (contour rouge) par rapport aux autres composantes du système de robot mobile.

D'autre part, Un chargement de compression P appliqué sur la surface supérieure de châssis supérieure entraîne une forte concentration de contraintes normales maximales aux niveaux des roulements à billes (voir partie en rouge **Figure III. 31**). Les deux modèles éléments finit de robot à 4 roues et 6 roues supportent une contrainte maximale de valeur égale à 37.108 MPa et 26.967MPa ; d'autre part, les contraintes sont minimales au niveau de robot à 10 roues de valeur égale 16.291MPa (contour rouge) par rapport aux autres composantes du système de robot mobile.

3.10.6. Distribution des contraintes de Von Mises dans les roulements



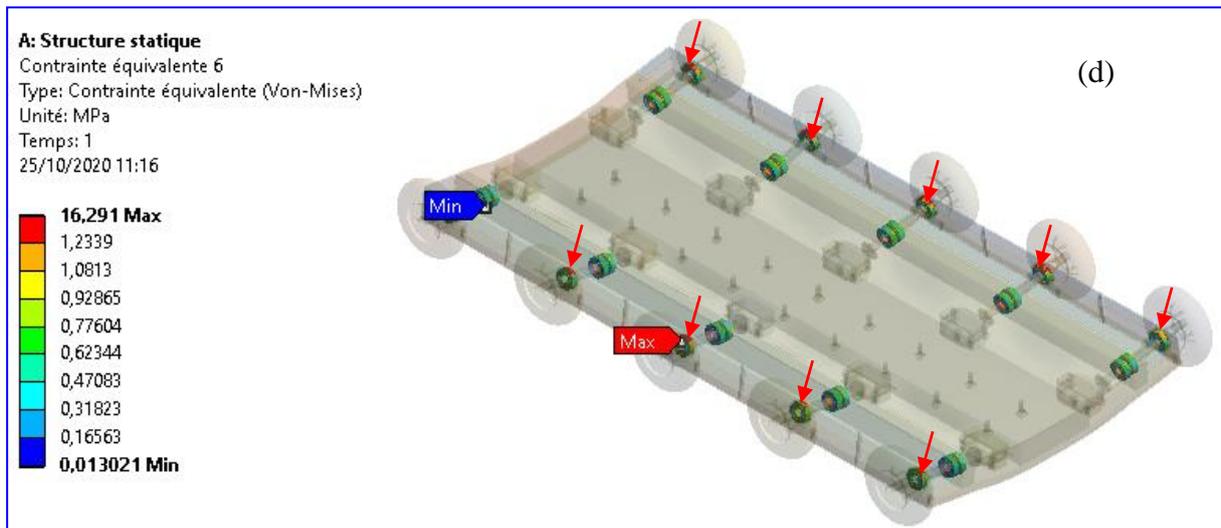
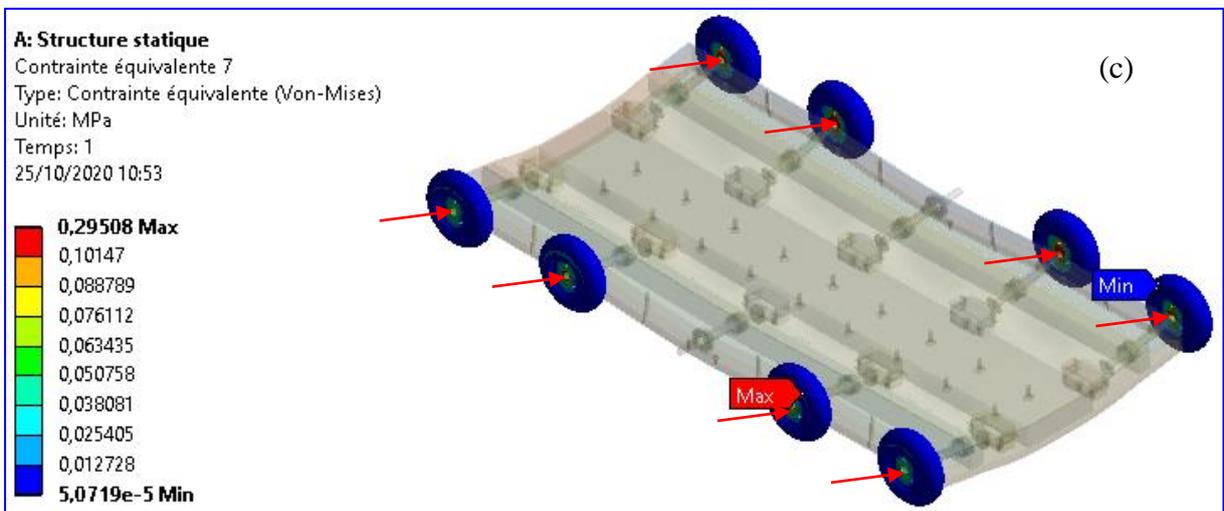
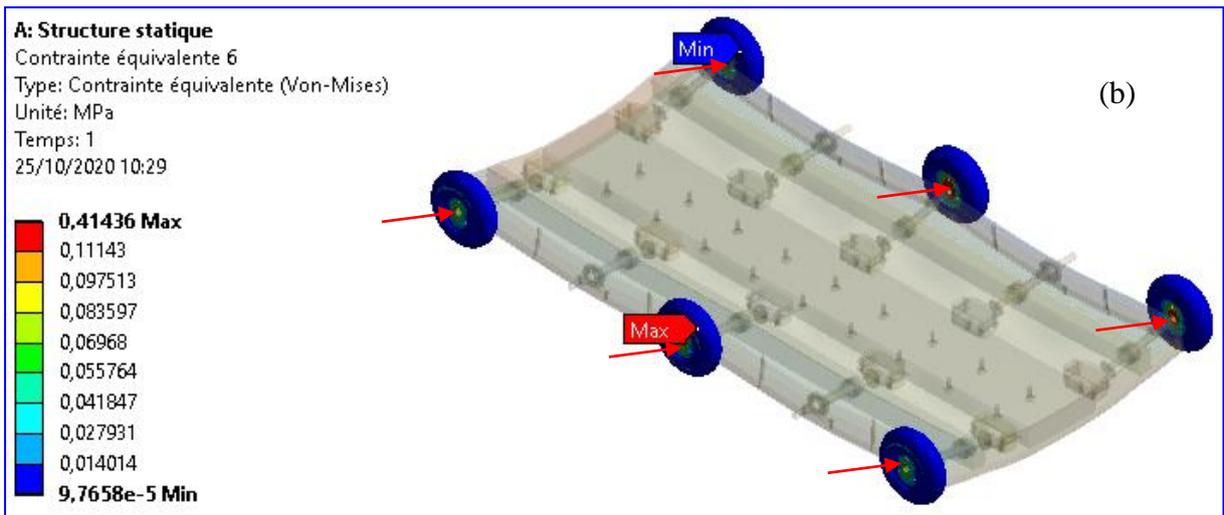
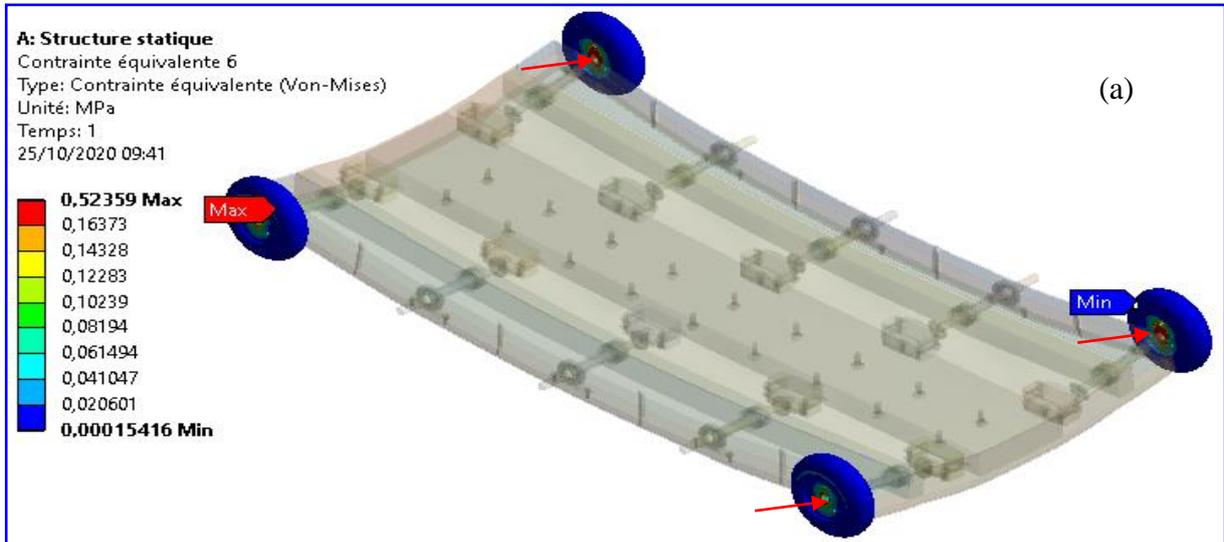


Figure III. 31. Distributions des contraintes de Von mises dans les roulements pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

Dans cette section, une analyse de la répartition des contraintes dans les roues élaborée en polyéthylène de très haut poids moléculaire (UHMWPE : Ultra High moléculaire Wight Polyéthylène) en fonction de la charge de compression a été effectuée. Les résultats de cette analyse montrent que les contraintes équivalentes les plus significatives sont localisées au voisinage de la zone de contact entre la surface intérieur de l'alésage de la roue avec la surface extérieur de l'axe (Figure III. 32). Ce comportement est dû aux effets des contraintes de compression engendrées par l'axe de la roue d'un côté, et des contraintes de tension résultant de la fixation du roue d'un autre coté. Notant que l'intensité de cette contrainte demeure faible et ne constitue aucun danger pour le système de robot mobile.

L'influence de la charge de compression P sur la distribution et l'intensité de contrainte équivalente dans les roues sont illustrée sur la (Figure III. 32). Comparativement à la première modèle de robot (Figure III. 32.a), le deuxième robot à 4 roues (Figure III. 32.b) engendre des contraintes d'intensité et de répartition différentes. Toutefois, la zone de contact avec l'axe de la roue est soumise à des contraintes de compression. Les valeurs élevées enregistrées dans cette partie sont dues à l'effet de contact. La traction de la roue avec l'axe dans la zone supérieure de la roue est à l'origine de l'augmentation de la contrainte équivalente. Dans sa partie supérieure la roue est moins sollicitée. Nous constatons dans cette Figure III. 32, la répartition des contraintes maximales de Von Mises diminuent en fonction du nombre des roues en polyéthylène ceci justifié que le polyéthylène joue un rôle très important d'absorption des contraintes et de minimisation dans les composantes du système de robot mobile.

3.10.7. Distribution des contraintes de Von Mises dans les roues en polyéthylènes



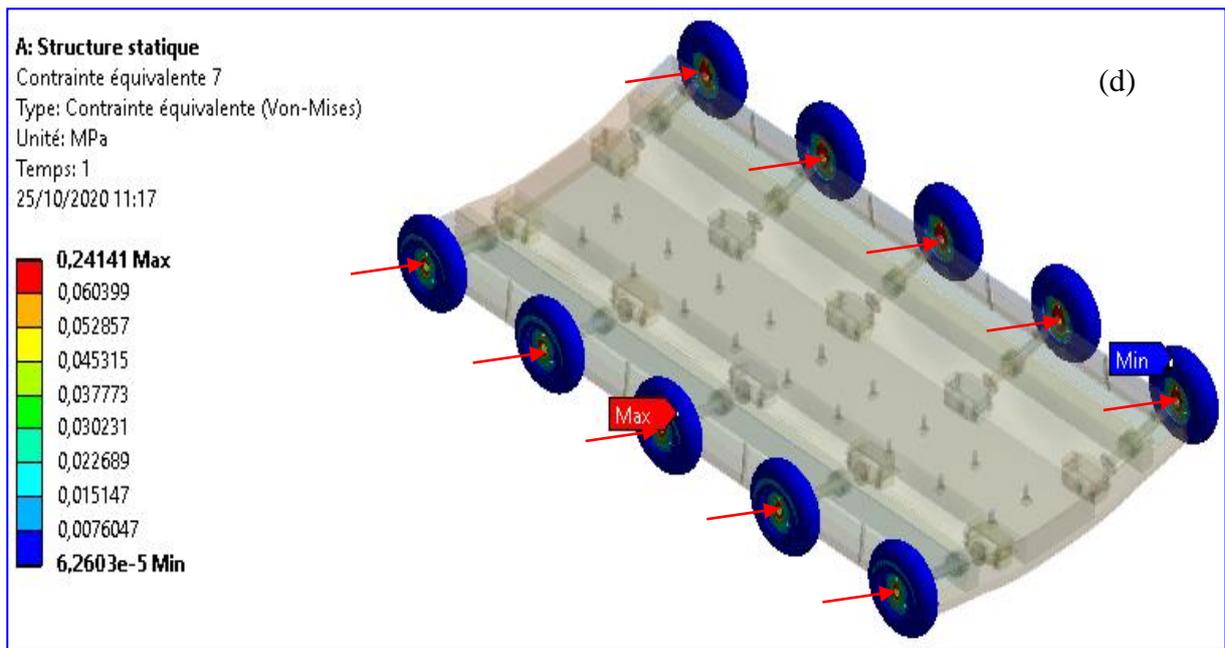


Figure III. 32. Distributions des contraintes de Von mises dans les roues en polyéthylène pour différents nombre des roues, (a) : 4 roues, (b) : 6 roues, (c) : 8 roues, (d) : 10 roues.

3.10.8. Comparaison des contraintes de Von Mises

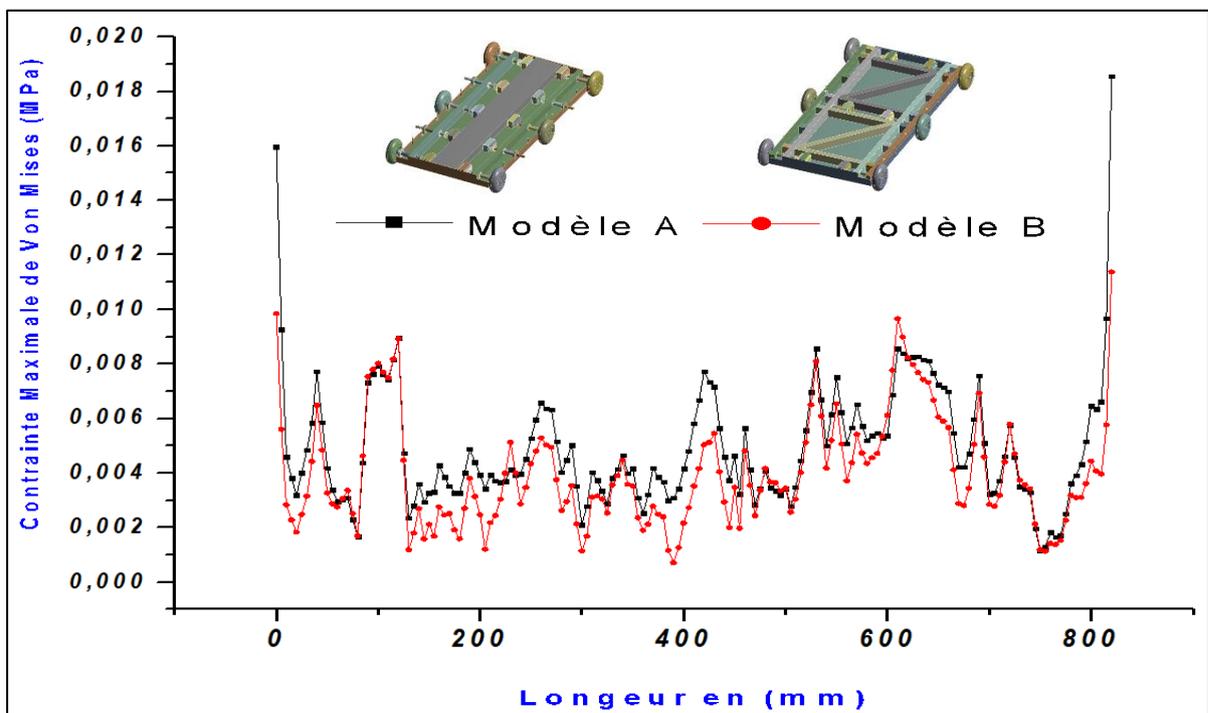


Figure III. 33. Graphe des contraintes de Von mises dans le robot mobile (profil longitudinale).

(a) : Modèle A, (b) : Modèle B.

Nos travaux de recherche ont porté sur un modèle 3D d'un robot mobile analysé par la méthode des éléments finis, afin d'étudier ses réactions pour un chargement de compression d'une part, et d'autre part sur l'analyse du comportement mécanique de l'ensemble châssis-roue.

Nous constatons dans la **Figure III. 33**, les variations de la contrainte équivalente dans le châssis inférieure pour deux types de robot mobile (Modèle A, Modèle B). Les résultats montrent que les valeurs importantes des contraintes de Von Mises sont obtenues pour le Modèle B, alors que les valeurs les plus faibles sont obtenues pour le robot renforcé par un châssis en AL6061 (6 roues). Notant que la valeur maximale est de 0.016MPa (dans le Modèle B), alors que la valeur minimale est de 0.01Mpa (dans le Modèle A). Dans ce cas-ci, nous concluons dans cette étude que le robot mobile renforcé par châssis en AL 6061 joue un rôle très important de diminution des contraintes de Von Mises et leurs minimisation.

De manière générale, Les résultats numériques de notre étude montrent que le modèle à robot mobile renforcé par châssis en AL6061 joue un rôle très important dans l'absorption et la minimisation des contraintes, le nouveau modèle de robot Mobile à 6 roues renforcé par un système de fixation rigide a donné un niveau de contraintes plus faible dans tous les composants du système de robot comparé à Modèle A. Les résultats obtenus fournissent une base théorique pour le choix d'un modèle de robot mobile approprié.

CONCLUSION :

L'objectif de notre étude était de trouver le moyen de minimiser l'effet des contraintes sur le châssis pour le rendre plus résistant.

Nous avons commencé par concevoir un modèle utilisant une poutre en composite au milieu pour le renforcement. En utilisant la méthode des éléments finies pour l'analyse, nous avons réalisé que notre modèle nécessite plus de roues afin de minimiser les contraintes.

Mais ceci, ne pouvait être réalisé en pratique, ce qui nous a conduit à chercher un autre modèle utilisant des structures de renforcement en alP uminium (plus léger et plus résistants). Ceci à permit de réduire le nombre de roues à 6 au total tout en maintenant les contraintes à un niveau acceptable.

On peut dire que la conception d'un châssis pour un robot mobile dépend du choix du matériau et de la forme de la structure mécanique d'un côté ainsi que de la maitrise des méthodes d'analyses de l'autre.

BIBLIOGRAPHIE :

Chapitre 1

[1] : https://books.google.dz/books?id=DGdwAwwAAQBAJ&pg=PT11&lpg=PT11&dq=statues+%C3%A9taient+l%E2%80%99effigie+de+leurs+dieux+comme+le+masque+tot%C3%A9mique+articul%C3%A9+%C3%A0+l%E2%80%99effigie+du+dieu+Anubis&source=bl&ots=m_BbPgIIVM&sig=ACfU3U3EXsqAqW467p9uiceJ4AJ0T6kVDQ&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwjJze3qObpAhV7C2MBHQMVB_oQ6AEwAHoECAwQAO#v=onepage&q=statues%20%C3%A9taient%20l%E2%80%99effigie%20de%20leurs%20dieux%20comme%20le%20masque%20tot%C3%A9mique%20articul%C3%A9%20%C3%A0%20l%E2%80%99effigie%20du%20dieu%20Anubis&f=false

[2] : <http://parisinnovationreview.com/article/une-breve-histoire-des-robots>

[3] : https://atelier-canope-95.canoprof.fr/eleve/Automates%20et%20robots/res/robot.dossierHtml/co/02clepsydreCtesibios_1.html

[4] : <https://atelier-canope-95.canoprof.fr/eleve/Automates%20et%20robots/res/robot.dossierHtml/co/1136alJazari.html>

[5] : https://atelier-canope-95.canoprof.fr/eleve/Automates%20et%20robots/res/robot.dossierHtml/co/horlogeJacquemart_1.html

[6] : <https://ichbiah.com/extraits/robots/histoire-des-robots.htm>

[7] : <https://www.timetoast.com/timelines/historique-des-robots-363914b2-0461-4df1-92c0-80e6ed2fa2c5>

[8] : Dr : BENDALI. N cour de Systèmes Mécaniques Articulés et Robotique

- [9] : <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/bitstream/123456789/1575/1/Th%C3%A8seDrHamani.pdf>
- [10] : <http://www.montefiore.ulg.ac.be/~lens/doc/tfe.pdf>
- [11] : <https://core.ac.uk/download/pdf/35401701.pdf>
- [12] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ch%C3%A2ssis>
- [13] : https://www.memoireonline.com/01/16/9368/m_Conception-et-realisation-d-un-robot-mobile--base-d-arduino3.html
- [14] : <https://www.motionsquare.fr/servomoteur-ou-moteur-pas-a-pas/>
- [15] : <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-fpga-8700/>
- [16] : <https://www.positron-libre.com/electronique/arduino/arduino.php>

Chapitre 2

- [1] : <https://www.crti.dz/word.php>
- [2] : INTRODUCTION A SOLIDWORKS 2015 PDF
- [3] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Vue_en_%C3%A9clat%C3%A9