



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



Mémoire présentée pour l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

ÉTUDE ET CONCEPTION D'UN SYSTEME 4RD AVEC OPTION INCLINAISON

Présenté par :

Abdelmoaiz AMMARI

Jaafar HANNED

Soutenu le : 20 Septembre 2020

Devant le jury :

Président	Mr Abdelyamine MEBARKI	MAA	UKM Ouargla
Examineur	Mr Adel HACINI	MAA	UKM Ouargla
Encadreur	Mr Mehdi KHALFI	MAA	UKM Ouargla

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très chers parents pour leurs sacrifices, leur
patience, leurs encouragements et leurs soutiens*

moraux tout le long de ma formation,

Mes frères, mes amis et mes camarades,

Mes enseignants et mes collègues d'étude.

Merci du fond du mon cœur.

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

Je tiens à remercier Mr. KHALFI M. pour son encadrement et son soutien.

Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail, En l'occurrence Mrs. HACINI A. et MEBARKI A. pour avoir accepté d'examiner le présent manuscrit.

J'exprime ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.

Table des matières

Liste des figures	vi
Introduction générale.....	1
Chapitre I Moyens de Transport Routier	3
I.1 Introduction	3
I.2 Types de transport urbain.....	3
I.2.1 Transport routier	3
I.2.2 Transport ferroviaire	4
I.2.3 Transport urbain métropolitain	4
I.2.4 Transport maritime.....	5
I.2.5 Transport aérien	5
I.3 Les moyens plus courants et utilisables dans les villes.....	5
I.3.1 Les automobiles	5
I.3.1.1 Importance d'automobile	6
I.3.1.2 L'automobile et l'encombrement.....	6
I.3.2 Transport en commun	7
I.3.2.1 Les bus	7
I.3.2.2 Métro.....	8
I.3.2.3 Tramway	9
I.3.3 Deux roue sans/avec motorisation	9
I.3.3.1 Moto.....	9
I.3.3.2 Vélo.....	10
I.4 Les polluants du véhicule.....	11
I.4.1 Le monoxyde de carbone	11
I.4.2 Les oxydes d'azote	11
I.4.3 Les hydrocarbures	11
I.4.4 Les oxydants photochimiques	12
I.4.5 Le plomb et ses dérivés	12
I.4.6 L'amiante.....	13
I.4.7 Odeurs	13
I.4.8 Effets sur la végétation et les matériaux	13
I.5 Energie consommée par le transport en Algérie.....	13
I.5.1 Consommation d'énergie en Algérie	13
I.5.2 Consommation dans le secteur de transport.....	14
I.6 Rôle économique des infrastructures de transport	14
I.7 Accidentologie	15
Chapitre II Suspension des Véhicules	16
II.1 Introduction	16
II.2 Définition	16
II.3 Rôle de la suspension	17

II.4	Géométrie du train roulant	17
II.4.1	Inclinaison du pivot de fusée	17
II.4.2	Angle de chasse.....	17
II.4.3	Angle de carrossage	18
II.5	L'essieu	19
II.5.1	Essieux rigides	19
II.5.1.1	Les essieux rigides à 4 bras.....	20
II.5.1.2	Les essieux rigides de Dion	20
II.5.1.3	Systèmes de restriction latérale.....	20
II.5.2	Essieux semi-rigides	22
II.5.3	Essieux indépendants	23
II.5.4	Essieu indépendant à bras tiré.....	24
II.6	Suspension avant Short Long Arm (SLA)	25
II.7	Suspension Mc Pherson	27
II.8	Suspensions arrière	28
II.8.1	Suspensions arrière multi-points.....	28
II.8.2	Suspensions arrière à bras tires	29
II.8.3	Suspensions arrière à bras semi tires	29
II.8.4	Suspensions arrière à bras oscillant	30
Chapitre III	Direction d'un Véhicule	32
III.1	Définition et fonctions	32
III.2	Géométrie de direction.....	32
III.2.1	Géométrie du train avant.....	32
III.2.2	Rapport de réduction de la direction.....	33
III.2.3	Condition de Jeanteau	34
III.2.4	Modélisation des systèmes de direction.....	34
III.3	Mécanismes de direction.....	35
III.3.1	Pivot.....	35
III.3.1.1	Cas de l'essieu rigide	35
III.3.1.2	Cas de l'essieu à roues indépendantes	35
III.3.2	La commande de pivotement.....	36
III.3.2.1	Mécanisme à sortie linéaire	36
III.3.2.2	Mécanisme à sortie rotative	36
III.3.2.3	Direction avec cheville ouvrière	37
III.3.2.4	Mécanisme quatre barres	38
III.3.2.5	Mécanisme de Davies	38
III.4	Assistance à la direction.....	39
III.4.1	Direction à assistance hydraulique.....	39
III.4.2	Direction à assistance électrique.....	40
III.5	Erreurs de Direction	41

III.5.1	Modification de la pince	41
III.5.2	Couplage roulis / braquage	41
III.6	Forces et moments sur le système de direction.....	42
III.6.1	Effet de la force vertical.....	42
III.6.2	Effet de l'inclinaison du pivot.....	43
III.6.3	Effet de la force latérale	44
III.6.4	Effet de la force de traction.....	45
III.6.5	Effet du moment d'alignement	45
III.6.6	Effets sous vireur	46
III.6.7	Stabilité en freinage	46
III.6.8	Effet de la traction avant	47
III.6.9	Composante du couple moteur.....	47
Chapitre IV	Etude et Conception du Quadcycle.....	49
IV.1	Introduction.....	49
IV.2	Objectifs du travail.....	50
IV.3	Caractéristiques ciblés.....	50
IV.4	Esquisses et idées primaires	51
IV.4.1	Système de direction	51
IV.4.1.1	Choix du système.....	51
IV.4.1.2	Erreur de la direction	54
IV.4.2	Système d'inclinaison	57
IV.4.2.1	Étude de stabilité du Quadcycle.....	57
IV.4.2.2	Comparaison des deux systèmes avec/sans inclinaison.....	59
IV.4.2.3	Mécanisme d'inclinaison	60
IV.5	Conception	61
IV.5.1	Suspension	61
IV.5.2	Mécanisme de direction	62
IV.5.3	Mécanisme d'inclinaison	63
IV.5.4	Système de combinaison direction-inclinaison.....	63
IV.5.5	Système de traction	66
IV.5.6	Système de freinage	68
IV.5.7	Présentation finale du Quadcycle.....	69
IV.5.7.1	Châssis et positionnement des sièges.....	69
IV.5.7.2	Carrosserie	70
IV.5.7.3	Dimensions du véhicule.....	70
IV.5.7.4	Design final.....	71
IV.6	Système de sécurité.....	72
IV.7	Prototype	73
Conclusion Générale	74
Bibliographie	76

Liste des figures

Figure I.1 : Transport routier.....	4
Figure I.2 : Transport ferroviaire.....	4
Figure I.3 : Transport métropolitain.....	4
Figure I.4 : Transport maritime.....	5
Figure I.5 : Transport aérien.....	5
Figure I.6 : Automobile.....	6
Figure I.7 : Diagramme de pourcentage du nombre de passagers par type de trajet (Scottish Household 2010).....	7
Figure I.8 : Distance parcourue par un conducteur citadin en île de France (Schulz 2008).....	7
Figure I.9 : Différents bus.....	8
Figure I.10 : Metro.....	9
Figure I.11 : Tramway.....	9
Figure I.12 : Moto.....	10
Figure I.13 : Vélo.....	10
Figure II.1 : L'inclinaison du pivot de fusée.....	17
Figure II.2 : Angle de chasse.....	18
Figure II.3 : Effet stabilisant du déport négatif.....	18
Figure II.4 : Angle de carrossage.....	18
Figure II.5 : Essieu rigide.....	19
Figure II.6 : Suspension à 4 bras.....	20
Figure II.7 : Suspension de Dion.....	20
Figure II.8 : Systèmes de restriction du mouvement latéral.....	21
Figure II.9 : Schématisation des liaisons d'un essieu rigide.....	22
Figure II.10 : Essieu semi rigide de la Golf.....	22
Figure II.11 : Types des essieux semi-rigides.....	23
Figure II.12 : Schématisation des liaisons d'un essieu semi rigide.....	23
Figure II.13 : Essieu indépendant.....	24
Figure II.14 : Suspension indépendante à bras tiré.....	24
Figure II.15 : Schématisation des liaisons du système double triangle et du system bras tiré.....	25
Figure II.16 : Suspension SLA avec bras en A.....	25
Figure II.17 : Variantes SLA (ressort sur le bras supérieur ou inférieur.....	26
Figure II.18 : Carrossage avec une suspension SLA.....	26
Figure II.19 : Effet des bras inégaux sur la variation de voie.....	26

Figure II.20 : Système Mc Pherson	27
Figure II.21 : Suspension 5 points Mercedes	28
Figure II.22 : Suspension 5 points de la Corvette	28
Figure II.23 : Suspension arrière à bras tires.....	29
Figure II.24 : Suspension arrière à bras semi tires	30
Figure II.25 : Suspension arrière à bras oscillant	30
Figure II.26 : Phénomène de jacking sur une suspension arrière à bras oscillant.....	31
Figure III.1 : Géométrie du train avant	32
Figure III.2 : Géométrie idéale de la direction pour une roue avec essieu indépendant	33
Figure III.3 : Mesure expérimentale du rapport de réduction de la direction d'un camion	33
Figure III.4 : Epure de Jeanteau	34
Figure III.5 : Modèle simplifié d'un système de direction.....	35
Figure III.6 : Pivot pour essieu rigides	35
Figure III.7 : Pivot pour train a roue indépendantes	35
Figure III.8 : Éléments de la direction à crémaillère.....	36
Figure III.9 : Direction à sortie rotative	37
Figure III.10 : Boîtier de direction à vis et secteur.....	37
Figure III.11 : Direction avec cheville ouvrière (à gauche) comparée avec une direction avec essieu brisé (à droite)	37
Figure III.12 : Mécanisme de Bricard	38
Figure III.13 : Mécanisme de Davies	38
Figure III.14 : Composition d'une direction à assistance hydraulique	39
Figure III.15 : Composition d'une direction à assistance électrique.....	40
Figure III.16 : Erreur de géométrie causant de la prise de pince / ouverture	41
Figure III.17 : Erreur de géométrie causant du sous virage	41
Figure III.18 : Définition SAE des forces et moments dan la direction.....	42
Figure III.19 : Force verticale sur la roue.....	43
Figure III.20 : Moment fictif de la direction de la roue	43
Figure III.21 : Variation du moment en fonction de l'angle de braquage.....	44
Figure III.22 : Effet de l'angle de chasse	44
Figure III.23 : Moment produit par une force latérale	45
Figure III.24 : Moment produit par une force de traction	45
Figure III.25 : Gradient sous vireur mesuré au volant et à la roue d'un camion.....	46
Figure III.26 : Changement dans le moment d'alignement lors du freinage.....	47

Figure III.27 : Force de traction agissante sur la roue.....	48
Figure IV.1 : Centres de rotation en cas d'angle de braquage égaux.....	52
Figure IV.2 : Illustration du mécanisme de Bricard dans le Quadcycle	52
Figure IV.3 : Variation des angles de braquage en fonction du rayon de braquage.	53
Figure IV.4 : Illustration de la solution adoptée comme système de braquage	54
Figure IV.5 : Paramètres du système de braquage choisi	55
Figure IV.6 : Illustration de la partie intérieure du système de braquage	55
Figure IV.7 : Illustration de la partie extérieure du système de braquage	56
Figure IV.8 : Courbe de résultats d'équations.....	56
Figure IV.9 : Influence d'accélération latérale sur le véhicule	58
Figure IV.10 : Déplacement du centre du gravite lors d'inclinaison	58
Figure IV.11 : Vmax en virages sans utilisation du système d'inclinaison	59
Figure IV.12 : Vmax en virages avec utilisation du système d'inclinaison.....	59
Figure IV.13 : Système anti roulis des formula-student.....	60
Figure IV.14 : Illustration du système d'inclinaison.....	60
Figure IV.15 : Influence du mouvement de la crémaillère sur l'angle de braquage	61
Figure IV.16 : Suspension avant	62
Figure IV.17 : Suspension arrière	62
Figure IV.18 : Système de direction avant.....	63
Figure IV.19 : Système d'inclinaison avant	63
Figure IV.20 : Crémaillère avant d'inclinaison.....	63
Figure IV.21 : Volant, cardans et crémaillères du mécanisme avant.....	64
Figure IV.22 : Cardan de transmission d'effort de braquage et inclinaison coté avant	64
Figure IV.23 : Cardan de transmission d'effort de braquage et inclinaison coté arrière	65
Figure IV.24 : Système arrière de braquage et inclinaison	65
Figure IV.25 : Mécanisme d'inclinaison arrière	66
Figure IV.26 : Bielle qui translaté la force pour braquage.....	66
Figure IV.27 : Système pédale chaine roue dentier	67
Figure IV.28 : Boite de transfert d'axe de rotation	67
Figure IV.29 : Cardan de transmission et différentiel.....	67
Figure IV.30 : Transmission de puissance aux roues.....	68
Figure IV.31 : Levier hydraulique (à gauche) et disque de frein de l'automobile de drift (à droite)	68
Figure IV.32 : Système de frein utilisé dans le Quadcycle	68

Figure IV.33 : Le châssis et positionnement des sièges	69
Figure IV.34 : Structure de véhicule	70
Figure IV.35 : Pare-brise-porte et vitres du Quadcycle	70
Figure IV.36 : Dimensions du Quadcycle	71
Figure IV.37 : Album photos du Quadcycle	72
Figure IV.38 : Systèmes de sécurité.....	73

INTRODUCTION GENERALE

Le grand développement technologique du monde à notre temps a ses avantages mais a aussi ses inconvénients principalement le réchauffement climatique, en plus la facilité d'obtention d'une voiture en termes de prix, de concurrence et d'abondance est un grand avantage mais elle a créé un problème d'encombrement dans les villes, ce qui a poussé les constructeurs automobiles, les ingénieurs, les intérêts environnementaux et les investisseurs à rechercher une solution radicale rentable financièrement ou écologiquement, même dans le temps nécessaire pour parcourir des distances par les personnes qui bénéficient de ces véhicules développés qu'elles soient électriques, à faibles ou nulles émissions.

Le transport routier -type de transport utilisant la route-, peut être combiné presque comme transporteur de fret et transporteur de personnes. Dans de nombreux pays, les exigences en matière de licences et les règles de sécurité garantissent la séparation de ces deux secteurs. La circulation routière peut se faire à vélo ou moto ou voiture ou bus ou camion. Dans peu de pays, le transport routier s'effectue toujours à grande échelle par des moyens humains (bicyclettes, ...) et à traction animale ; cependant dans les pays industrialisés, il est effectué surtout à l'aide des véhicules automobiles de tourisme ou industriels : voitures, camionnettes, camions et remorques.

Même si l'évolution des systèmes automobiles se poursuit dans de nombreux domaines (matériaux composites, moteurs mixtes, électronique, informatique, guidages, ...), les problématiques environnementales, liées aux gaz de combustion responsables de l'effet de serre, l'engorgement des villes et les conséquences sur la santé des populations préoccupent certaines nations et certains gouvernements.

Les populations et les pouvoirs publics de nombreux états tendent en effet à faire réduire ces émissions, par des moyens politiques, en rédigeant, par exemple, des protocoles internationaux (Sommet de la Terre, Protocole de Kyoto, Conférence de Copenhague) et en tentant de les faire appliquer. Dans ce cadre, diverses initiatives se sont développées, dont le ferroutage, qui consiste à faire transporter par trains et les camions. Cette méthode a néanmoins ses limites, car elle n'est rentable et réalisable que sur les longues distances, sans oublier le problème de sécurité : les poids lourds représentent un chiffre élevé des accidents mortels.

Une autre initiative est le choix récent d'incitation à une utilisation massivement utilitaire du vélo en ville est un choix soutenable économique et de santé publique.

Problématique :

Devenu claire après l'introduction, le problème est la souffrance confrontée dans le domaine du transport routier ; le surpeuplement, le bruit et la consommation excessive d'énergie qui entraînent une pollution de l'environnement, paralysent le trafic dans la ville et la propagation du bruit. Malgré la disponibilité de certaines solutions et moyens réduisant et limitant ces derniers, les problèmes en question ne sont pas résolus. Donc, une question se pose : que peut en faire de plus ?

Objectif :

Ainsi, nous visent dans ce travail à étudier et concevoir un véhicule écologique de taille réduite par rapport aux véhicules existant sur le parc automobile, lui permettant de circuler en toute souplesse sans impact sur l'environnement et avec le plus d'avantages possible.

Plan de travail :

Dans ce but, le présent document contient dans sa première partie une recherche sur les différents moyens de transport, les systèmes de suspension des véhicules ainsi si que ses systèmes de direction. La seconde partie et donc consacrée à l'étude et la conception d'un véhicule répondant aux exigences suscitées. Finalement, une conclusion mettra fin à ce travail.

MOYENS DE TRANSPORT ROUTIER

Chapitre I

I.1 Introduction

De plus en plus, les moyens de transport deviennent très importants dans notre vie et l'homme n'a pas cessé de les évoluer au fil du temps ; ils sont devenus confortables, rapides et modernes. Cependant, ils présentent des inconvénients à l'environnement et à l'humanité.

Indispensables pour toute mobilité, ils nous offrent le plaisir, ces engins offrent un certain confort et un plaisir pour l'homme. En effet, en quelques heures, il peut arriver au bout du monde pour profiter de ses vacances, en se protégeant des rayons du soleil en été et du froid en hiver.

I.2 Types de transport urbain

I.2.1 Transport routier

C'est le type qui nous intéresse le plus dans nos recherches, par définition, c'est un transport terrestre qui permet le déplacement de personnes ou de marchandise à bord de différents moyens : voitures, camions, bus ... etc. Le transport de personnes, comme le transport de marchandises, peut être effectué pour compte propre, lorsqu'il n'a pas pour objet de transporter autrui dans un but lucratif, ni ses marchandises. Il est dénommé transport pour compte d'autrui, ou « transport public », dès lors que ce ne sont plus ses propres biens qui sont transportés. Le transport de personne peut être « individuel » ou « collectif », dans le cas des transports en commun.(1)



Figure I.1 : Transport routier

I.2.2 Transport ferroviaire

Un réseau ferroviaire est un ensemble de lignes de chemin de fer, de gares et d'installations techniques diverses qui permet la circulation de convois ferroviaires ou trains dans un ensemble géographique donné, région, pays, continents. Un réseau ferroviaire se caractérise par un certain nombre de normes techniques et d'exploitation (1)



Figure I.2 : Transport ferroviaire

I.2.3 Transport urbain métropolitain

Le monde a évolué très rapidement au cours du XX^{ème} siècle, la population urbaine s'est accrue aussi. Les villes explosent, leurs périphéries ne sont plus lisibles, le trafic routier devient intense et les voies saturées, la nécessité exige des transports plus rapides, les transports urbains (le chemin de fer souterrain) sont donc nés.(1)



Figure I.3 : Transport métropolitain

I.2.4 Transport maritime

Le transport maritime consiste à déplacer des marchandises ou des hommes par voie maritime, Le transport maritime est le mode de transport le plus important pour le transport de marchandises le temps que le transport de personnes par voie maritime a perdu d'importance.(1)



Figure I.4 : Transport maritime

I.2.5 Transport aérien

Le dernier mode de transport apparu au XX^{ème} siècle c'est celui qui connaît la croissance la plus rapide, le transport aérien a participé à une réduction considérable des distances. Le transport aérien a pour vocation d'être un vecteur d'échanges entre les états. Dans un monde qui se veut aujourd'hui ouvert où la fiabilité et la rapidité des échanges (passagers et marchandises) sont des facteurs importants d'intégration et de développement économique.(1)



Figure I.5 : Transport aérien

I.3 Les moyens plus courants et utilisables dans les villes

I.3.1 Les automobiles

Le terme populaire automobile est une simplification historique de l'expression voiture légère automobile qui désigne un véhicule à roues, motorisé et destiné au transport terrestre de quelques personnes et de leurs bagages. L'abréviation populaire « voiture » est assez courante, bien que ce terme désigne de nombreux types de véhicules qui ne sont pas tous motorisés.

L'automobile s'est progressivement imposée dans les pays développés comme le principal mode de transport pour la circulation des individus et des marchandises. Son industrie a été l'un des secteurs les plus importants et les plus influents depuis le début du XX^{ème} siècle.(2)



Figure I.6 : Automobile

I.3.1.1 Importance d'automobile

Aujourd'hui, l'automobile est probablement l'un des objets technologiques qui participe le plus à structurer la vie sociale et les représentations du monde industrialisé. Ce formidable outil de mobilité est au centre de la vie quotidienne de chacun, elle a connu une seconde révolution industrielle, par la combinaison de défis de différentes natures : géopolitiques et énergétiques, technologiques et industriels, économiques et financiers, sociétaux et humains.

L'automobile, outil de liberté et d'autonomie a conquis, en un siècle, une place essentielle dans la société. Son développement a contribué à façonner nos territoires et particulièrement l'espace urbain.(3)

I.3.1.2 L'automobile et l'encombrement

Bien que la voiture soit un moyen de transport qui offre un grand confort aux passagers, elle est l'une des causes les plus courantes de congestion routière, ceci est prouvé par les études de mobilité des individus. Par exemple, une étude prenant le cas de la région Ile de France, considérant l'utilisation de la voiture par une personne seule a montré que cela se fait pour plus de 50% des cas sur un trajet de moins de vingt kilomètres (Schulz 2008).(3)

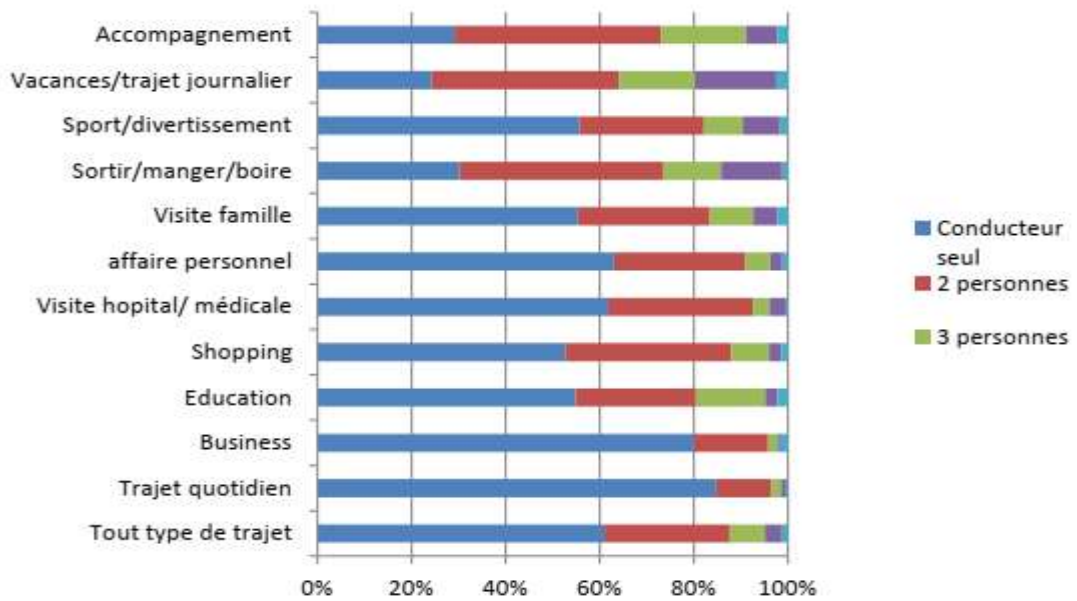


Figure I.7 : Diagramme de pourcentage du nombre de passagers par type de trajet (Scottish Household 2010)



Figure I.8 : Distance parcourue par un conducteur citoyen en île de France (Schulz 2008)

I.3.2 Transport en commun

I.3.2.1 Les bus

Un autobus est un véhicule de transport routier de voyageurs en milieux urbain/périurbain et suburbain. C'est l'un des principaux types de véhicules employé dans les transports en commun. Il est destiné au transport d'un grand nombre de personnes pour réduire la congestion ainsi que les coûts de transport, Il est considéré comme l'une des meilleures solutions pour se déplacer en ville, mais comme il présente des avantages a des inconvénients.(4)

On distingue différents types de bus :

- **Minibus** : terme utilisé pour les véhicules ayant une capacité de voyageurs comprise entre 8 et 30 sièges.
- **Midibus** : de longueur entre 8 et 10 mètres ; il est prévu pour transporter entre 30 et 80 passagers, et donc pour des lignes urbaines à fréquentation moyenne ou faible.
- **Bus standard** : d'une capacité totale d'environ 100 passagers.
- **Bus à impériale** : à deux niveaux, dont l'étage supérieur peut être décapotable ou carrossé. Ces bus sont très répandus dans le monde entier soit pour utilisation touristique ou de transport en commun, mais cette dernière utilisation est moins courante.
- **Bus articulé et bi-articulé** : utilisé parfois pour les lignes urbaines à fort trafic, ce bus est constitué de deux parties rigides reliées entre elles par un axe de pivotement. Sa longueur varie de 17 à 20 mètres et allant jusqu'à 30 mètres pour les bus bi-articulé ; leur capacité est notable (jusqu'à 200 passagers).



Minibus



Midibus



Bus standard



Bus à impériale



Bus articulé

Figure I.9 : Différents bus

I.3.2.2 Métro

C'est un transport souvent associé à la ville : le subway de New York, le métropolitain de Paris. Ce moyen de transport se retrouve principalement dans les grosses agglomérations.(4)



Figure I.10 : Metro

I.3.2.3 Tramway

Le tramway, plus couramment le tram, est une forme de transport en commun urbain ou interurbain à roues en acier circulant sur des voies ferrées équipées de rails plats, et qui est soit implanté en site propre, soit encastré à l'aide de rails à gorge dans la voirie routière.(4)



Figure I.11 : Tramway

I.3.3 Deux roue sans/avec motorisation

I.3.3.1 Moto

Une motocyclette, plus couramment désignée par son abréviation moto, est un véhicule motorisé, sans carrosserie, à deux roues le plus souvent monotraces, pouvant être équipé d'un side-car. Inventée au XIX^{ème} siècle dans le même temps que les premiers moteurs thermiques, les motos se déclinent aujourd'hui en plusieurs types selon leurs usages : sportive, super motard, routière, tout chemin, etc. Le conducteur, appelé cyclomotoriste, motard ou motocycliste, y est assis à califourchon sur la selle, les mains tiennent le guidon et les pieds sont sur des repose-pieds. Un passager peut se tenir à califourchon derrière le pilote si la motocyclette est conçue pour (selle et repose-pieds dédiés).(5)



Figure I.12 : Moto

I.3.3.2 Vélo

Une bicyclette, ou un vélo (abréviation du mot vélocipède), est un véhicule terrestre à propulsion humaine entrant dans la catégorie des cycles et composé de deux roues alignées, qui lui donnent son nom. La force motrice est fournie par son conducteur (appelé « cycliste »), en position le plus souvent assise, par l'intermédiaire de deux pédales entraînant la roue arrière par une chaîne à rouleaux.

La roue avant est directrice et assure l'équilibre. Son orientation est commandée par un guidon. Le cycliste a souvent les deux mains en contact avec le guidon afin de contrôler la trajectoire, le freinage ainsi que le passage des vitesses.

La bicyclette est l'un des principaux moyens de transport dans de nombreuses parties du monde. Son efficacité énergétique est particulièrement élevée. Sa pratique, le cyclisme, constitue à la fois un usage quotidien de transport, un loisir populaire et un sport.(5)



Figure I.13 : Vélo

I.4 Les polluants du véhicule

Les effets physiopathologiques des principaux polluants des gaz d'échappement ont été étudiés dans un très grand nombre de pays (U.S.A., U.R.S.S., Grande-Bretagne, Japon, Allemagne, France, etc.) et ont fait l'objet de nombreuses réunions internationales, en particulier au sein de l'Organisation Mondiale de la Santé.

L'importance des travaux scientifiques relatifs aux effets physiopathologiques des polluants émis par l'automobile ne signifie pas, pour autant, que des réponses précises peuvent être fournies pour caractériser notamment l'action à moyen ou long terme de faibles doses de ces polluants sur l'organisme humain.

C'est la synthèse des informations disponibles qui est exposée brièvement pour présenter les conséquences biologiques du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote, des hydrocarbures, des oxydants et du plomb présents dans l'environnement.(6)

I.4.1 Le monoxyde de carbone

L'importance des émissions provenant notamment des moteurs à allumage commandé a conduit à considérer le monoxyde de carbone comme le polluant témoin de la circulation automobile. L'action biologique du CO est particulièrement bien connue. Son affinité avec l'hémoglobine du sang conduit à la formation de la carboxyhémoglobine, produit relativement stable qui réduit les quantités d'hémoglobine disponibles pour assurer le transport de l'oxygène aux cellules de l'organisme.

Les conséquences toxicologiques résultant d'une augmentation du taux de carboxyhémoglobine dans l'organisme intéressent principalement le système cardiovasculaire et le système nerveux central.

I.4.2 Les oxydes d'azote

Les véhicules à moteur sont surtout à l'origine d'émissions de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO₂) et le rapport $\frac{NO}{NO_2}$ élevé est un indicateur de la pollution automobile.

I.4.3 Les hydrocarbures

Les véhicules automobiles sont à l'origine d'émissions d'hydrocarbures légers qui ne semblent pas avoir, aux concentrations actuelles, d'effets directs sur la santé. Leur rôle est

néanmoins primordial dans le processus de formation du brouillard photochimique. Les véhicules sont également responsables de l'émission d'hydrocarbures polycycliques lourds dont le pouvoir carcinogène a été mis en évidence au cours d'expérimentations sur l'animal.

Cependant, rien ne démontre que ces produits jouent un rôle appréciable dans la genèse du cancer du poumon aux quantités normalement présentes dans l'air. Malgré tout, en raison de leurs propriétés carcinogènes, les émissions de ces produits dans l'environnement doivent être réduites de manière que l'ampleur du risque soit limitée.

I.4.4 Les oxydants photochimiques

Indépendamment de leurs propriétés spécifiques, les hydrocarbures et les oxydes d'azote interviennent dans le processus de formation du smog photochimique. La présence d'aldéhydes, d'acroléine et l'apparition d'ozone et de produits secondaires comme le nitrate de péroxyacétyle dans l'atmosphère des zones urbaines occasionnent une gêne indiscutable à la population.

Outre qu'ils contribuent à réduire la visibilité et, par voie de conséquence, altèrent le bien-être et la sécurité des personnes, ces polluants ont des propriétés agressives observées dans les zones caractérisées par une climatologie et une topographie particulières. Ses effets se manifestent par une irritation non seulement oculaire pouvant aller jusqu'au larmoiement, mais aussi une irritation des muqueuses du nez, de la gorge et des oreilles dès que, dans ces polluants, la concentration en ozone dépasse 0,1 ppm.

I.4.5 Le plomb et ses dérivés

L'accroissement de la consommation d'essence, qui contient des dérivés organiques du plomb (plomb tétraéthyle et plomb tétraméthyle), a contribué à favoriser la dispersion du plomb dans l'environnement.

Dans les conditions normales d'utilisation du véhicule, les émissions de plomb organique ne représentent qu'un faible pourcentage du plomb total retrouvé dans les gaz d'échappement ; ils n'ont pas, de ce fait, une signification toxicologique.

Le plomb minéral, qui se présente sous forme micro particulaire, est composé d'oxydes et d'halogénures de plomb. Sa granulométrie inférieure à 1 μ laisse supposer un fort pourcentage de pénétration des particules dans l'alvéole pulmonaire; ce pourcentage est, en tout état de cause, supérieur à celui du plomb d'origine industrielle.

I.4.6 L'amiante

L'amiante imputable aux véhicules automobiles résulte de l'usure des garnitures de freins. On ne dispose guère de données sur la part qui incombe à l'automobile de la pollution de l'environnement par l'amiante. Des recherches s'avèrent donc nécessaires pour évaluer l'importance des émissions provenant des garnitures de freins et apprécier l'impact sanitaire de l'amiante ayant cette origine.

I.4.7 Odeurs

Les odeurs représentent plus une gêne qu'un effet à proprement parler dommageable pour la santé. Elles contribuent, cependant, à altérer le bien-être de la population et leur rôle ne doit pas être, de ce fait, sous-estimé.

I.4.8 Effets sur la végétation et les matériaux

Les effets les mieux connus actuellement aux teneurs rencontrées dans l'environnement sont ceux du brouillard photochimique oxydant sur la végétation et sur les matériaux. Mais des expériences récentes ont montré que le dioxyde d'azote, associé à du dioxyde de soufre, provoquait des effets sur la végétation.

I.5 Energie consommée par le transport en Algérie (7)

I.5.1 Consommation d'énergie en Algérie

Selon le bilan énergétique national du ministère de l'Énergie (2018), la production commerciale d'énergie primaire a atteint 165.2 Millions de Tonne équivalent pétrole (M.Tep), en plus des importations qui sont de l'ordre de 1.5 M.Tep. Sur l'ensemble de l'énergie disponible, la consommation nationale représente plus d'un tiers (39.3%), soit 65 M.Tep. Le reste de l'énergie produite, soit 60% représentant 100.8 M.Tep, est destiné à l'exportation.

La consommation finale s'élève à 48.1 M.Tep et se répartit comme suit : Industrie et BTP: 10.5 ; Transport: 15.3 ; Ménages & autres: 22.4. On remarque que le secteur de transport est à l'origine de la consommation d'un tiers de l'énergie (32%) et vient après le plus grand secteur de consommation représenté par : les ménages et autres (les administrations et les activités de services).

I.5.2 Consommation dans le secteur de transport

L'énergie consommée par les transports est répartie entre le transport routier qui domine la consommation avec 92%, suivi du rail et de l'aérien qui représentent chacun 4%. Le transport maritime qui est plus utilisé dans les acheminements du commerce extérieur n'est pas tenu compte en raison de l'absence de données en la matière.

À l'instar des autres pays, le transport en Algérie est un secteur qui utilise principalement les énergies fossiles (52% de gasoil, 40% d'essence, 6% de GPL et 2% d'électricité). En termes de service procuré, le transport routier domine avec 97% des déplacements de personnes et des marchandises et le ferroviaire participe à près de 2,5% et l'aérien à moins de 1%.

Le transport routier est donc le secteur qui doit, en premier lieu, constituer le centre d'intérêt pour toute vision de rationalisation de la consommation d'énergie. Afin de mieux appréhender ce secteur.

D'autre part, le parc national automobile (PNA) a franchi la barre de six millions de véhicules à partir de 2017 : sur 10 ans seulement, il a presque doublé, en passant de 3.9 millions à 6,4 millions entre 2008 et 2018 ; le véhicule de tourisme, la camionnette et le camion occupent une place très importante dans le PNA respectivement de 65%, 19 % et 7%.

Le véhicule de tourisme est encouragé par des facteurs socioéconomiques (prix bas de carburants, facilitation des crédits automobiles et l'ouverture du marché à l'importation...) et par l'incapacité des transports en commun à répondre à la demande de mobilité.

I.6 Rôle économique des infrastructures de transport

La croissance économique est un sujet qui n'a cessé de préoccuper les économistes et les décideurs publics, de même que la possibilité de transporter des biens et l'accès à de nouveaux marchés. Les infrastructures de transport permettent de répondre à un besoin fondamental que nécessite l'activité économique qui est la mobilité des facteurs de production.

En effet, la mobilité qu'offrent les infrastructures de transport constitue un élément indispensable du développement économique impliquant des restructurations spatiales et des coûts pour la collectivité qu'il convient d'inclure dans les choix publics.

Au sein d'un espace économique donné, la mise en place d'infrastructures de transport est un élément important de la politique économique. Elle implique une vision multimodale cohérente avec les besoins actuels et anticipative par rapport aux évolutions de l'activité

économique. En effet, l'évaluation et la planification de tels projets détermine leur retombées économiques et sociales à court et à long terme.

I.7 Accidentologie

A l'intérieur des déplacements par la route, il existe aussi des variations importantes entre les piétons, les cyclistes, les motocyclistes, les occupants des voitures et les passagers des autobus et des camions. De plus, les risques pour ces usagers de la route varient beaucoup selon la composition du trafic et, donc, selon les pays. En général, dans les pays à revenu élevé, ce sont les utilisateurs de deux roues motorisés qui courent le plus de risques.

Dans les pays de l'Union européenne, les utilisateurs de deux-roues motorisés risquent vingt fois plus d'être tués que les occupants d'une voiture. Il est de sept à neuf fois moins dangereux de se déplacer en voiture qu'en vélo ou à pied, mais il reste dix fois plus dangereux de voyager en voiture qu'en autobus. Tous ces risques relatifs sont calculés sur la base de la distance parcourue. Même si l'on prend en compte les risques qui se présentent pendant le déplacement à pied ou à bicyclette avant et après un déplacement en train et en autobus, les transports en commun restent plus sûrs que la voiture, du point de vue de la sécurité collective de tous les usagers. En outre, le climat influence beaucoup le choix du moyen de transport. Des températures extrêmes limitent nettement le cyclisme et la marche, le coût des traumatismes des utilisateurs de deux-roues motorisés dus aux accidents de la circulation est plus élevé que celui de tout autre mode de transport.

Chapitre II

SUSPENSION DES VEHICULES

II.1 Introduction

Vu que notre travail vise à concevoir un système à quatre roues directrices, nous avons consacré le présent chapitre à l'étude des différents systèmes de direction et de suspension de véhicule existants pour en tirer des idées pour notre véhicule biplace.

II.2 Définition

La suspension sur un véhicule est le terme donné au système composé de ressorts, des amortisseurs et des liaisons mécaniques qui connectent le châssis du véhicule aux roues. Dans l'automobile, les suspensions poursuivent deux objectifs contraires : le confort du passager et la tenue de route du véhicule. Le sol n'étant jamais parfaitement plan, les imperfections font rebondir les roues de façon d'autant plus dangereuse que la vitesse est élevée.(8)

En même temps qu'elle assure le confort des passagers, la suspension a donc pour fonction de maintenir aussi constant que possible le contact des roues avec le sol. L'amortisseur joue le rôle central dans une suspension en répondant à un double objectif : il contraint l'élasticité du ressort de suspension et limite les mouvements oscillatoires du véhicule ; d'autre part, il freine le rebond des roues sur les obstacles et maintient celles-ci en contact avec le sol

Généralement ; une suspension comprend les éléments suivants :

- Un mécanisme (généralement appelé essieu) permettant le mouvement de la roue pour suivre les irrégularités de la route tout en assurant son contrôle et son guidage, c'est un corps rigide relié par des joints cinématiques.
- Des éléments élastiques et dissipatifs interposés entre le châssis et le train roulant :
 - Ressorts à lames ou hélicoïdaux, masses élastiques, gaz ou fluide comprimé
 - Amortisseurs hydrauliques ou à gaz, passifs, actifs ou semi-actifs
 - Joints flexibles

II.3 Rôle de la suspension

Les raisons d'être de la suspension sont :

- Permettre aux roues de suivre les irrégularités de la route,
- Empêcher la flexion et la torsion du châssis et les contraintes qui en résulteraient,
- Permettre aux roues de rester en contact avec le sol pour conserver une adhérence maximale et éviter la perte de contrôle de la trajectoire du véhicule,
- Éviter le décollement du sol de l'ensemble véhicule / roues à grande vitesse,
- Garder avec une variation de charge minimale,
- Réduire l'inconfort des passagers ou la détérioration des marchandises transportées.

II.4 Géométrie du train roulant

II.4.1 Inclinaison du pivot de fusée

- Amène le point de percée de l'axe de rotation en braquage à proximité du plan de symétrie de la roue
- Réduit les efforts transmis dans la direction
- Donne de la force de rappel en position de ligne droite proportionnelle au poids

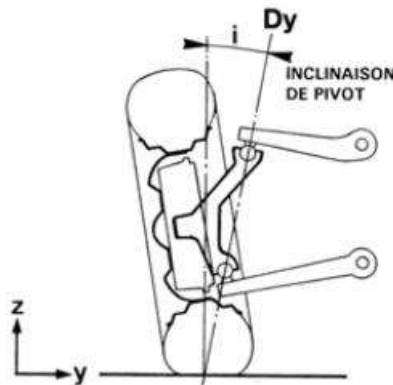


Figure II.1 : L'inclinaison du pivot de fusée

II.4.2 Angle de chasse

Les forces latérales sont appliquées au point de percée avec un bras de levier d'une chasse positive permet d'accentuer le rappel de la roue en position de ligne droite et donc à augmenter la stabilité.

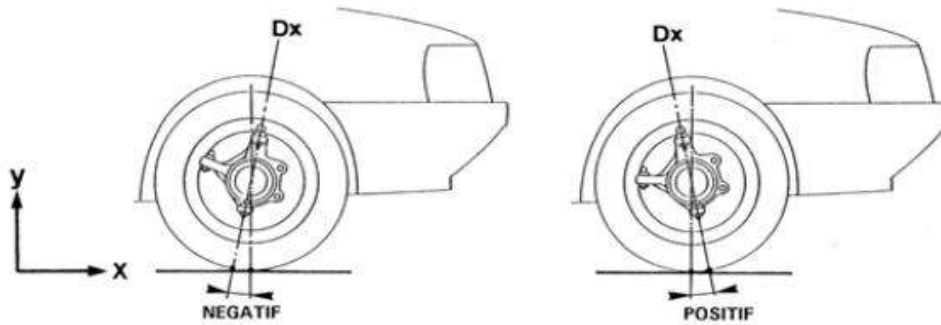


Figure II.2 : Angle de chasse

Le déport négatif au sol a une influence sur la stabilité au freinage. Lors d'un freinage sur un sol non homogène, le déport négatif crée un effort de braquage et donc un couple de pivotement des roues qui tend à corriger un moment de lacet lors d'un freinage différentiel sur les roues gauche et droite. Le déport a également un effet sur le confort.

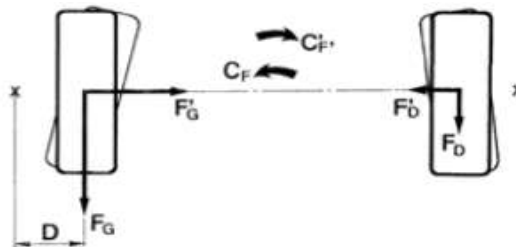


Figure II.3 : Effet stabilisant du déport négatif

II.4.3 Angle de carrossage

L'angle de carrossage est l'angle du plan de la roue avec l'axe vertical. Le carrossage est positif si la roue penche vers l'extérieur de la voiture

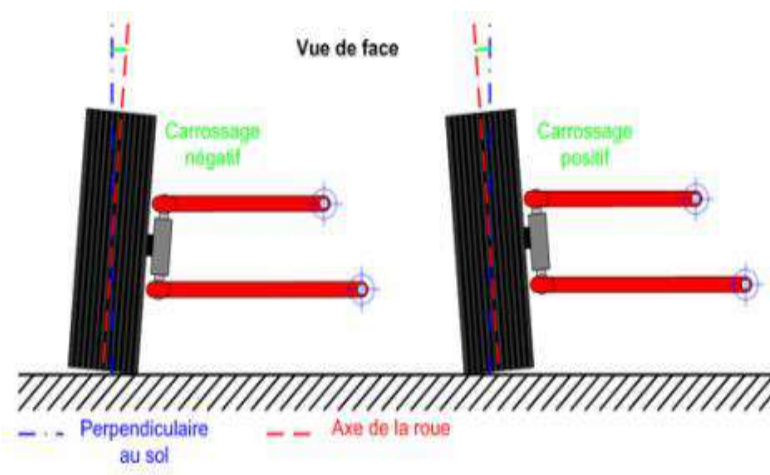


Figure II.4 : Angle de carrossage

Le carrossage toujours très faible peut être positif ou négatif ou nul. Un carrossage exagéré provoquerait :

- La convergence ou la divergence des roues par roulage sur la génératrice d'un cône,
- Un braquage intempestif sur chaussée bombée,
- Une usure anormale des pneumatiques.

II.5 L'essieu

C'est l'ensemble des organes qui relie la roue au châssis à l'exception des éléments de direction et des dispositifs de suspension (amortisseurs, ressorts, vérins, etc.). Les choses ne sont pas aussi claires en pratique car l'optimisation de la suspension fait que des organes jouent à la fois un rôle de guidage et un rôle de suspension. Les essieux comprennent donc les organes de guidages mais aussi dans certains cas des organes de transmission.

II.5.1 Essieux rigides

Sur les essieux rigides, les roues sont montées aux deux extrémités d'un arbre (rigide) de sorte que les mouvements d'une roue sont transmis à l'autre roue. Les roues ont des mouvements de carrossages et de braquage communs. Les essieux rigides moteurs sont utilisés sur beaucoup de camions ou même sur certaines voitures

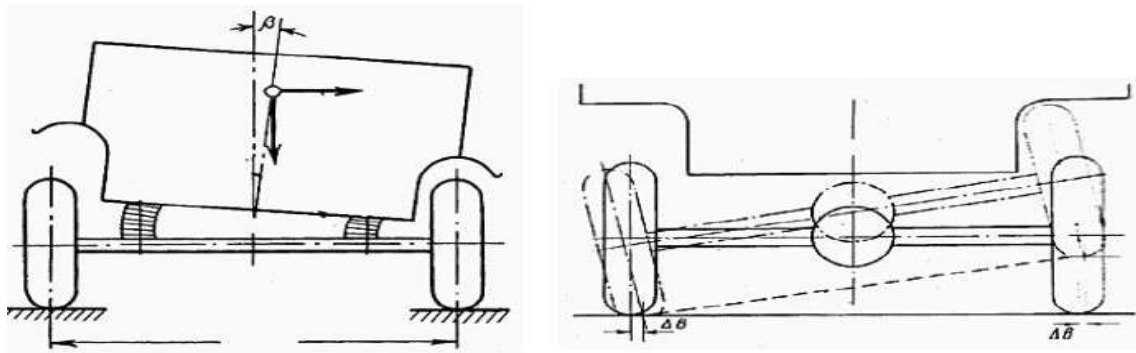


Figure II.5 : Essieu rigide

Les essieux rigides présentent un désavantage majeur de sensibilité aux vibrations de shimmy (flottement) de braquage, cependant ; le carrossage des roues n'est pas affecté par le roulis du châssis ou les inégalités de la route, donc on a l'avantage d'une faible prise de carrossage des roues en virage, (excepté celui de la compression différente des pneus à cause du transfert de charge latéral).

II.5.1.1 Les essieux rigides à 4 bras

C'est maître choix pour les voitures assez larges avec essieu arrière moteur, ils répondent aux difficultés des ressorts à lame ;les bras inférieurs assurent le contrôle longitudinal tandis que les bras supérieurs absorbent les couples de freinage et de traction et les efforts latéraux.

Les bras supérieurs peuvent être remplacés par un bras triangulaire, mais la fonction reste similaire

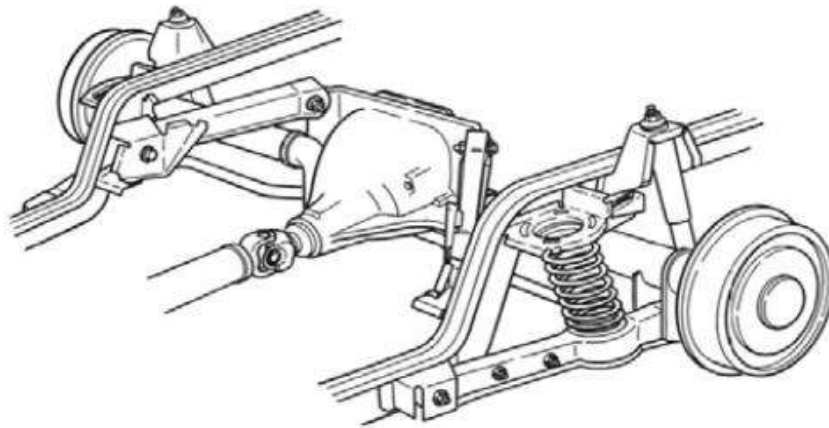


Figure II.6 : Suspension à 4 bras

II.5.1.2 Les essieux rigides de Dion

A mi-chemin entre les suspensions à essieu rigide et les suspensions indépendantes, on trouve le système de Dion (breveté par le conte de Dion et Georges Bouton en 1894). Dans ce système (peu répandu), le différentiel est monté sur le châssis et relié aux roues par des demi-arbres. La poutre reliant les deux portes roues est courbée pour éviter le différentiel.

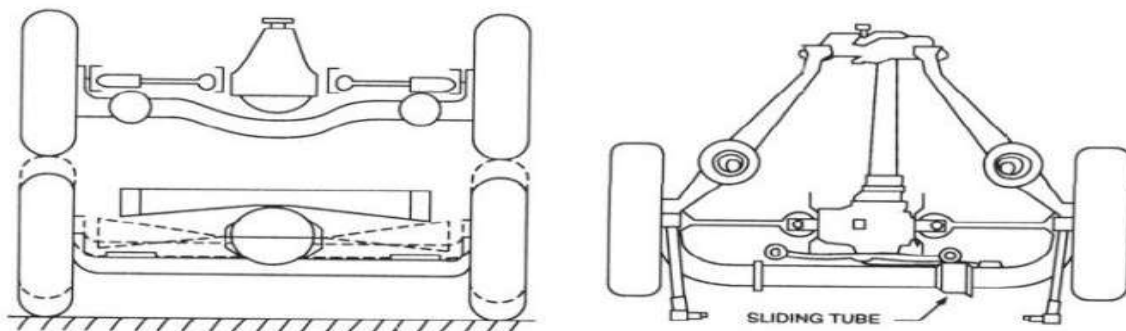


Figure II.7 : Suspension de Dion

II.5.1.3 Systèmes de restriction latérale

De nombreux éléments peuvent être mise en place pour contraindre le mouvement latéral d'un essieu rigide :

- Paire de bras
- Bras en triangle
- Barre de Panhard
- Liaison de Watt
- Pivot dans une glissière

Lorsque l'essieu monte et descend il est nécessaire de maintenir son mouvement linéaire le long d'un axe vertical ; La paire de bras, le triangle, la liaison de Watt et le pivot donnent tous lieu à un mouvement linéaire

La barre de Panhard crée un mouvement circulaire autour du point d'encrage. Le mouvement linéaire est approché. Les systèmes doivent également transmettre des forces de réaction entre masses suspendues et non-suspendues.

- Transmission de manière purement latérale sans composante verticale,
- Ce couplage doit être contrôlé parce qu'il tend à varier avec la hauteur de conduite et l'angle de roulis de la suspension,
- Les paires de bras, le triangle, le tenon glissière n'introduisent pas de couplage,
- Présence de couplages parasites latéraux verticaux avec la liaison de Watt et la barre de Panhard (fonction de l'angle de la barre).

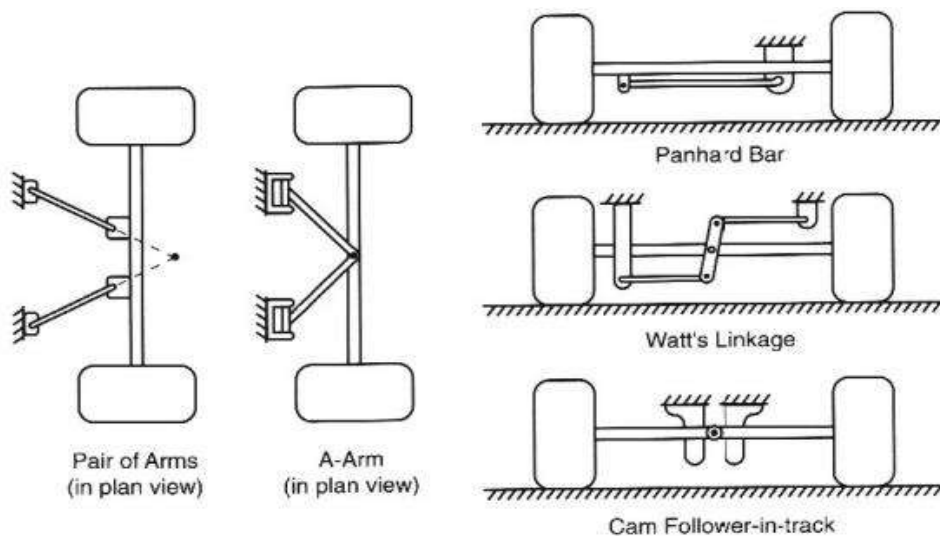


Figure II.8 : Systèmes de restriction du mouvement latéral

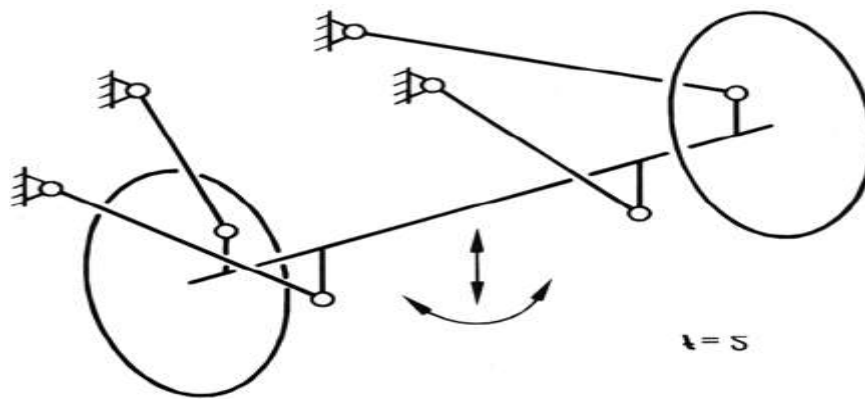


Figure II.9 : Schématisation des liaisons d'un essieu rigide

II.5.2 Essieux semi-rigides

Famille d'essieux assez récente utilisés pour l'essieu arrière sur des voitures à traction avant. L'origine de leur nom vient d'une poutre d'essieu qui doit être mise en torsion pour permettre le mouvement de roulis de la voiture. La cinématique permet le contrôle de tous les paramètres exceptés l'anti-squat.



Figure II.10 : Essieu semi rigide de la Golf

C'est le type le plus simple : si on schématise à l'extrême, il s'agit de bras longitudinaux fixés au châssis, articulés par des roulements, et complétés par un ressort et un amortisseur. Dans certains cas, les ressorts hélicoïdaux sont remplacés par des barres de torsion.

Ce type de suspension est très compact, par contre il ne permet pas de transmettre un couple moteur aux roues, c'est pourquoi on trouve ce système uniquement sur le train arrière des voitures à traction avant.

Il existe trois types de géométrie selon la position de la poutre de torsion.

- **Type a:** poutre de torsion au niveau des bagues. Assez semblable à la suspension indépendante à train tiré.
- **Type b:** poutre de torsion à mi-chemin entre les coussinets et les centres des roues.

- **Type c:** poutre de torsion dans l'axe des roues Requiert une barre de Panhard pour le contrôle latéral.

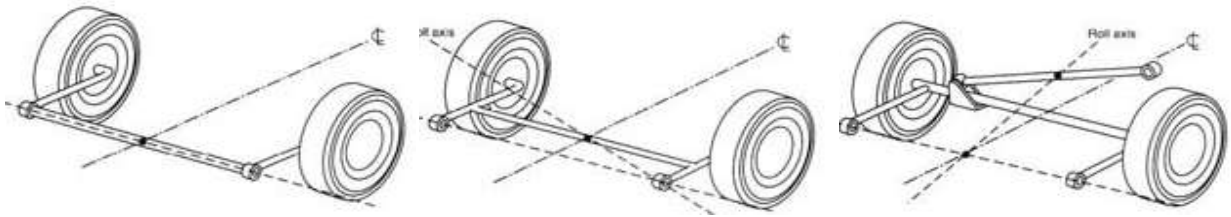


Figure II.11 : Types des essieux semi-rigides

Contre les possibilités cinématiques assez limitées (inconvéniént), les essieux semi-rigides présentent plusieurs avantages à savoir :

- Une distance large entre le support minimisant les contraintes structurales,
- Un transfert de force favorable aux membres longitudinaux,
- C'est simple à fabriquer,
- Attachement par deux points seulement,
- Assemblage simple,
- Extrêmement robuste.

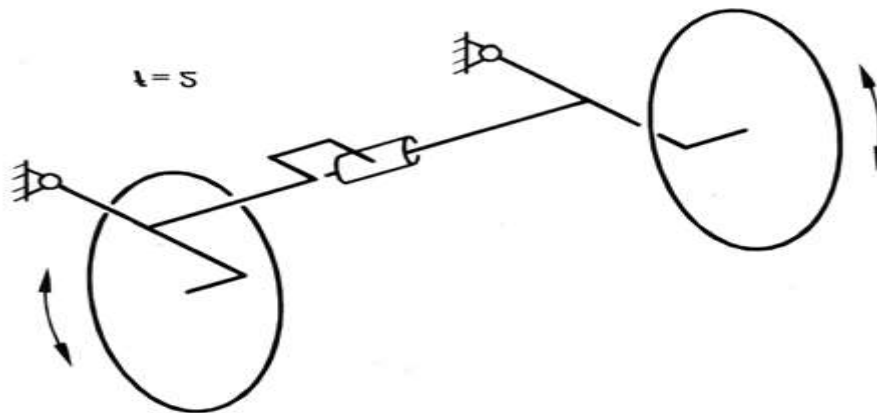


Figure II.12 : Schématisation des liaisons d'un essieu semi rigide

II.5.3 Essieux indépendants

Contrairement aux suspensions avec axe rigide, les suspensions indépendantes autorisent un mouvement indépendant des roues, c'est-à-dire, sans affecter la roue opposée. Presque toutes les nouvelles voitures et les petits camions ont des suspensions indépendantes à l'avant.

L'avantage majeur des essieux indépendants c'est qu'ils améliorent les propriétés de confort, de plus,

- Ils libèrent de l'espace pour le compartiment moteur,
- Donnent une meilleure résistance aux vibrations dans la direction en découplant les roues et en interposant la masse de la voiture entre les roues,
- Fournissent une plus grande raideur en roulis comparativement à raideur verticale,
- Permettent un plus grand débattement de suspension.

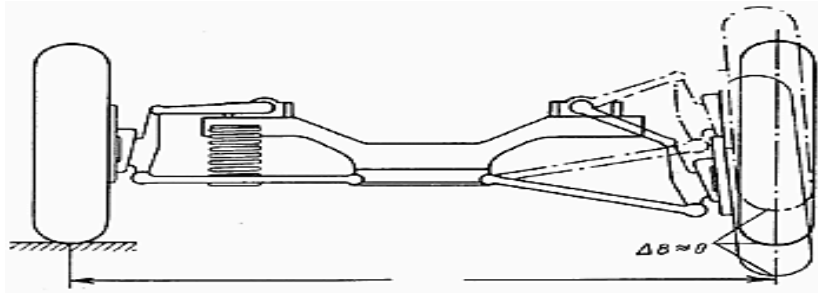


Figure II.13 : Essieu indépendant

II.5.4 Essieu indépendant à bras tiré

Constituer principalement de bras tirés parallèles, de dimensions identiques connectés sur leur avant à des barres de torsion qui fournissent le système de ressort.

Les roues restent parallèles par rapport au châssis et prennent du carrossage avec le roulis de châssis ; ce système à rencontrer un succès durant la seconde guerre mondiale pour VW et Porsche.

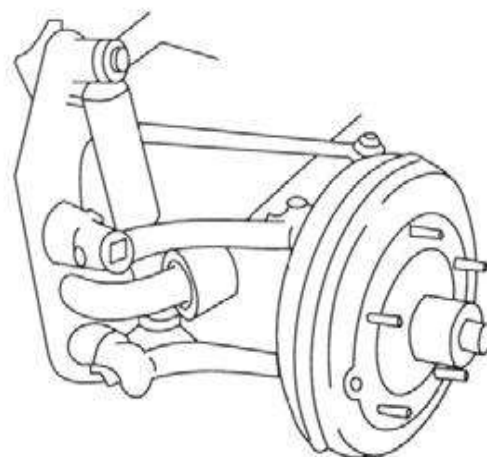


Figure II.14 : Suspension indépendante à bras tiré

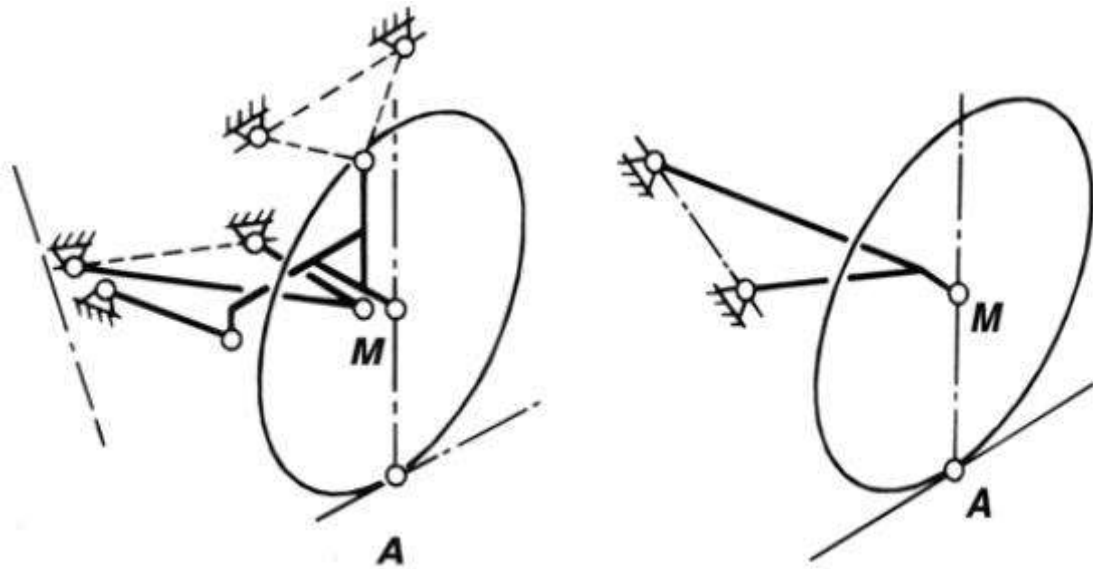


Figure II.15 : Schématisation des liaisons du système double triangle et du système bras tiré

II.6 Suspension avant Short Long Arm (SLA)

Constituer de deux bras pour maintenir la roue : un supérieur, l'autre inférieurs ont généralement des longueurs différentes (d'où short long arm).

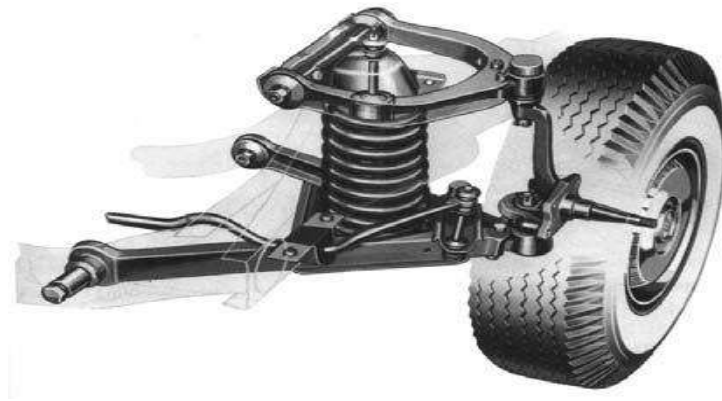


Figure II.16 : Suspension SLA avec bras en A

Ils existent plusieurs variantes où le bras supérieur est remplacé par un simple lien latéral ou bien le bras inférieur est remplacé par un bras latéral et une jambe de force en angle. Le ressort peut agir sur le bras supérieur ou inférieur.

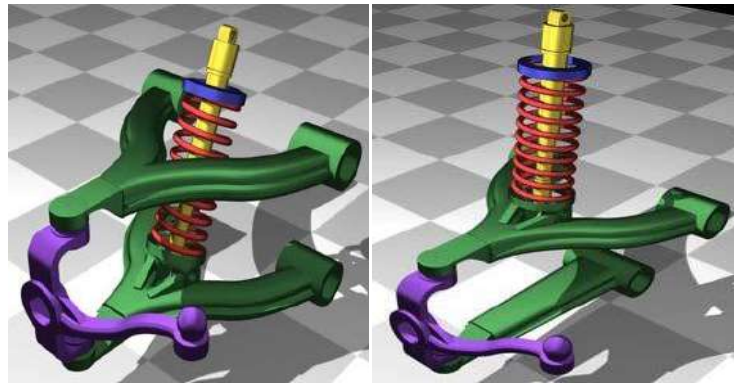


Figure II.17 : Variantes SLA (ressort sur le bras supérieur ou inférieur)

Les suspensions SLA sont bien adaptées aux véhicules avec moteur à l'avant et traction arrière, car elles dégagent de l'espace pour le moteur longitudinal. Ils sont aussi adaptés aux véhicules avec un faux-châssis séparé pour montage de la suspension et l'absorption des charges.

La géométrie des bras inégaux peut améliorer le carrossage de la roue extérieure au virage en contrecarrant le carrossage dû au roulis de la caisse, mais amène souvent un plus grand carrossage de la roue intérieure.

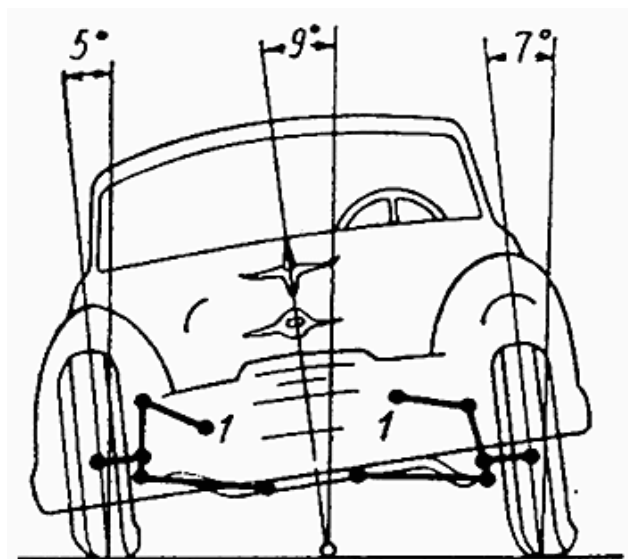


Figure II.18 : Carrossage avec une suspension SLA

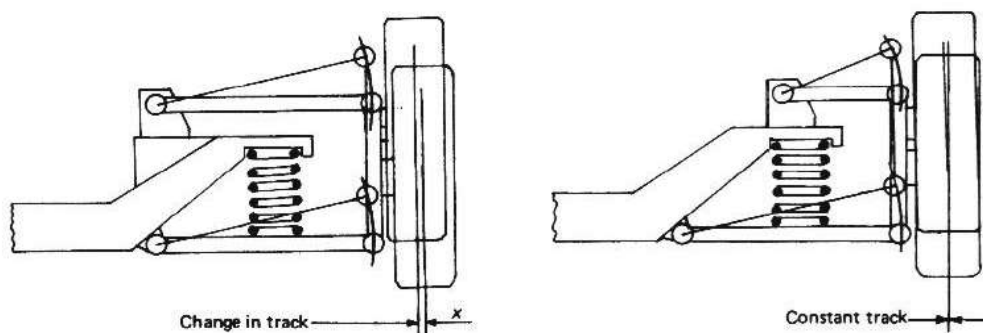


Figure II.19 : Effet des bras inégaux sur la variation de voie

II.7 Suspension Mc Pherson

Mc Pherson a développé une suspension de géométrie similaire aux bras inégaux sur la base d'une jambe de force, cette dernière est un membre télescopique incorporant de l'amortissement ; la roue est attachée de manière rigide à l'extrémité basse de sorte que le coulisseau maintient la roue dans un carrossage défini. Sa partie basse est localisée par des liaisons rigides qui reprennent les forces latérales et longitudinales. La partie supérieure de la jambe est fixée au châssis par une rotule.

Parce qu'il est nécessaire de fixer la jambe à l'intérieur de la roue, les forces de la roue créent un moment de retournement qui ajoute de la friction on le contrecarre avec un ressort hélicoïdal en angle sur la jambe.



Figure II.20 : Système Mc Pherson

II.8 Suspensions arrière

II.8.1 Suspensions arrière multi-points

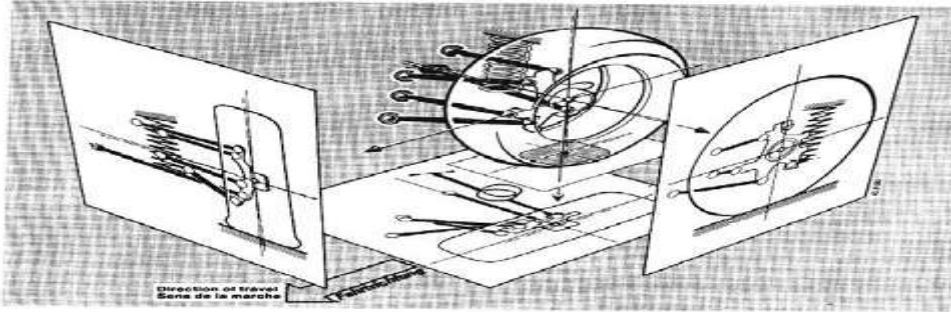


Figure II.21 : Suspension 5 points Mercedes

L'idée des suspensions multi-bras (5 liens) (e.g. Mercedes, Corvette après 1984) consiste simplement à utiliser 5 barres afin de créer les 5 contraintes cinématiques. On peut également le voir comme une séparation des bras des triangles de suspension inférieurs et supérieurs se qui résulte une grande flexibilité de la cinématique, cela permet l'ajustement des liens aux centres virtuels de rotations pour obtenir des cinématiques désirées dans le plan frontal sans compromis avec la cinématique dans le plan latéral. Cela permet aussi d'avoir des axes de fusée très courts et des rayons de ripage très petits et négatives.

Les liens étant reliés par des joints sphériques, ils ne subissent pas de moments de flexion et l'entièreté du porte roue pivote lors des braquages de roue.

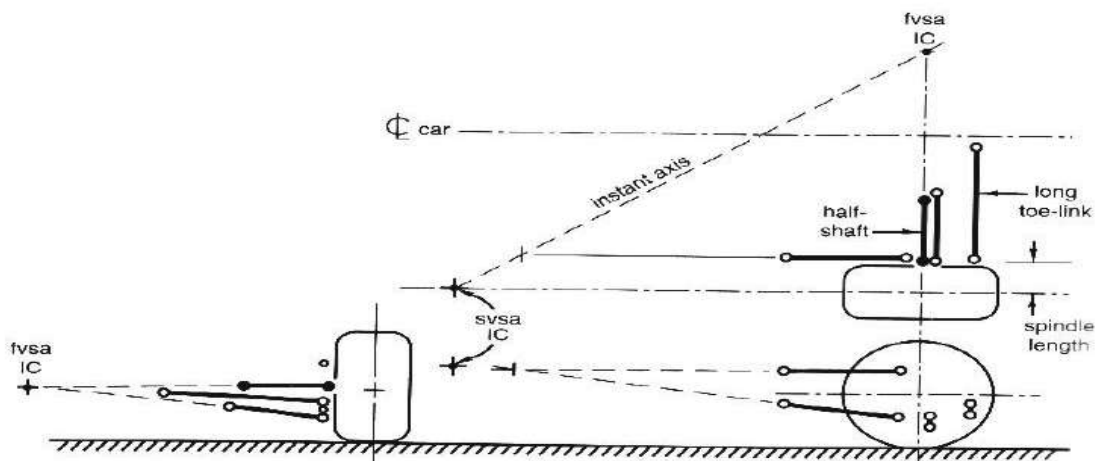


Figure II.22 : Suspension 5 points de la Corvette

II.8.2 Suspensions arrière à bras tires

Dans ce système, le bras de contrôle absorbe les forces longitudinales et moments de freinage et contrôle le tassement et le soulèvement d'essieu. Les bras indépendants ont l'avantage de réduire la masse non suspendue en montant le différentiel sur le châssis.

Ce système est souvent utilisé sur les voitures plus coûteuses où on recherche la performance comme la corvette d'avant 1984, où un demi axe monté sur un joint universel sert de bras de contrôle latéral supérieur avec une simple jambe de force jouant le rôle de bras latéral inférieur.

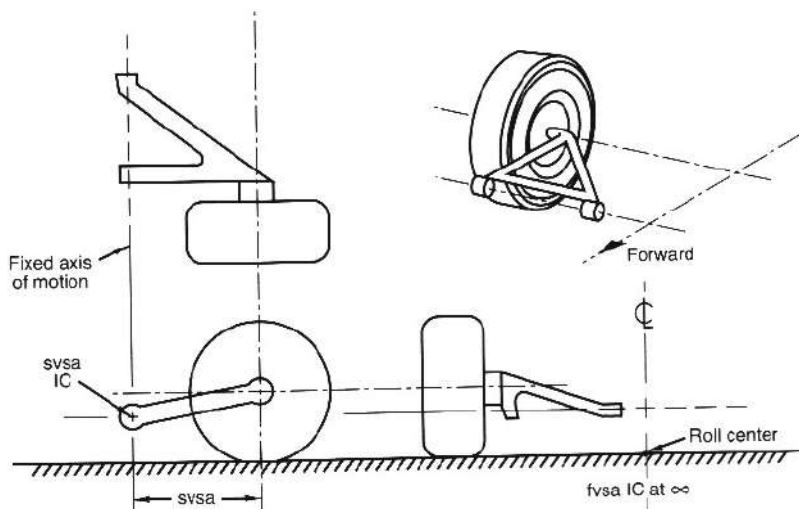


Figure II.23 : Suspension arrière à bras tires

II.8.3 Suspensions arrière à bras semi tires

Les suspensions indépendantes à bras semi-tirés ont été popularisées sur les BMW et les Mercedes où l'axe de pivot est généralement autour de 25° par rapport à la direction transversale de la voiture ce qui donne un carrossage intermédiaire entre le bras tiré (pas de changement de carrossage par rapport au châssis) et le bras oscillant. Le bras semi-tirés donne lieu à un effet de braquage lors des débattements verticaux.

La combinaison braquage / carrossage sur la roue extérieure au virage agit en sens opposé à la direction de virage, ce qui génère un roulis sous-vireur de l'essieu arrière. Mais la souplesse à la force latérale crée lui un effet de braquage qui peut devenir survireur si non contrôlé

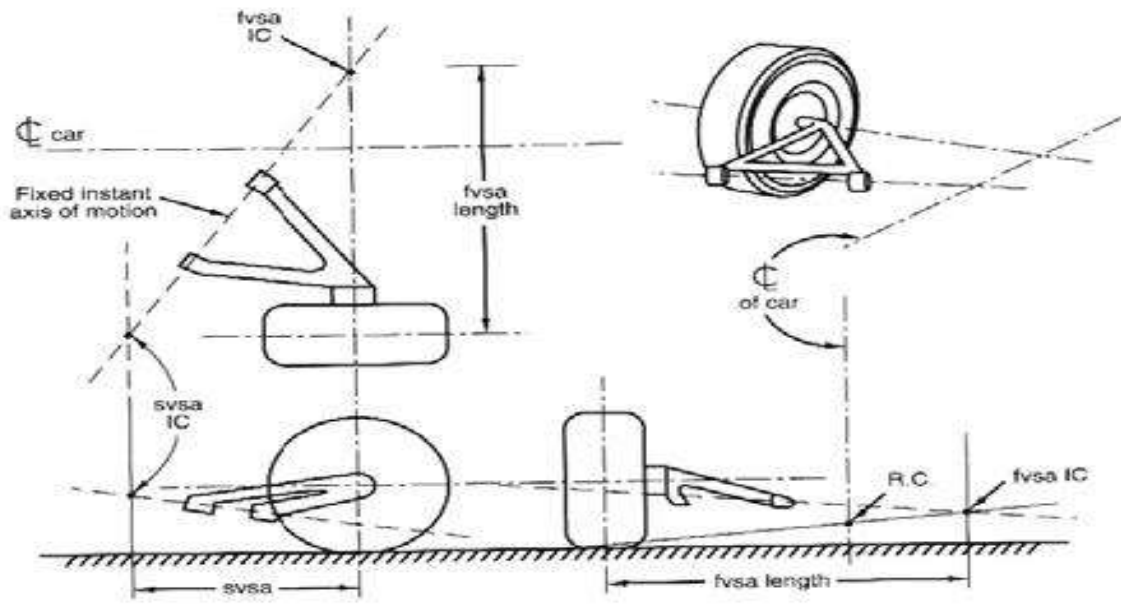


Figure II.24 : Suspension arrière à bras semi tires

II.8.4 Suspensions arrière à bras oscillant

La manière la plus simple d'obtenir des suspensions arrières indépendantes (exemple fameux: la VW coccinelle) peut être vu comme un cas de bras traîné. Le comportement de carrossage est entièrement déterminé par les axes qui pivotent autour de joints universels (cardan). Le rayon d'oscillation est court et donc les changements de carrossage peuvent être importants ; par conséquent, il est difficile d'avoir une bonne performance en virage.

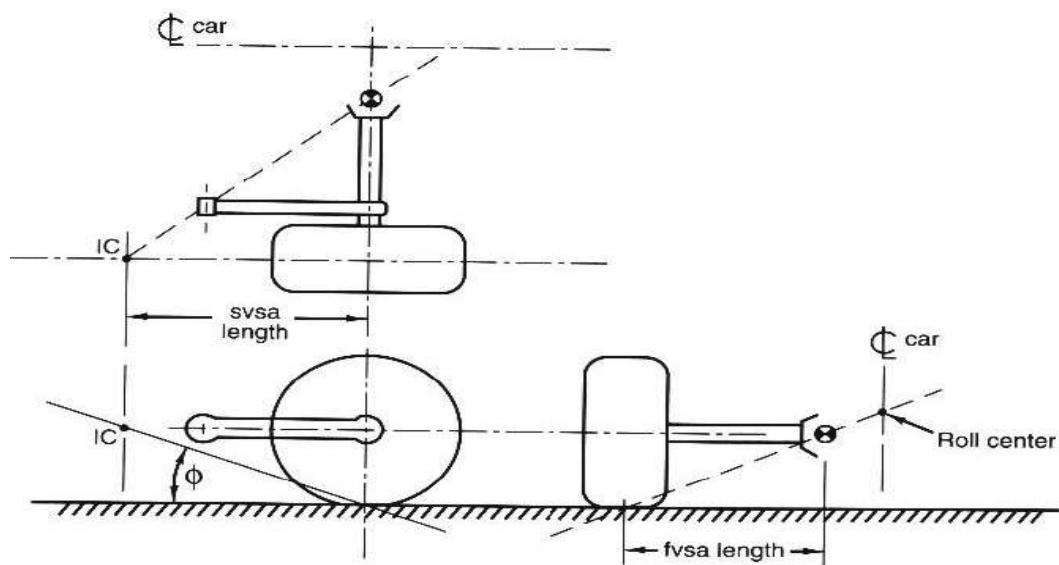


Figure II.25 : Suspension arrière à bras oscillant

Un phénomène critique survient lors des virages (lorsque les deux roues développent des forces latérales importantes, mais avec la roue extérieure plus chargée), c'est le phénomène de « jacking » où la direction intérieure de la force latérale tend à soulever le et donc réduction de sa résistance au retournement à cause de la poussée de carrossage défavorable, conduisant parfois au tête à queue ou au retournement.

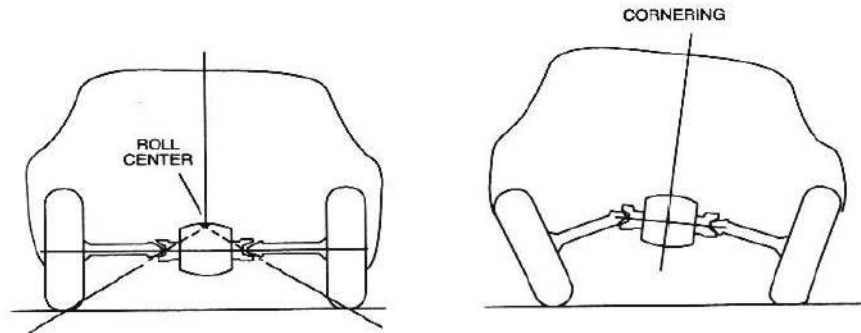


Figure II.26 : Phénomène de jacking sur une suspension arrière à bras oscillant

Chapitre III

DIRECTION D'UN VEHICULE

III.1 Définition et fonctions

Le train avant et le système de direction ont pour mission de permettre le braquage des roues directrices afin d'assurer le guidage et le contrôle du véhicule.(9) Le train avant et le système de direction ont une géométrie qui doit permettre de :

- Limiter la transmission vers le volant des chocs de la route.
- Eviter les pertes d'adhérences en virage comme en ligne droite.
- Introduire un couple de rappel pour maintenir les roues en position de ligne droite.
- Eviter un braquage incontrôlé lors des débattements de suspension.
- Limiter les efforts à assurer pour effectuer le braquage.

III.2 Géométrie de direction (9)

III.2.1 Géométrie du train avant

La position géométrique de la roue sur le sol est importante car elle conditionne les efforts que celle-ci peut développer ; le braquage est réalisé par rotation autour l'axe de pivot qui relie les rotules de liaison au bras inférieurs et supérieurs et fait un angle avec la verticale de l'ordre 10 à 15° appelé angle de pivot.(10)

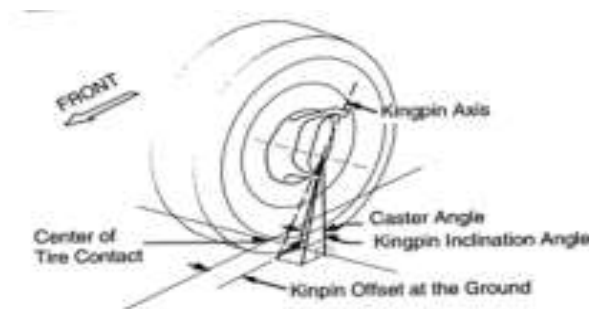


Figure III.1 : Géométrie du train avant

On définit le déport comme la distance entre le plan de la roue et point de percée de l'axe de pivot dans le plan du sol, celui-ci sert à positionner les freins, les suspensions et les composants de la direction. Il sert aussi à diminuer les efforts de braquage et à améliorer les sensations du guidage.

Le pivot perce le sol à un point situé en avant du centre de contact de la roue, la distance entre le centre contact et le point de percée est la chasse. L'angle de chasse est l'angle d'un pivot dans le plan de côté, il est de l'ordre de 0 à 5°.

La géométrie idéale est que l'arc décrit par la rotule de connexion au bras de guidage suit exactement l'arc du bras de direction durant le débattement de roue. La construction du point idéal de la barre de guidage du côté châssis peut être déterminé soit par conception assistée par ordinateur, soit en utilisant des méthodes graphiques ou analytiques telles que le cercle d'inflexion, le théorème de Bobilier, ou construction de Hartmann.

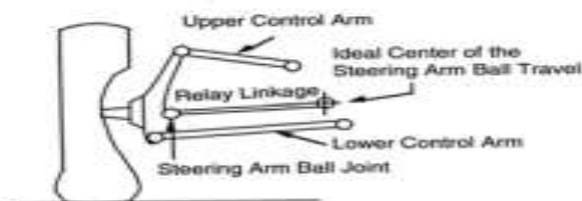


Figure III.2 : Géométrie idéale de la direction pour une roue avec essieu indépendant

III.2.2 Rapport de réduction de la direction

Le rapport de réduction du système de direction est le rapport entre l'angle de rotation du volant et l'angle de braquage de la roue. Il est typiquement entre 15:1 à 20:1 pour les voitures et entre 20:1 à 36:1 pour camion.

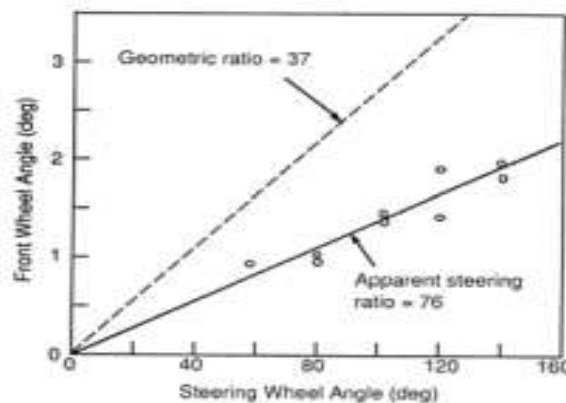


Figure III.3 : Mesure expérimentale du rapport de réduction de la direction d'un camion

III.2.3 Condition de Jeanteau

Comme on le voit sur la figure :

$$\tan \delta_i = L/(R - t/2)$$

$$\tan \delta_e = L/(R + t/2)$$

Ce qui donne la condition d'Ackerman-Jeanteau

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = t/L \Rightarrow \delta_e \leq \delta_i$$

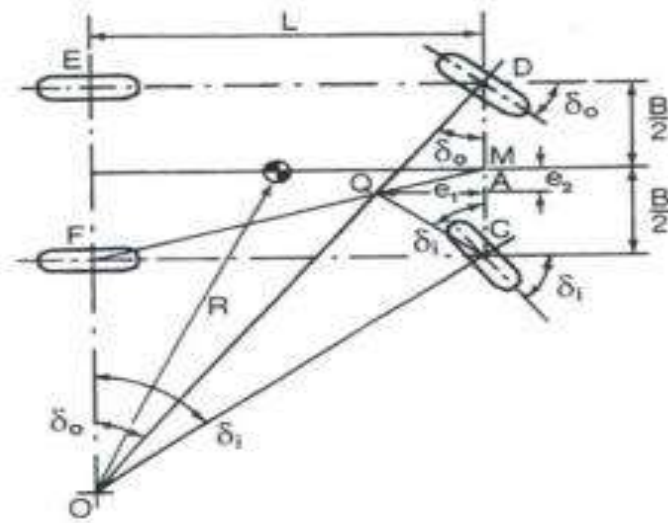


Figure III.4 : Epure de Jeanteau

L'épure de Jeanteau tel que dessinée habituellement est inutilisable en pratique pour le calcul, mais plutôt la propriété que le point Q appartient à la droite MF lorsque la condition de Jeanteau est remplie. L'écart du point Q par rapport à la droite MF est une mesure de l'erreur sur la condition de Jeanteau.

III.2.4 Modélisation des systèmes de direction

Les moments et forces dans le pivot de la roue sont des sollicitations du mécanisme de direction qui déterminent le retour dans le volant. Pour quantifier convenablement ce retour il faut tenir compte du modèle de la direction : flexibilité, jeu, etc.

La conception du système de direction a une influence sur les performances de la direction (sensation du centrage, retour au point neutre, efforts dans la direction), un modèle très simple peut être adopté pour les basses fréquences à conditions d'introduire des raideurs des

bielles de guidages, des raideurs équivalentes des boîtes de réduction, de la souplesse latérale de la suspension, des fonctions de transfert des systèmes d'assistance, ...

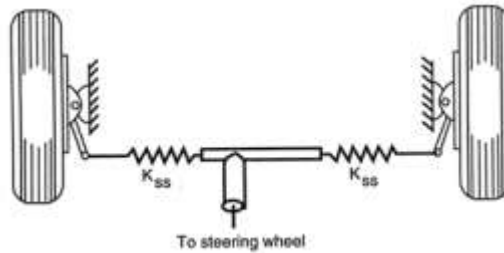


Figure III.5 : Modèle simplifié d'un système de direction

III.3 Mécanismes de direction (11)

III.3.1 Pivot

III.3.1.1 Cas de l'essieu rigide

Le système est marqué par l'utilisation d'une bague en bronze ou roulement pour les articulations soit avec axe pivotant ou axe fixe.

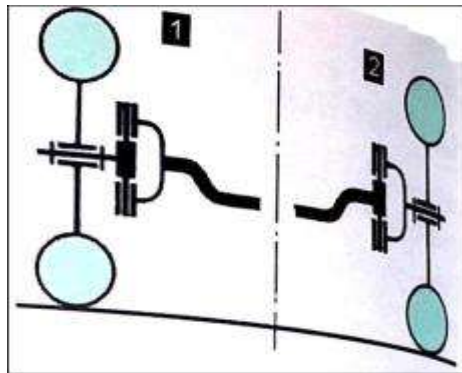


Figure III.6 : Pivot pour essieu rigides

III.3.1.2 Cas de l'essieu à roues indépendantes

Les articulations (rotules) permettent les mouvements perpendiculaires de direction et de suspension, et l'axe de pivotement est matérialisé par la ligne passant par le centre des 2 rotules.

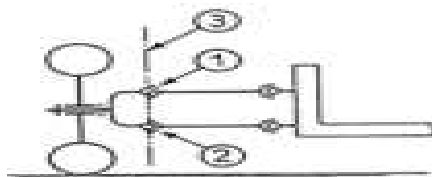


Figure III.7 : Pivot pour train à roue indépendantes

1-Rotule supérieure 2-Rotule inférieure 3-axe de pivotement

III.3.2 La commande de pivotement (12)

La commande de pivotement est réalisée par un bras solidaire du porte-fusé relié à la biellette de direction par l'intermédiaire d'une rotule de commande de direction.

III.3.2.1 Mécanisme à sortie linéaire

C'est un système de direction pignon crémaillère très répandu actuellement pour les essieux à roues indépendantes. Le système fait un triangle en arrière de l'essieu avant. On utilise comme levier de commande de direction, le tronçon médian de la barre d'accouplement. Sur cette pièce est taillée une crémaillère qui engrène sur un pignon fixé à l'extrémité soit de la colonne de direction soit d'un arbre relié à cette dernière par un train conique. Les extrémités intérieures de la biellette de direction sont attachées à l'extrémité de la crémaillère tandis que les extrémités extérieures sont reliés aux leviers sur le porte roue.



Figure III.8 : Éléments de la direction à crémaillère

1. Colonne de direction articulée. 2. Crémaillère de direction. 3. Biellette de direction à manchon réglable

III.3.2.2 Mécanisme à sortie rotative

Sur les essieux rigides, excepté les deux leviers d'accouplement (3) qui sont attachés au porte-roue, on n'a besoin que d'une barre d'accouplement (2), d'un levier d'attaque (5) solidaire de l'une des roues, d'une bielle de commande (6).

Le volant de direction et le tube de direction sont reliés à la boîte de direction (1) qui comporte un dispositif de démultiplication (vis et secteur de roue dentée). La sortie de la boîte de direction est reliée à la bielle de commande via un levier de direction (4).

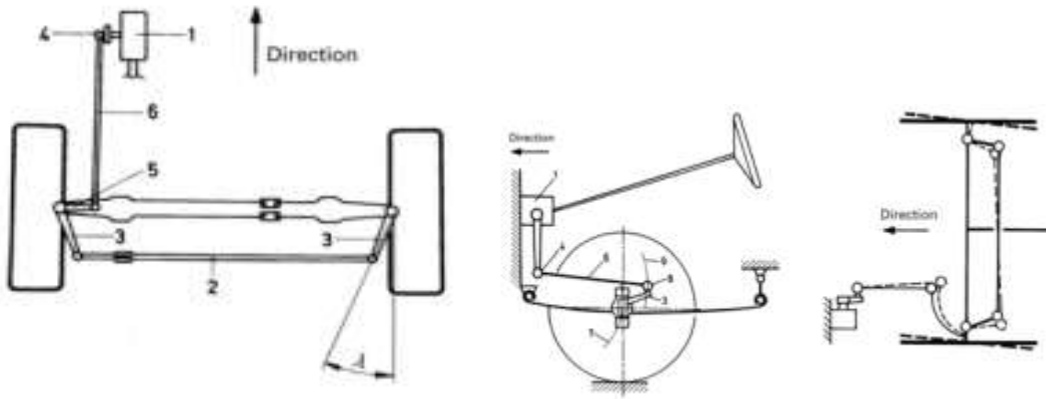


Figure III.9 : Direction à sortie rotative

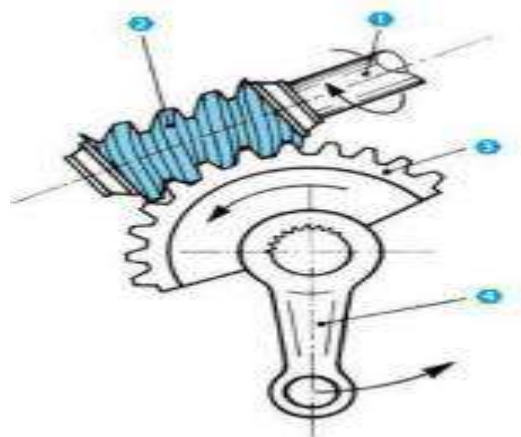


Figure III.10 : Boîtier de direction à vis et secteur

1. Colonne de direction. 2. Vis sans fin. 3. Secteur de roue dentée. 4. Bielle pendante.

III.3.2.3 Direction avec cheville ouvrière

Dans ce système c'est tout l'essieu qui pivote complètement autour d'une cheville, il a été remplacé par le système de direction à essieu brisé pour des questions d'encombrement.

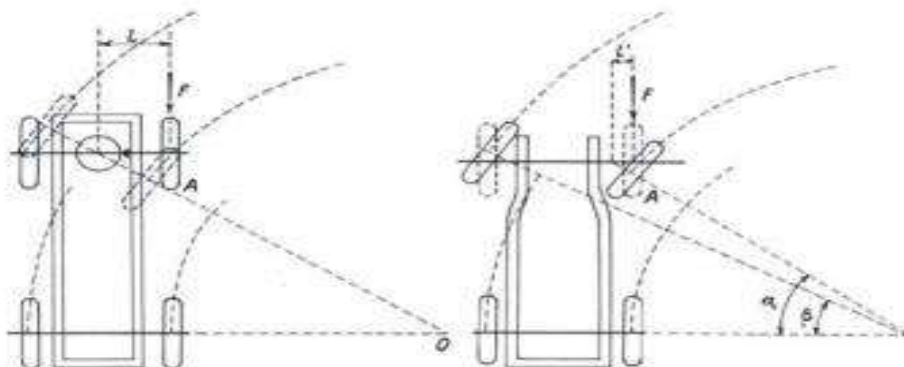


Figure III.11 : Direction avec cheville ouvrière (à gauche) comparée avec une direction avec essieu brisé (à droite)

Le pivotement de l'essieu est abandonné sur les véhicules exceptés pour les remorques à cause de l'espace balayé trop important de l'essieu.

III.3.2.4 Mécanisme quatre barres

Le mécanisme quatre barres (dit aussi mécanisme de Bricard) est le mécanisme typiquement adopté dans les véhicules modernes. Il ne respecte toutefois pas la condition de Jeanteau pour tous les angles de braquage.

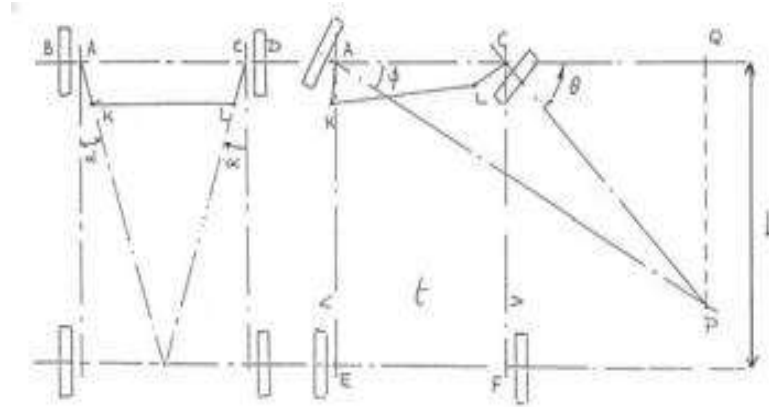


Figure III.12 : Mécanisme de Bricard

III.3.2.5 Mécanisme de Davies

Au contraire du mécanisme de Bricard, il existe un mécanisme connu qui respecte la condition de Jeanteau quel que soit l'angle de braquage, c'est le mécanisme de Davies

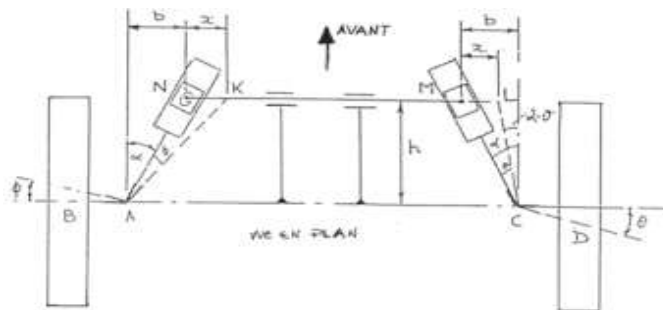


Figure III.13 : Mécanisme de Davies

Les bras de direction CM et AM doivent être disposés de telle manière que leurs prolongements se coupent au centre de l'essieu arrière

En pratique le mécanisme de Davies n'est pas utilisé pour deux raisons :

- Il introduit une complication compte tenu de la présence de quatre glissières
- Il est sensible aux tolérances pour sa réalisation.

III.4 Assistance à la direction (13)

III.4.1 Direction à assistance hydraulique

La direction à assistance hydraulique utilise la pression hydraulique dispensée par une pompe, le couple conducteur appliqué sur le volant de direction est amplifié. En plus du confort amélioré, la réduction de l'effort à appliquer sur la direction a une grande importance et implication du point de vue sécurité. Elle permet au conducteur de manœuvrer plus facilement son véhicule afin d'éviter un accident. La figure montre les différents éléments qui composent un système d'assistance hydraulique.

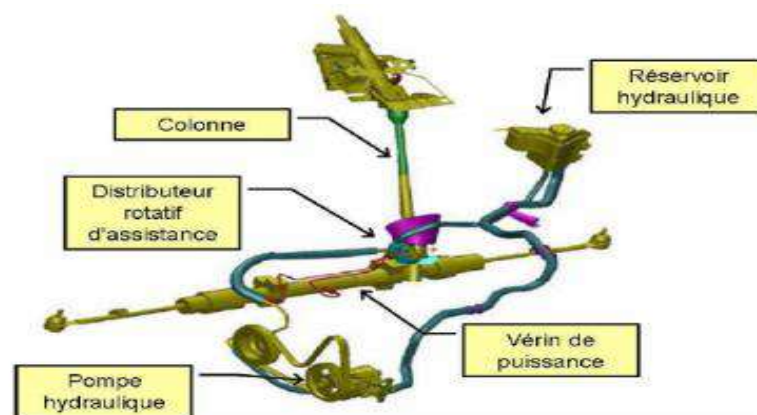


Figure III.14 : Composition d'une direction à assistance hydraulique

Le débit de fluide nécessaire pour l'assistance est fourni par une pompe hydraulique, généralement entraînée par l'arbre moteur. Une valve, placée sur la colonne de direction, permet de distribuer le fluide en fonction du sens de l'effort appliqué sur le volant par le conducteur vers un vérin d'assistance qui agit alors sur la crémaillère.

Toutefois, ce système hydraulique présente un certain nombre d'inconvénients : il est cher, lourd et augmente sensiblement la consommation de carburant. S'il se révèle très efficace à faible vitesse, il est peut être au contraire un facteur de risque à grande vitesse en raison d'un excès d'assistance, en particulier pour un pilote peu expérimenté. En générant des oscillations autour de la trajectoire idéale, oscillations qu'un conducteur moyen voudra corriger, celui-ci obtient le plus souvent en raison des temps de réponse du système, un effet sensiblement inverse. En outre, l'assistance ne fonctionne plus dès lors que le moteur est arrêté ce qui rend les déplacements manuels particulièrement pénibles et interdit d'interrompre le moteur lorsque nous sommes dans un bouchon même dans une descente.

III.4.2 Direction à assistance électrique

La direction à assistance électrique est un système dans lequel un moteur électrique situé sur la colonne de direction, sur le pignon ou sur la crémaillère assiste le conducteur pour le braquage des roues. Des capteurs mesurent des paramètres tels que l'angle volant ou la vitesse du véhicule. Ces informations sont transmises à un calculateur qui évalue, en temps réel, l'assistance optimale à apporter au conducteur par le moteur électrique.

Ce type de direction, élimine le besoin d'une pompe hydraulique et les canalisations ainsi que la courroie et la poulie sur le moteur, ce qui permet des gains en masse et en volume. L'absence de pompe hydraulique attelée rend le fonctionnement de la direction indépendant du moteur. Cette direction utilise le courant électrique fourni par l'alternateur et la batterie, il n'y a donc pas d'interaction directe avec le moteur thermique.

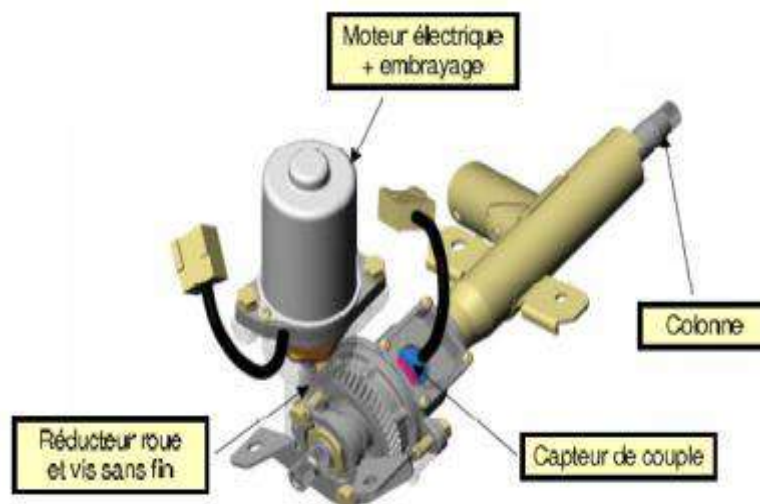


Figure III.15 : Composition d'une direction à assistance électrique

La direction à assistance électrique ne consomme de l'énergie au repos alors que l'assistance hydraulique nécessite le maintien d'une pression minimale dans le système.

Les premières directions assistées électriques variables (DAEV) sont apparues à la fin des années 80, plusieurs constructeurs ont implanté ce type de direction en premier lieu sur les véhicules à forte contrainte d'encombrement. L'assistance apportée par la DAEV permet de réduire l'effort conducteur tout particulièrement en manœuvres de parking (vitesse véhicule nulle) et à basse vitesse. Ce type de direction permet une réduction de consommation de carburant de 0.2 litre aux 100 km et participe à la limitation des bruits parasites lors des braquages importants causés habituellement par la pompe hydraulique

III.5 Erreurs de Direction (10)

III.5.1 Modification de la pince

L'arc décrit par l'extrémité de la bielle de guidage lorsqu'elle pivote autour de la rotule de liaison avec le châssis est fonction de la position de la rotule de liaison au châssis, une erreur sur la position de ce point donne lieu à un effet de braquage toujours le même lors des montées et descentes de roue. Lorsque le joint est extérieur au point idéal (voir figure), un mouvement de montée ou descente conduit à un braquage de la roue vers la gauche si on suppose que la bielle est en arrière de l'axe.

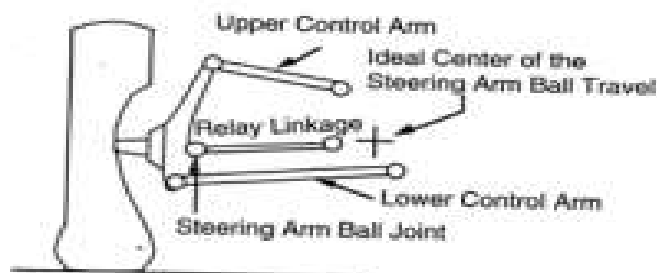


Figure III.16 : Erreur de géométrie causant de la prise de pince / ouverture

III.5.2 Couplage roulis / braquage

Un second type de d'erreur qui altère le comportement routier est le couplage roulis braquage. Lorsque le joint sur le châssis est situé au dessous du point idéal et que le mécanisme de direction est en arrière par rapport à l'essieu, l'arc décrit par la bielle de direction produit un braquage à droite si la roue est en compression (monte) et un braquage à gauche si la roue est en détente (descend).

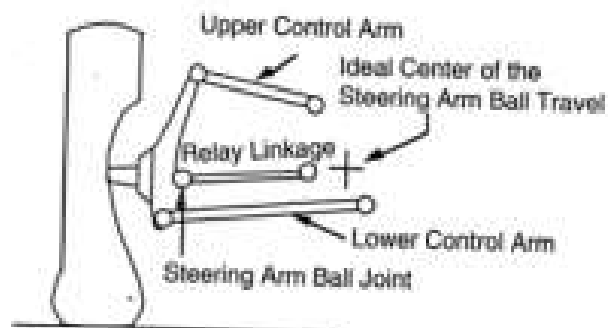


Figure III.17 : Erreur de géométrie causant du sous virage

III.6 Forces et moments sur le système de direction

Les forces et moments dans le système de direction émanent de celles qui agissent à l'interface roue sol, on les appelle:

- Forces normales
- Forces de traction
- Forces latérales
- Moment d'auto alignement
- Moment de résistance au roulement.
- Moment de retournement

Les forces de contact roue sont conventionnellement rapportées au centre de contact de la roue. Les réactions dans la direction sont les moments nécessaires pour contrer les mouvements de l'angle de braquage.

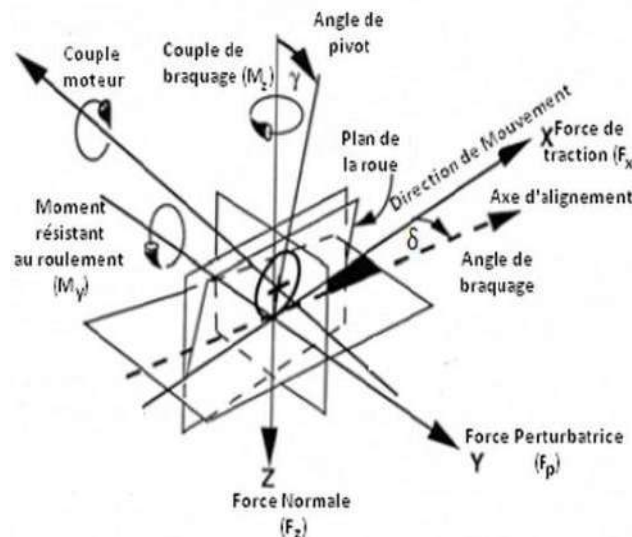


Figure III.18 : Définition SAE des forces et moments dans la direction

III.6.1 Effet de la force verticale

La force verticale F_z agissant vers le haut dans l'aire de contact induit un moment autour de l'axe de pivot lorsqu'il est incliné. Le moment provient soit de l'inclinaison de l'angle de pivot, soit de l'angle de chasse:

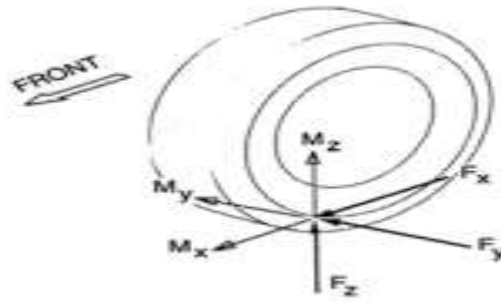


Figure III.19 : Force verticale sur la roue

Ainsi, un moment total dans la direction \$M_v\$ est produit :

$$M_v = -(F_{zl} + F_{zr})d \sin \lambda \sin \delta + (F_{zl} - F_{zr})d \sin \lambda \cos \delta$$

\$F_{zr}\$ et \$F_{zl}\$ sont les charges verticales sous les roues droites et gauches, \$d\$ le déport latéral, \$\lambda\$ l'inclinaison latérale, \$\delta\$ l'angle de braquage des roues et \$v\$ l'angle de chasse.

III.6.2 Effet de l'inclinaison du pivot

L'effet de l'inclinaison du pivot peut être calculé en regardant la figure suivante :

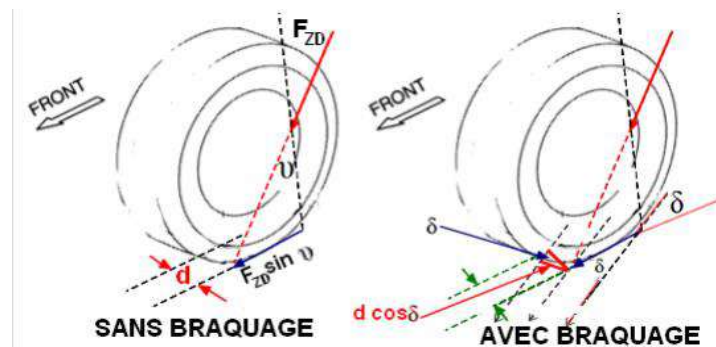


Figure III.20 : Moment fictif de la direction de la roue

La force \$F_z\$ prend une composante \$F_z \sin \lambda\$. Le bras levier autour de l'axe de pivot après braquage dévient \$d \sin \delta\$

Le moment dû à l'inclinaison est nul pour un braquage nul. Pour un braquage donné, les roues gauche et droite donnent lieu à un moment allant dans le même sens étendant à diminuer le braquage. Le moment est proportionnel au poids mais indépendant de la dissymétrie entre roue gauche et droite.

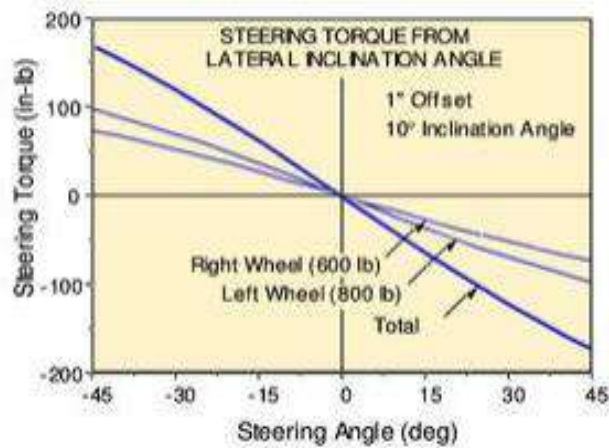


Figure III.21 : Variation du moment en fonction de l'angle de braquage

Moment de rappel est proportionnel au poids, non affecté par la dissymétrie, dépendant de l'inclinaison, du déport et de la charge sur l'essieu

L'effet de l'angle de chasse peut être évalué en regardant la figure suivante :

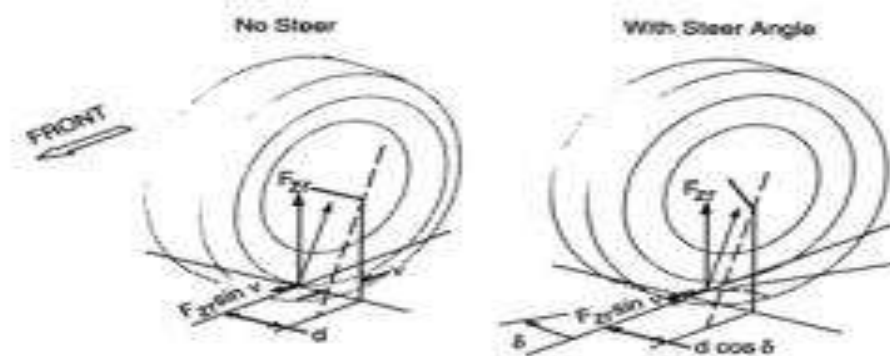


Figure III.22 : Effet de l'angle de chasse

Le moment sur la roue gauche et droite ont des moments de signes opposés ; s'ils sont symétriques, ils s'annulent.

III.6.3 Effet de la force latérale

La force latérale F_y agissant au centre de contact de la roue produit un moment fonction de la chasse (déport longitudinal).

$$M_L = (F_{y1} + F_{y2})R \tan \nu$$

La force latérale tend à créer un moment qui réduit le braquage pour une chasse positive (effet sous vireur)

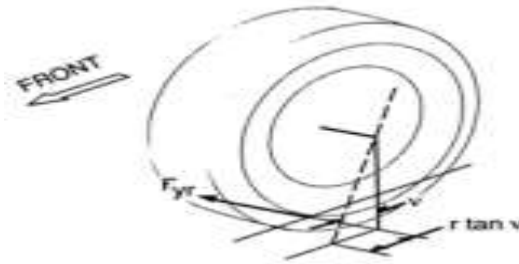


Figure III.23 : Moment produit par une force latérale

III.6.4 Effet de la force de traction

La force latérale F_x agissant au centre de contact de la roue produit un moment fonction du déport (latéral)

$$M_T = (F_{xl} - F_{xr})d_T = (x_l - x_r)T$$

Les roues gauches et droites produisent des moments de signe opposés et ne contrebalancent qu'à travers le système de direction. Les asymétries tendent à produire un moment dans la direction qui dépend du déport.

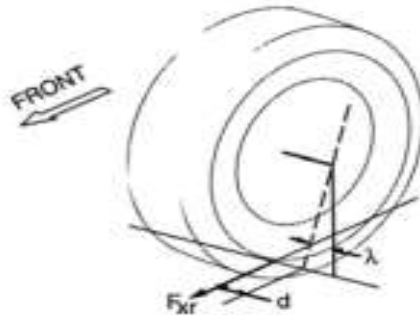


Figure III.24 : Moment produit par une force de traction

III.6.5 Effet du moment d'alignement

Le moment d'alignement du pneumatique agit verticalement et peut résulter en une composante parallèle à l'axe du pivot. Le moment d'alignement est donc transmis à la direction

$$M_{AT} = (M_{zl} + M_{zr}) \cos \sqrt{\lambda^2 + \nu^2}$$

Dans des conditions normales, les moments d'auto alignement tendent toujours à résister au mouvement de braquage et leur effet est sous vireur. Ce n'est que sous des conditions de fortes dérives et de freinage puissant que les moments changent de signe et deviennent sur vireur.

III.6.6 Effets sous vireur

Le comportement en virage est souvent évalué à l'aide de gradient sous vireur. La souplesse de la direction entraîne une déviation des roues par rapport à l'angle de volant L'angle de chasse et le moment d'auto alignement ajoute du gradient de sous virage en présence de souplesse dans la direction

La quantification de l'effet de la souplesse de la direction dépend de la chasse et de la charge verticale sur la roue. L'effet dominant est celui des forces latérales et du moment d'alignement.

Une analyse simple indique que:
$$K_{strg} = \frac{w_f (Rv + p)}{k_{ss}}$$

Avec K_{strg} : incrément de gradient sous vireur due au système de direction et à souplesse
 w_f : le poids sous la roue, R : le rayon de la roue, p : la chasse pneumatique, v : l'angle de chasse mécanique et k_{ss} : la souplesse de la direction en Nm/deg

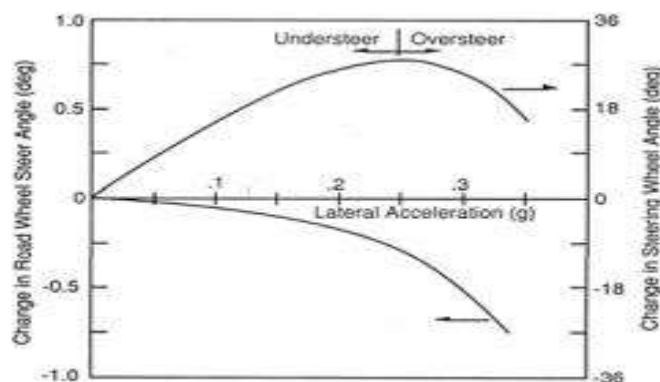


Figure III.25 : Gradient sous vireur mesuré au volant et à la roue d'un camion

III.6.7 Stabilité en freinage

Le freinage est une illustration frappante dans laquelle le système de direction joue un rôle crucial dans la réponse directionnelle. Spécialement, sa conception a une influence directe sur la stabilité et la résistance aux effets de freinage asymétrique. L'angle de chasse a une influence sur la stabilité à résister aux déviations causées par les freins, mais son efficacité est fortement vulnérable durant les conditions de freinage. Le tangage et le cabrage ont tendance à absorber les quelques degrés de chasse mécanique initiale. Lors d'un freinage important l'effet de chasse pneumatique disparaît et s'inverse pour devenir fortement sur vireur.

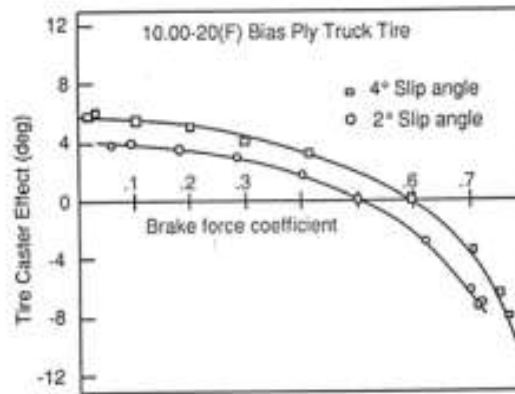


Figure III.26 : *Changement dans le moment d'alignement lors du freinage*

Lors d'une asymétrie des forces de freinage (due à un mauvais fonctionnement du frein ou à un coefficient de friction différentiel), le moment joue sur la souplesse de la direction en ayant tendance à faire virer le véhicule. Par exemple, un coefficient différentiel crée un moment qui attire la voiture vers le côté de plus grande friction.

Avec un déport positif, le moment dans la direction tend également à faire tourner le véhicule dans la même direction.

III.6.8 Effet de la traction avant

Il est bien connu que les tractions avant sont sujettes à des variations du comportement avec l'application d'un couple moteur aux roues. Dans la plupart des cas, l'application d'une force de traction donne lieu à du sous virage. Quatre effets expliquent cela:

- La composante du couple moteur par rapport à l'axe de pivot,
- L'influence des forces de traction sur les propriétés d'en virage des pneus,
- L'influence des forces de traction sur les moments d'alignement,
- Le transfert de charge avant arrière.

III.6.9 Composante du couple moteur (10)

Même en ligne droite le couple moteur produit un moment au tour de l'axe de pivot. Un joint homocinétique connecte le demi-arbre au moyeu de la roue

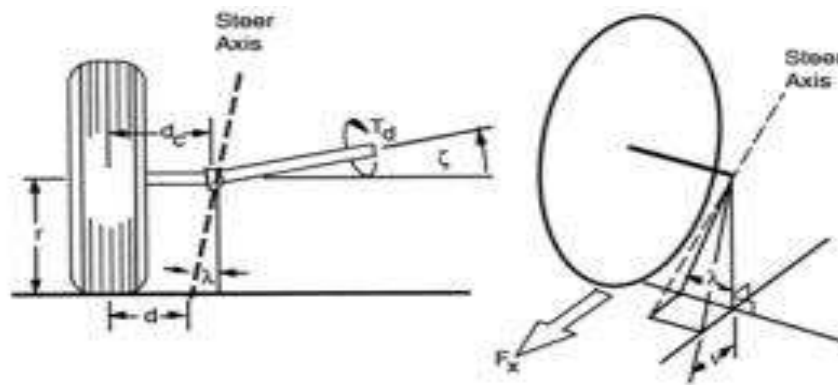


Figure III.27 : Force de traction agissante sur la roue

La force propulsive donne un moment dont le bras de levier est le déport augmenté de la distance à la perpendiculaire au joint homocinétique. Lorsque le véhicule tourne, le roulis augmente l'inclinaison du côté intérieur (soulèvement) et diminue l'inclinaison du côté extérieur. Dès lors le bras de levier devient plus petit du côté extérieur et devient plus grand du côté intérieur. Il s'en suit un moment qui dirigé vers l'extérieur du virage. La composante du couple moteur conduit donc à un incrément de couple sous vireur.

Chapitre IV

ETUDE ET CONCEPTION DU QUADCYCLE

IV.1 Introduction

On a vu au premier chapitre que même avec tout le développement qu'on connaît les moyens de transport, il y a toujours un besoin de les améliorer vu les problèmes qu'ils posent concernant l'environnement surtout, c'est pour cela qu'on s'est engagé à cette étude en proposant un nouveau moyen de transport écologique et répondant aux exigences en tenant compte de tous les avantages et en supprimant le plus d'inconvénients possibles.

Si nous recherchons des solutions on prend en compte en premier temps le problème d'encombrement : on trouve que l'utilisation des moyens de transport public comme les bus, les taxis collectifs, le métro, le tramway... sont des solutions pratiques, mais cela pose des entraves de temps et de confidentialité, en plus ils ne couvrent pas tous les quartiers proches ou éloignés de la ville.

Si l'on prend notre ville Ouargla comme exemple ; on voit que le tramway est limité en distance et inclut seulement quelque quartier de la ville, c'est un vrai obstacle à son utilisation, de plus le temps qu'il faut pour parcourir la distance est un autre obstacle.

De même si l'on discute la solution des bus ; on trouve qu'il y a plusieurs quartiers possédant un service de transport médiocre et erratique comme Bamendile, Sidi Amran, Sokra, Zieaena, Elhdeb, Ainelbayda, Sidi Khouild, Hassi Ben Abdellah ... en plus des environs plus loin comme Ngoussa, Hassi Miloud, ...

Du point de vue pollution et protection de l'environnement, les solutions précédentes semblent être les meilleurs, mais il y a d'autres comme les motos et les vélos qui sont plus efficaces en termes de temps, d'intimité et d'émissions polluantes que nulle dans le cas des vélos.

Cependant, l'utilisation des motos et vélos rencontre des obstacles à savoir : l'insécurité routière et les fluctuations de la météo limitent leur utilisation comme le vent, la pluie et la

température élevée en été et le froid en hiver. En plus, par nos croyances et nos valeurs sociales, les femmes n'ont pas accès à utilisé ces moyens à deux roues

Actuellement, le marché des moyens de transport a connu l'apparition de moto à quatre roues ayant un habitacle et propulser des fois avec une énergie « green » ; on croit que les vélos à quatre roues sont l'excellente solution aux problèmes évoqués précédemment, car les autres solutions incluent des obstructions ou des autres problèmes. C'est pourquoi nous avons pensé à développer un vélo avec habitacle répondant aux exigences de transport quotidien et de protection de l'environnement.

IV.2 Objectifs du travail

Les objectifs de cette étude sont en général le développement un véhicule présentant des solutions de tous les problèmes évoqués précédemment, et qui porte les spécifications suivantes :

- Porte deux personnes pour être plus pratiques.
- Un véhicule fermé pour protéger les passagers de divers facteurs climatiques.
- De petite à moyenne taille pour que son mouvement soit plus facile dans l'encombrement.
- Plus sécurisé en route.
- Ayant un petit rayon de braquage lui permettant le demi-tour en rues étroites avec un minimum de manœuvre.
- Avec option d'inclinaison pour assurer une meilleure stabilité en virages.
- D'une vitesse qui lui permet de rivaliser avec d'autres moyens de transport pour réduire le temps de parcourir les distances.

IV.3 Caractéristiques ciblées

Il est clair que le vélo est le moyen de transport le plus écologique c'est pourquoi, notre produit proposé dans ce travail sera un « Vélo » destiné pour une utilisation urbaine en ville donc d'une vitesse maximale de 60 km/h. mais ; un vélo pose problème de météo c'est pourquoi notre vélo aura un habitacle comme un véhicule personnel.

Cependant, l'habitacle va poser problème de stabilité, pour palier ce problème notre vélo doit être équipé de quatre roues améliorant ainsi en même temps la sécurité de ses utilisateurs. Pour avoir un plus pour notre véhicule, il doit être biplace, donc une place pour un conducteur et une autre à l'arrière pour un passager. Rappelons que les utilisateurs de véhicules personnels

l'utilisent la plupart du temps pour se déplacer seul ou avec seulement une autre personne et c'est rarement où un véhicule cinq places est utilisé en pleine capacité.

Cette structure proposée avec toute la charge transportée (conducteur, passager et un bagage éventuellement) aura un poids considérable produisant une force centrifuge importante, c'est pourquoi on envisage d'assurer l'inclinaison du véhicule lors du braquage.

Si l'on résume ces caractéristiques en puces on aura :

- Un véhicule biplace,
- Avec habitacle,
- Ayant une suspension de quatre roues,
- Ayant un petit rayon de braquage,
- D'une vitesse max allant jusqu'à 60 km/h,
- Capable de s'incliner en virage.

Ces caractéristiques présentent pour nous un cahier de charge pour le produit qu'on va étudier et concevoir dans la suite de ce chapitre et qu'on va nommer « Quadcycle ».

IV.4 Esquisses et idées primaires

IV.4.1 Système de direction

IV.4.1.1 Choix du système

Malgré l'évolution et la diversité des systèmes de direction mais il dépend entièrement de la condition d'Ackerman-Jeantaud qui énonce la nécessité d'une différence entre les angles de braquage des roues.

Afin d'assurer un petit rayon de braquage pour notre Quadcycle, nous avons opté pour une direction à quatre roues directrices 4WS ce qui rend la conception du système de direction plus compliquée, cependant le système est conçu symétrique par rapport à la médiane transversale, c'est-à-dire que les roues du même côté auront le même angle d'orientation.

Ainsi, et par orientation des quatre roues d'un même angle, on observe l'apparition de deux centres de rotation conduisant sans doute à l'usure des roues par la suite.

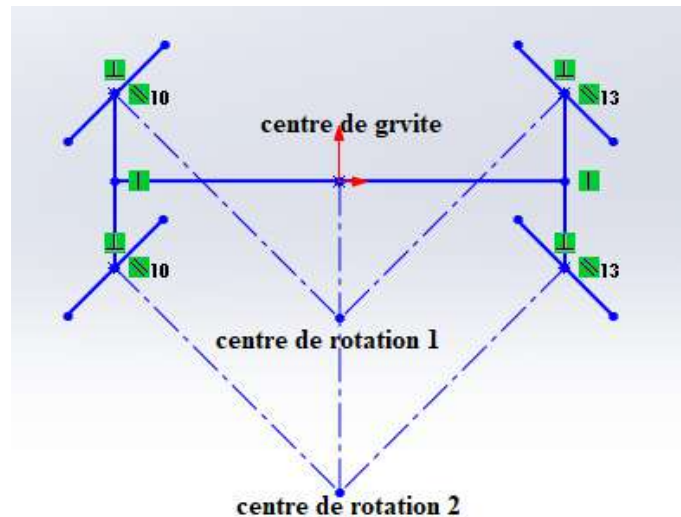


Figure IV.1 : Centres de rotation en cas d'angle de braquage égaux

Si l'on souhaite respecter la condition d'Ackerman-Jeantaud, les angles d'orientation des roues internes (côté du centre de rotation) doivent avoir des angles différents de ceux des roues externes, cette différence est représentée par le graphique ci-après.

Vu que le mécanisme Bricard optimise les angles jusqu'à une différence presque inexistante, nous avons opté pour ce système dans le Quadcycle.

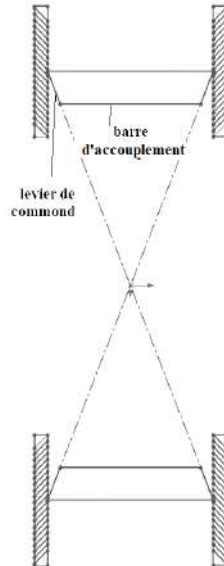


Figure IV.2 : Illustration du mécanisme de Bricard dans le Quadcycle

Nous avons aussi adopté quelques dimensions sur la base des caractéristiques voulues pour le Quadcycle :

- Empâtement $e = 1970 \text{ mm}$
- Distance entre les axes de braquage $d = 760 \text{ mm}$

- Levier de commande de fusée $Lc = 120 \text{ mm}$
- Le rayon de braquage R minimum = 2000 mm

D'autre part, dans le cas d'utilisation du mécanisme de Bricard et par calcul, il s'avère que :

- La longueur de la barre d'accouplement $B = 640 \text{ mm}$.
- L'angle de déflexion $A = 30^\circ$

Ainsi ; les angles α_i , α_e et α_o des roues internes, externes et optimisé respectivement, sont exprimés par les équations suivantes :

$$\alpha_i = \tan^{-1}[(e/2)/(R - d/2)]$$

$$\alpha_e = \tan^{-1}[(e/2)/(R + d/2)]$$

$$\alpha_o = A - [\sin^{-1}((d - Lc * \sin(\alpha_i + A) - B)/Lc)]$$

Cela nous a permis de présenter leur évolution en fonction de l'angle de braquage.

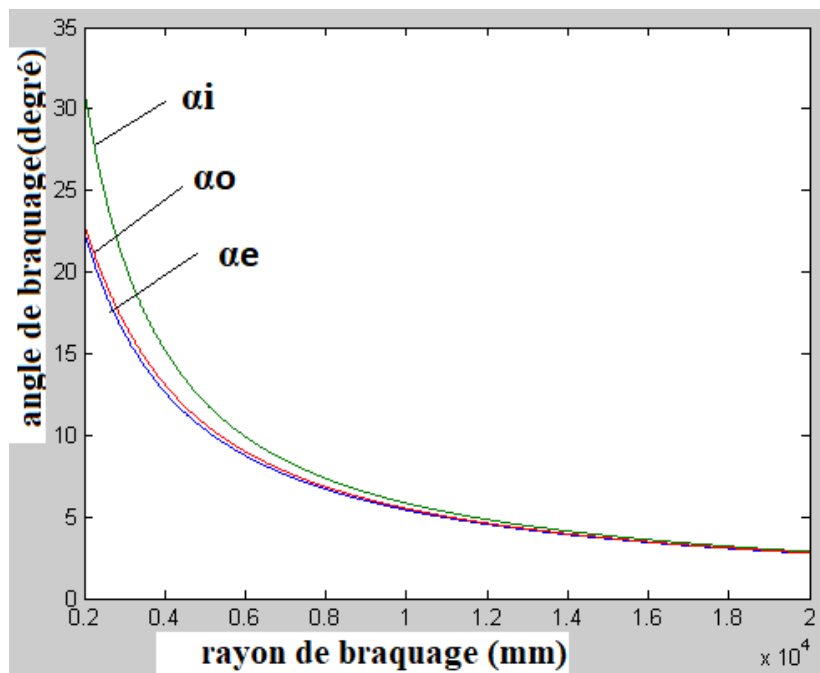


Figure IV.3 : Variation des angles de braquage en fonction du rayon de braquage.

On observe que la différence entre les angles d'orientation des roues internes et externes augmente au fur et à mesure que le rayon de braquage diminue.

Pour assurer le guidage du Quadcycle, nous avons remplacé la barre d'accouplement par un mécanisme pignon et crémaillère, cela affecte sûrement le respect de la condition d'Ackerman-Jeantaud, mais cela est imposé pour des raisons de conception, d'ailleurs, c'est le

mécanisme le plus utilisé et le plus célèbre dans nos jours. Cependant, l'angle de déflexion des leviers de direction est gardé inchangé.

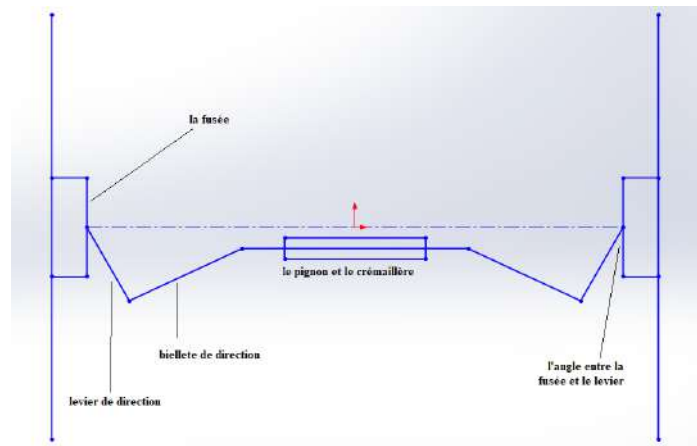


Figure IV.4 : Illustration de la solution adoptée comme système de braquage

IV.4.1.2 Erreur de la direction

Par le remplacement de la barre d'accouplement par un mécanisme pignon crémaillère, des erreurs sur la direction des roues vont se révéler, ce qu'on va étudier dans cette section.

Afin de vérifier si l'orientation est exacte ou non, nous avons établi les équations des angles dans le nouveau système où plusieurs nouvelles variables apparaissent, à savoir :

- Distance sur l'axe x entre la fusée et la crémaillère (FC)
- Distance sur l'axe y entre le levier et la crémaillère (LC)
- Longueur de la bielle de direction (LB)
- Longueur de levier de direction (L).
- Angle entre la bielle et la crémaillère est variable, de plus, ils deviennent deux β_i et β_e .
- Angles de braquage sont variables et différenciés (α_i , α_e).

Tout cela est fonction de la translation de la crémaillère (t).

Les grandeurs sus indiquées sont calculer ou sont variant comme suit :

- $LB = \sqrt{LC^2 + (FC - L * \sin(A))^2}$
- $LC = [20, 70]$
- $L = [0, 120]$
- $A = [0, 40]$
- $t = [20, 60]$
- $FC = [180, 260]$

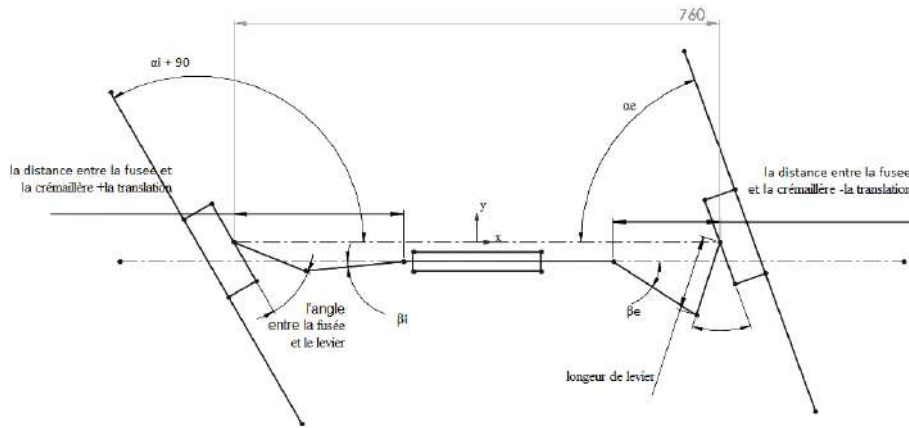


Figure IV.5 : Paramètres du système de braquage choisi

Sur la partie intérieure on peut tirer les équations suivantes :

$$\text{Equation}_1 = \cos^{-1}((FC + t - L * \sin(A + \alpha_i))/ LB).$$

$$\text{Equation}_2 = \sin^{-1}((LC - L * (\cos(A) - \cos(A + \alpha_i)))/ LB).$$

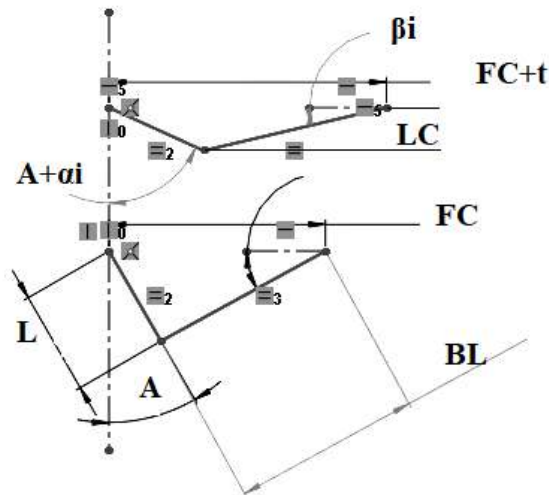


Figure IV.6 : Illustration de la partie intérieure du système de braquage

Sur la partie extérieure on peut tirer les équations suivantes :

$$\text{Equation}_3 = \cos^{-1}((FC - t - L * \sin(A - \alpha_e))/ LB).$$

$$\text{Equation}_4 = \sin^{-1}((LC + L * (\cos(A - \alpha_e) - \cos(A)))/ LB).$$

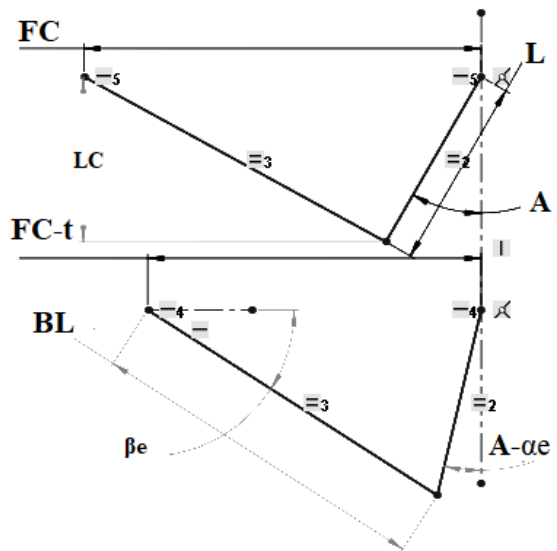


Figure IV.7 : Illustration de la partie extérieure du système de braquage

Pour un virage de 2000 mm vers la gauche, les résultats des quatre équations précédentes indiquant les variations des β_i et β_e sont présentés dans la courbe suivante :

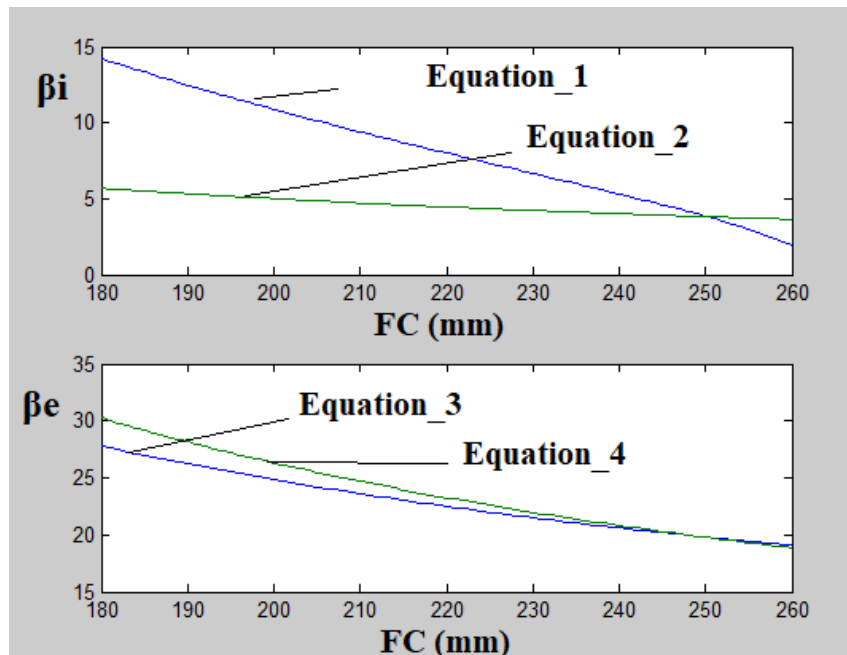


Figure IV.8 : Courbe de résultats d'équations

On remarque que pour $FC = 250mm$, $\beta_i = 3.8^\circ$, $\beta_e = 19.8^\circ$, $L = 94mm$, $LC = 53mm$, $t = 38mm$, $A = 36^\circ$, $LB = 201.83mm$ et les angles de braquage intérieur et extérieur sont : $\alpha_i = 31.15^\circ$, $\alpha_e = 22,40^\circ$.

Après comparaison aux résultats de la première équation (la condition de Jeanteau) on a résumé dans le tableau suivant.

	Résultats parfaits	Résultats optimisés	taux de précision	Taux d'erreur
αi	31.30°	31.15°	99.52%	0.15°
αe	22.48°	22.4°	99,64%	0.08°

Donc ce système optimise 8,9° par rapport à un autre système simple.

IV.4.2 Système d'inclinaison

Le Quadcycle est une solution partielle aux problèmes de trafic routier, de consommation d'énergie et de pollution. En revanche, ce véhicule est moins stable de par leur fort ratio entre hauteur et largeur. Lors de la prise d'un virage, l'accélération du véhicule due au mouvement curviligne se décompose en accélérations tangentielle (ortho radiale) et normale (radiale ou latérale). L'accélération tangentielle dans le sens de l'axe longitudinal du véhicule induit une variation de la vitesse longitudinale, tandis que l'accélération normale (dite latérale), perpendiculaire à l'axe longitudinal, permet au véhicule de prendre les virages.

D'autre part, cette accélération latérale, crée un moment au centre de gravité du véhicule qui, au-dessus d'un certain seuil tend à renverser le véhicule ou l'écarter de la trajectoire souhaitée. L'accélération latérale est aussi mal perçue par le conducteur. Pour remédier à cette problématique, nous sommes inspirés de la dynamique des véhicules deux roues (motocycles, bicyclettes...) de leur inclinaison en virage, pour stabiliser le Quadcycle.

IV.4.2.1 Étude de stabilité du Quadcycle

À partir de la résultante des accélérations au centre de gravité (a_{lat} , dynamique de véhicule), l'étude se déroulera dans deux cas différents : le véhicule vertical en trajectoire rectiligne ou bien en trajectoire circulaire et un troisième cas où le véhicule est incliné en trajectoire circulaire.

On s'intéresse à l'accélération latérale a_{lat} sachant que la hauteur de centre de gravité au sol $h=820$ mm, et l'écartement $e=1010$ mm avec θ est l'angle d'inclinaison.

- **La Véhicule vertical en trajectoire rectiligne :**

Dans ce cas $\theta=0$ et $a_{lat}=0$, donc et le problème de stabilité latérale ne se pose pas, sauf pour les cas de rejet des forces latérales de perturbation (les coups de vents latéraux), de dévers de la route, ou des perturbations dues à une chaussée asymétrique au niveau des roues gauches et droites.

• **Véhicule vertical en trajectoire circulaire :**

Lorsque le véhicule ne s'incline pas $\theta=0$, alors $a_{lat} \neq 0$. La figure ci-dessous illustre tout d'abord le cas où le véhicule est stable malgré une accélération latérale non nulle. (2), et le cas où il est instable (3) et se renversera alors, puisque l'intersection x_g de la résultante des accélérations a_g au niveau de son centre de gravité G avec le plan du sol est en dehors de la base du véhicule.

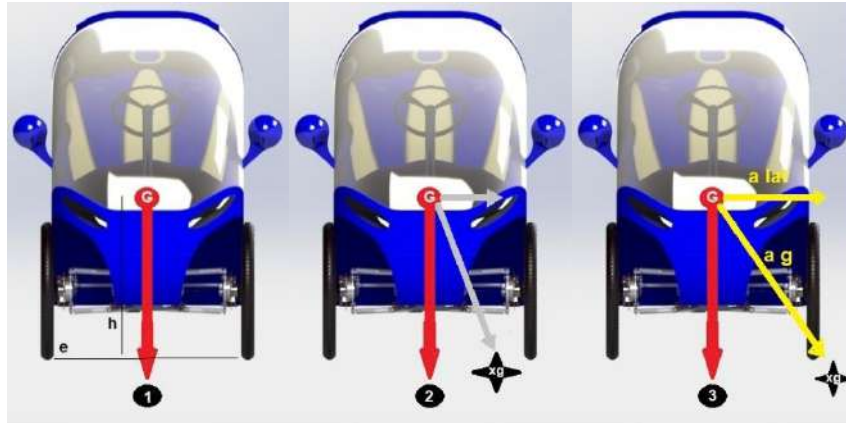


Figure IV.9 : Influence d'accélération latérale sur le véhicule

Le véhicule ne se renverse pas tant que $-e/2h < a_{lat}/g < e/2h$ alors l'accélération latérale maximale tolérée sans inclinaison avant le renversement est de : $a_{lat,max} = -e \cdot g/2h$.

• **Véhicule incliné en trajectoire circulaire :**

Lorsque le véhicule s'incline d'un certain angle θ , son centre de gravité est décalé, ainsi que le point x_g . Le véhicule est stable tant que x_g appartient au segment e donc est situé entre les deux roues du véhicule.

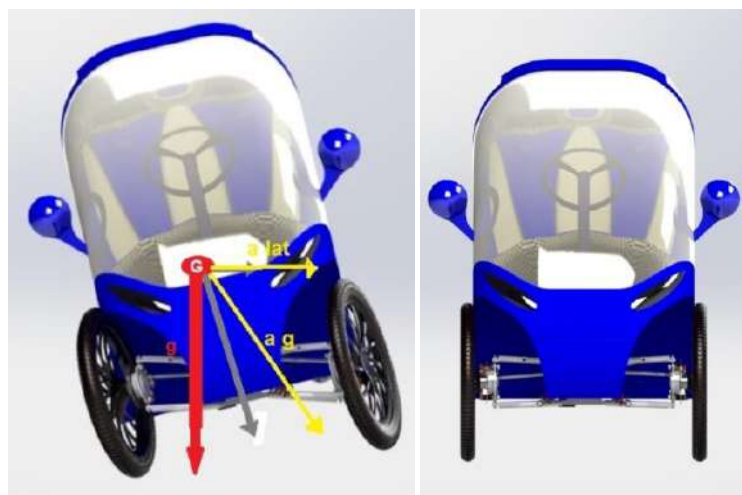


Figure IV.10 : Déplacement du centre de gravite lors d'inclinaison

Dans ce cas le véhicule est stable tant que $\left| a_{lat-max} \right| \leq \frac{g[(\frac{e}{2})+h \sin \theta]}{h \cos \theta}$.

IV.4.2.2 Comparaison des deux systèmes avec/sans inclinaison

Dans une trajectoire circulaire nous avons : $a_{lat} = a_{normale} = \frac{v^2}{r}$.

Notons que l'angle maximale d'inclinaison est de 30° ; la vitesse max de le Quadcycle dans les virages tant que ne se renverse pas est illustré dans les courbes suivantes :

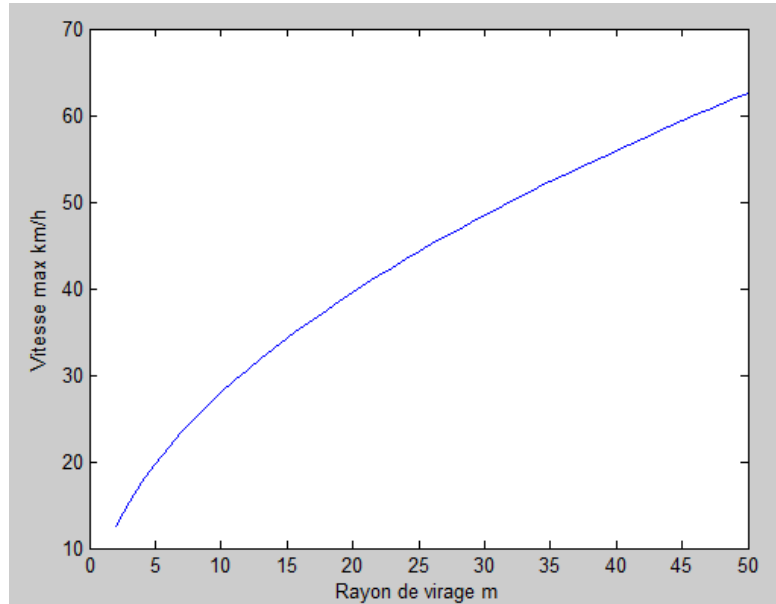


Figure IV.11 : V_{max} en virages sans utilisation du système d'inclinaison

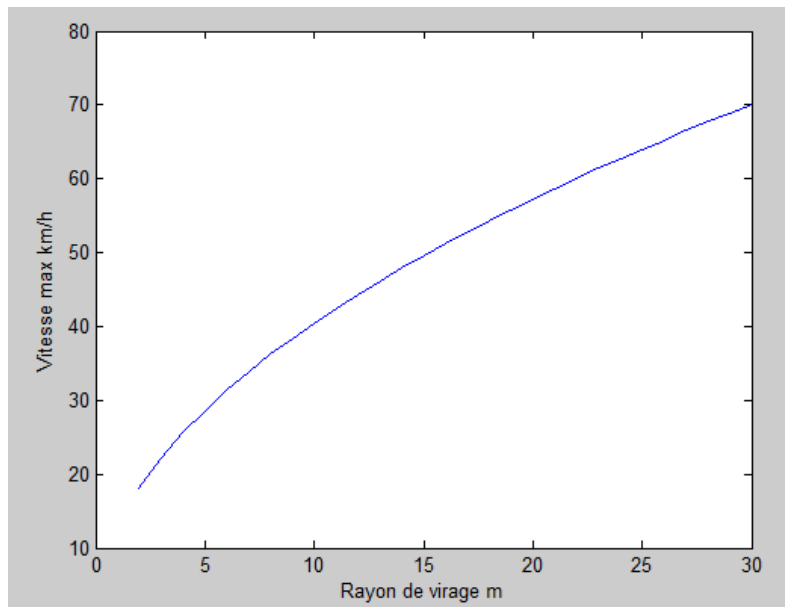


Figure IV.12 : V_{max} en virages avec utilisation du système d'inclinaison

On remarque que l'accélération latérale maximale autorisé en virage augmente de $5,98 \text{ m/s}^2$ dans le cas de véhicule sans inclinaisons à une valeur de $12,57 \text{ m/s}^2$ pour le cas où le véhicule est en inclinaison.

IV.4.2.3 Mécanisme d'inclinaison

Le principe de fonctionnement de ce mécanisme repose essentiellement sur l'idée du système anti-roulis qu'est utilisé dans les automobiles de formula-student qui gère l'inclinaison au moyen de moteurs électriques.

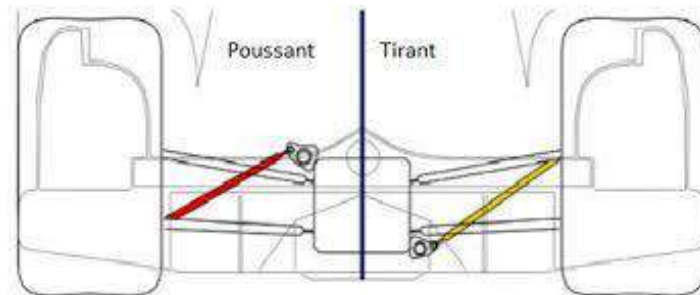


Figure IV.13 : Système anti-roulis des formula-student

Cependant, nous avons opté pour une solution mécanique n'utilisant aucune assistance électrique contrairement au système anti-roulis, et cela par l'utilisation d'un système pignon-crémaillère qui va tirer sur le triangle supérieur d'un côté et pousser celui de l'autre côté.

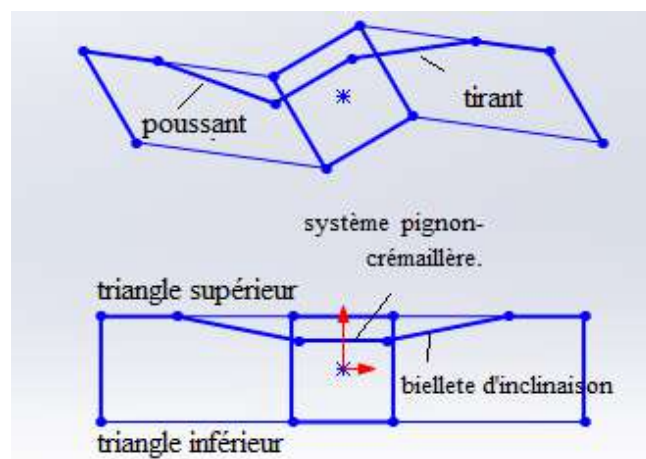


Figure IV.14 : Illustration du système d'inclinaison

Pour ce mécanisme, plusieurs paramètres entre en jeu à savoir :

- La longueur de la bielle d'inclinaison est : 195mm.
- La distance sur l'axe x entre la fusée et la bielle est : 118mm.
- La distance sur l'axe y entre le triangle et la crémaillère est : 45mm.
- L'angle entre la bielle et la crémaillère est : **11,22°**.
- La longueur totale de crémaillère : 140mm.
- $p=160$ mm (la longueur du chassais).
- $LT=300$ mm (la longueur de triangle).

On peut donc évaluer l'influence du mouvement de la crémaillère sur l'angle de braquage de l'équation suivante :

$$\psi = \sin^{-1}[(p/2) * \sin(\theta)/LT]$$

Et le résultat est présenté par la courbe ci-dessous :

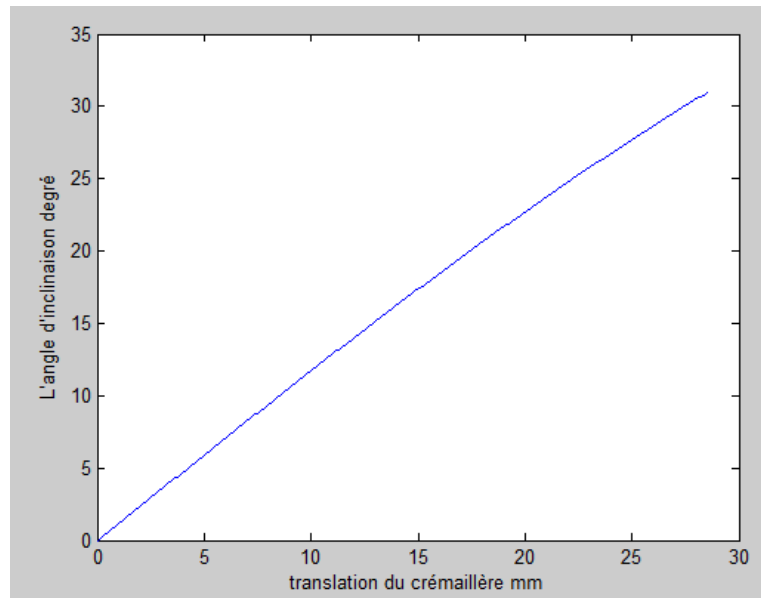


Figure IV.15 : Influence du mouvement de la crémaillère sur l'angle de braquage

IV.5 Conception

Dans le processus de conception, nous avons utilisé le logiciel de conception assisté par ordinateur SolidWorks qui permet comme les autres logiciels de CAO de corriger ou modifier les pièces conçues à n'importe quel moment grâce à la conception paramétrique.

Sur la base de l'étude présentée précédemment dans ce document, nous avons élaboré les différentes pièces de notre Quadcycle, elles sont présentées aux sections qui suivent.

IV.5.1 Suspension

- **Suspension avant :**

On a utilisé le système de double triangle pour la suspension, par ce que ce système donne une grande souplesse et facilité d'inclinaison, en plus il est confortable pour le conducteur et le passager.



Figure IV.16 : Suspension avant

On a prévu des amortisseurs à l'intérieur de ressorts spirale le tous positionné comme apparent à la figure précédente afin de ne pas gêner l'inclinaison.

- **Suspension arrière :**

La suspension arrière est similaire à la suspension avant, voir symétrique par rapport au plan médian du Quadcycle.



Figure IV.17 : Suspension arrière

IV.5.2 Mécanisme de direction

Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, le même mécanisme de direction est du type pignon-crémaillère employé en avant et aussi en arrière, mais fonctionnant inversement.

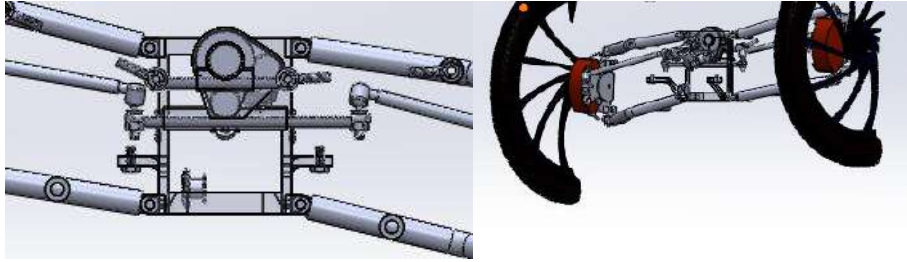


Figure IV.18 : Système de direction avant

IV.5.3 Mécanisme d'inclinaison

Ce système dont nous avons parlé plus tôt, où les biellettes sont connectées aux triangles supérieurs de suspension.

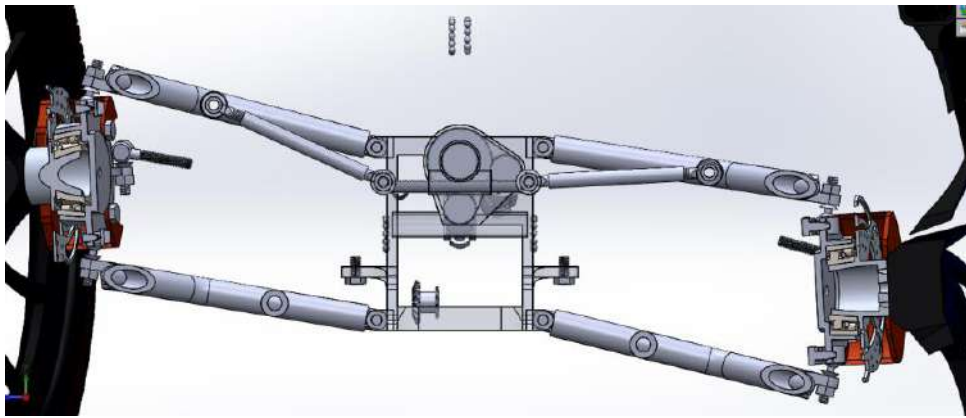


Figure IV.19 : Système d'inclinaison avant

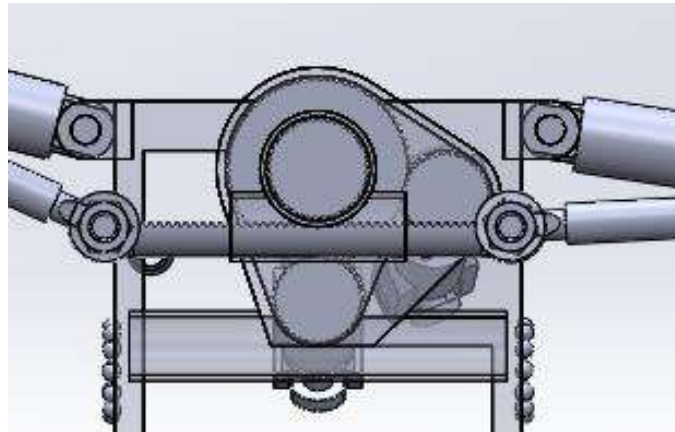


Figure IV.20 : Crémaillère avant d'inclinaison

IV.5.4 Système de combinaison direction-inclinaison

Le système fonctionne grâce à l'effort musculaire fourni par le conducteur, qui est transformé en énergie cinétique transmise pour braquer et incliner le véhicule. En tournant le volant, un cardan transmet le mouvement à la crémaillère avant.

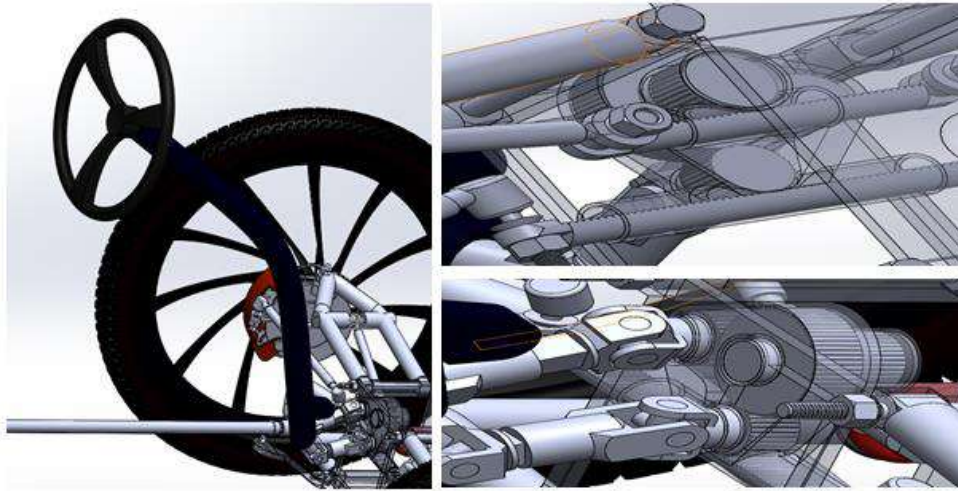


Figure IV.21 : Volant, cardans et crémaillères du mécanisme avant

Le cardan fait tourner un pignon de 32mm de diamètre. Le demi-tour de pignon donne une translation de 50 mm à la crémaillère de direction, et en plus tourne un autre pignon de 64 mm de diamètre par un quart de tour, ce dernier est soudé à un pignon de 36 mm de diamètre, ce qui résulte le déplacement de la crémaillère par une distance de 28 mm.

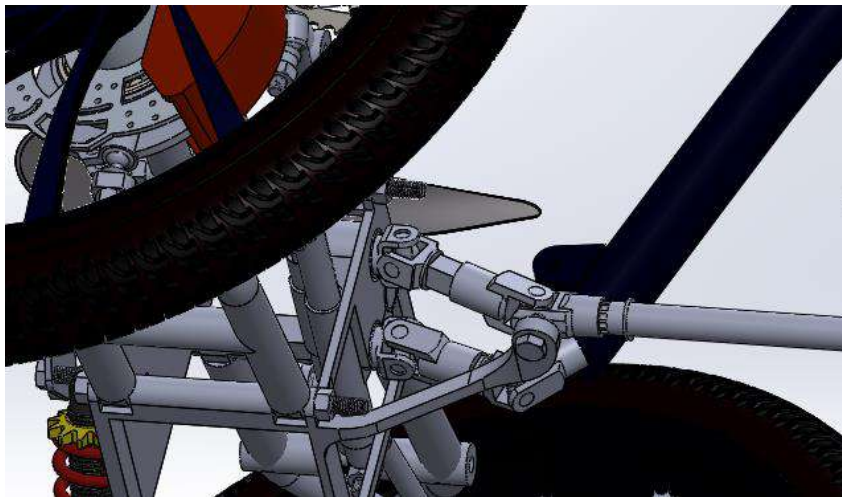


Figure IV.22 : Cardan de transmission d'effort de braquage et inclinaison coté avant

Le mouvement de rotation du premier pignon transmise en mouvement de rotation aussi de même sens au pignon d'un même diamètre (32 mm), Ce pignon tourne le cardan qui transmette cette énergie cinétique à la crémaillère arrière pour braquer et incliner la coté arrière.

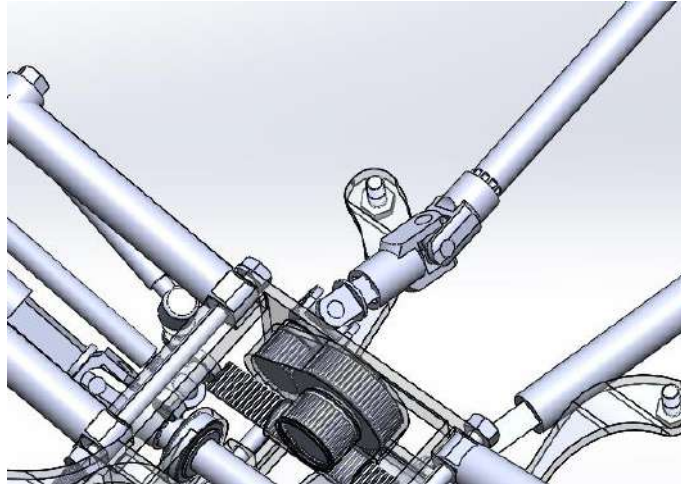


Figure IV.23 : Cardan de transmission d'effort de braquage et inclinaison coté arrière

Le mouvement entre dans le mécanisme arrière en forme de rotation de pignon par l'arbre de transmission, ce pignon tourne un autre pignon de 64 mm de diamètre qui est soudé à un autre de 36mm de diamètre.

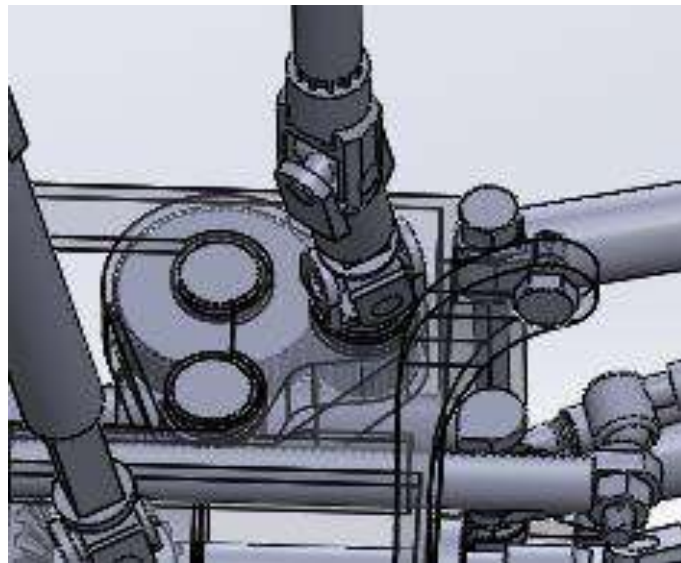


Figure IV.24 : Système arrière de braquage et inclinaison

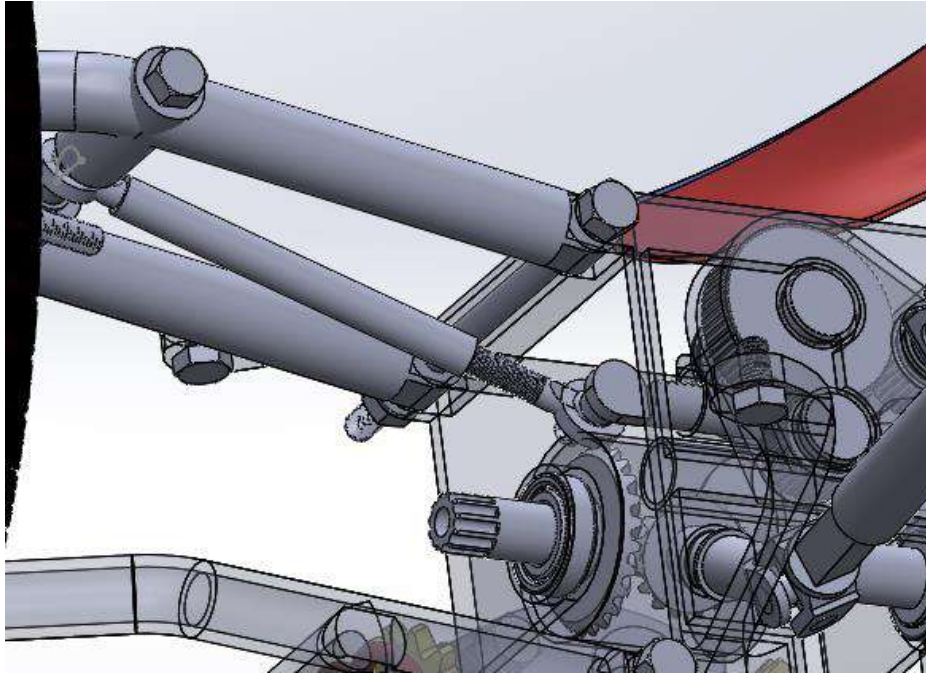


Figure IV.25 : Mécanisme d'inclinaison arrière

Le pignon de 64 mm tourne un pignon de 32 mm de diamètre lié à la crémaillère de direction arrière, Cette mouvement de rotation de ce pignon transforme à une autre de translation de la crémaillère par une distance de 50 mm.

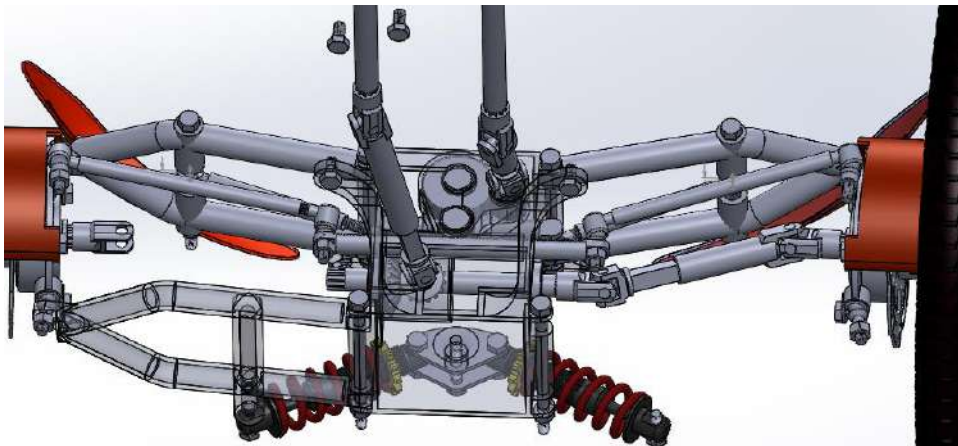


Figure IV.26 : Bielle qui translaté la force pour braquage

IV.5.5 Système de traction

La force des jambes est la seule responsable du déplacement du cette quad cycle, OÙ le mouvement est initié lorsque le conducteur fait tourner la pédale qui contient trois valeurs de changement de vitesse, Ce mouvement est transmis à un roue dentée contenant 7 valeurs de changement de vitesse par une chaîne.

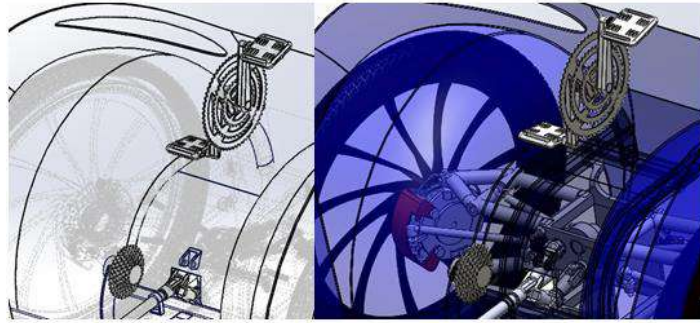


Figure IV.27 : Système pédale chaîne roue dentier

Cette énergie cinétique est transmise à une autre roue dentée liée au pignon conique, ce dernier est engrené avec un autre pignon conique qu'est responsable à modifier l'axe de rotation du mouvement.

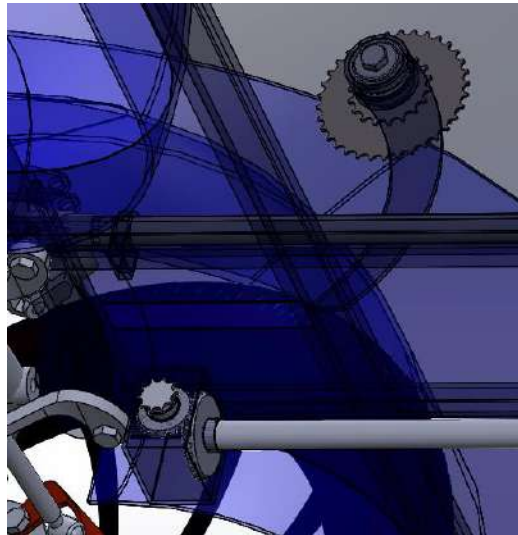


Figure IV.28 : Boîte de transfert d'axe de rotation

Lorsque cette énergie change leur axe de rotation, le cardan de transmission transmise le mouvement au pont arrière.

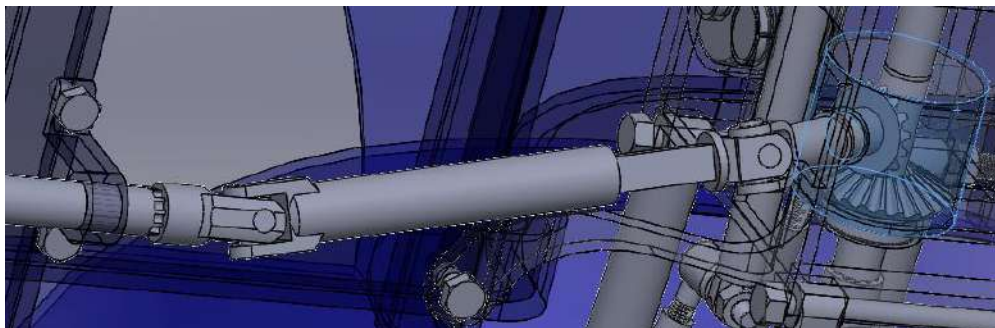


Figure IV.29 : Cardan de transmission et différentiel

Ce dernier distribue aux roues via un système d'égalisation ou différentiel selon les besoins.

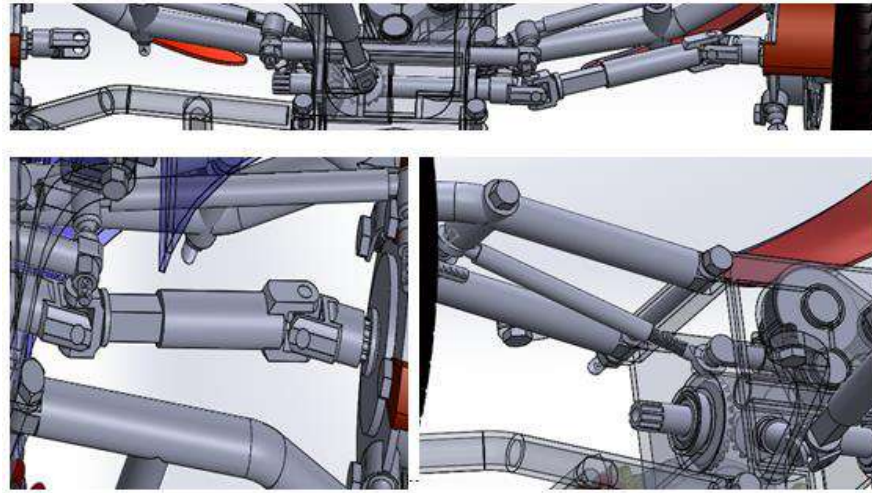


Figure IV.30 : Transmission de puissance aux roues

IV.5.6 Système de freinage

À travers ce que nous voyons de la technologie utilisée nos jours dans le système des freinages on trouve que les voitures qui utilisent des freins à disque sont plus sûrs et efficaces.

Ainsi, nous avons pensé à utiliser quatre disques de frein (disque dans chaque roue), et pour le frein de stationnement nous voulons profiter de la méthode utilisée dans les voitures du drift comme système pour le frein de parking.



Figure IV.31 : Levier hydraulique (à gauche) et disque de frein de l'automobile de drift (à droite)

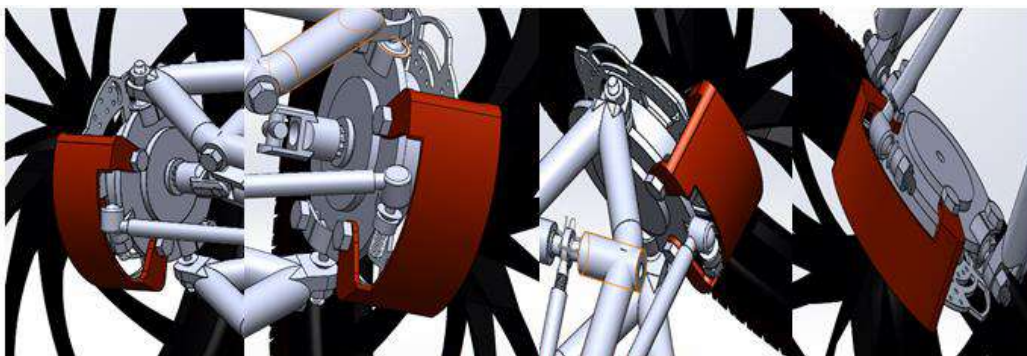


Figure IV.32 : Système de frein utilisé dans le Quadcycle

IV.5.7 Présentation finale du Quadcycle

Finalement, notre Quadcycle a les spécifications et caractéristiques techniques suivantes :

La longueur totale du véhicule	2743mm
La largeur totale du véhicule	1263mm
La hauteur du véhicule	1627mm
Hauteur aux sol	310mm
Poids vide	120kg
Charge maximale	240kg
Empattement	1750mm
Ecartement	1010mm
Vitesse maximale	60km/h
Nombre des roues directrices	4 roues directrices
L'angle d'inclinaison maximale	30°
Rayon de braquage minimal	2m
Nombre des places	2
Batterie	Jusqu'à 6 heures
Rayon des roues	600 mm
Système de freinage	Disque avant et arrière
Carrosserie	résine et fibre de vert
Châssis	aluminium
Angle d'attaque	Ouverte
Angle de crête	152°
Angle de fuite	Ouverte

IV.5.7.1 Châssis et positionnement des sièges

Cette voiture a été conçue pour accueillir confortablement deux personnes d'une longueur de 1,90 m où le siège du conducteur est légèrement incliné pour pouvoir faire tourner la pédale. Le passager est dans un siège normal, mais avec un grand confort et une grande largeur.

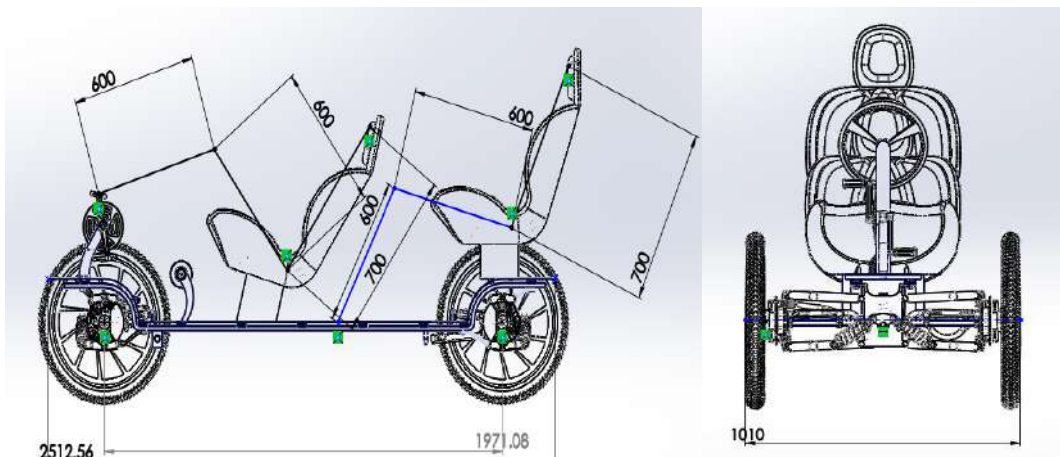


Figure IV.33 : Le châssis et positionnement des sièges

IV.5.7.2 Carrosserie

Nous avons essayé de rendre structure externe plus épuré et simple, en plus de réduire le poids en réduisant le nombre de portes avec une large vue sur les fenêtres

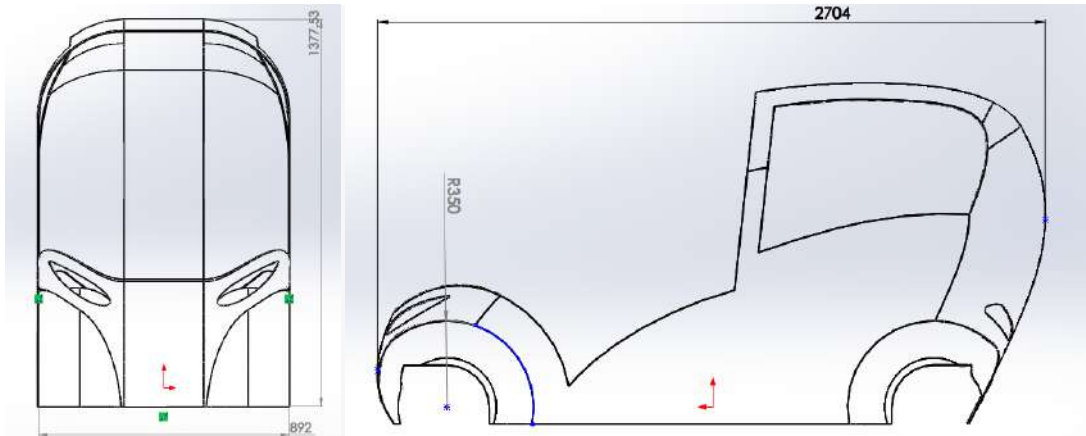


Figure IV.34 : Structure de véhicule

Nous avons choisi cette conception pour le pare-brise et la porte pour rendre le véhicule plus attrayant, et c'est également une aide précieuse pour réduire le poids

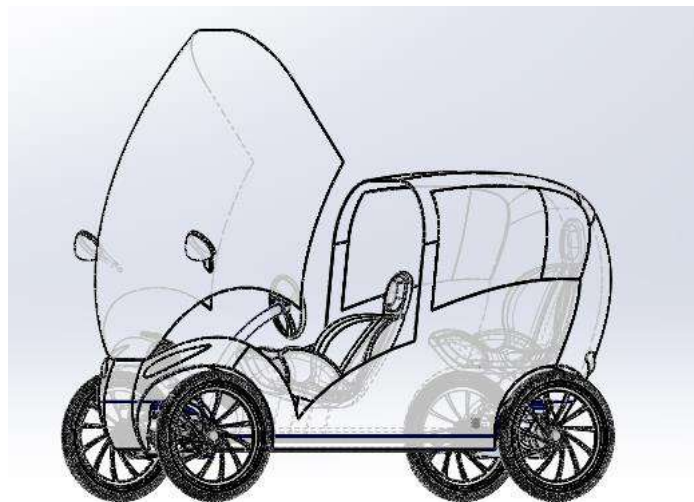


Figure IV.35 : Pare-brise-porte et vitres du Quadcycle

IV.5.7.3 Dimensions du véhicule

À ce stade, nous sommes arrivés à l'assemblage final des pièces et design total du véhicule, lors que la longueur est de 2743mm et la largeur est de 1263 mm et de hauteur 1627mm

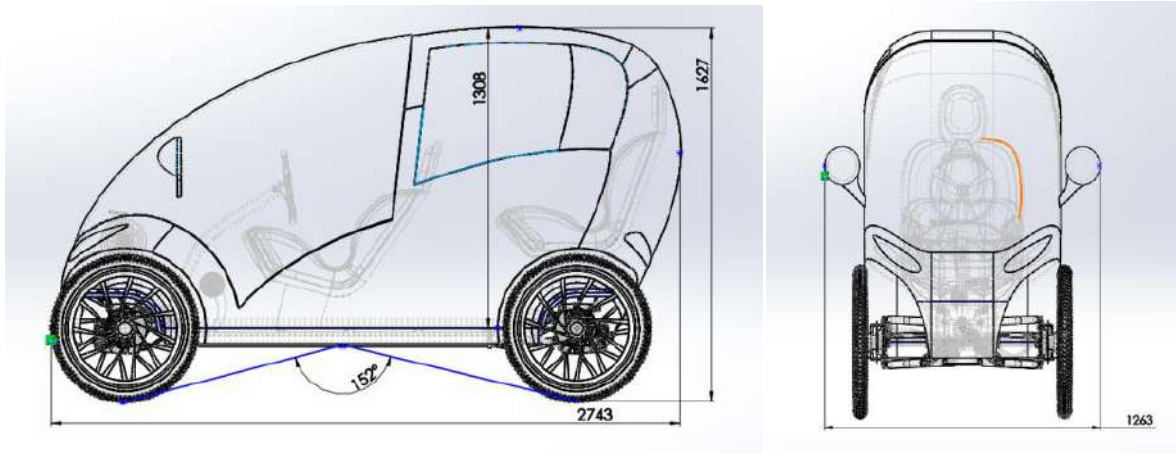


Figure IV.36 : Dimensions du Quadcycle

IV.5.7.4 Design final

L'album photos suivant présente en 3D notre produit final : le Quadcycle



Figure IV.37 : Album photos du Quadcycle

IV.6 Système de sécurité

Comme nous le savons, la sécurité routière est l'ensemble des mesures mises en place pour empêcher les usagers de la route d'être tués ou gravement blessés dans les accidents de la route. Toutes ces statistiques obligent les constructeurs des voitures à développer des mesures de précaution qui augmentent la sécurité des passagers, a plus importante de ces mesures préventives simples ont un grand impact:

Ainsi notre Quadcycle doit être équipé de tels mesures à savoir :

- La ceinture de sécurité qui est indispensable même en cas de petits chocs.
- Les airbags (ou coussins gonflables de sécurité) dont le rôle est de minimiser les dommages dus au choc entre les passagers et l'intérieur du véhicule.

Le but étant d'obtenir une décélération la moins brutale possible pour le corps.



Figure IV.38 : Systèmes de sécurité

IV.7 Prototype

Au départ de ce travail, la réalisation d'un prototype était prévue ; mais, malheureusement, par manque de temps et vu le confinement et l'éloignement social imposée par la pandémie COVID'19, celle-ci est devenue impossible. Ainsi nous recommandant aux prochains étudiants de s'engager la réalisation d'un prototype sur la base de ce travail.

Conclusion Générale

À travers ce travail, nous avons vu les différents problèmes que provoquent les moyens de transport surtout en ville : le bruit, l'encombrement, les odeurs, les polluants... sont des raisons suffisantes pour penser à l'amélioration de ces moyens de transports malgré le développement qui ont connus ces dernières décennies

Vu l'importance du transport et l'étendue de son impact sur la civilisation et l'avancement de la société, ce domaine n'a cessé d'avancer, les entreprises et les usines sont en concurrence pour fournir le meilleur service au prix le plus bas et avec moins de négatifs en termes de durée de vie, de vitesse, de mobilité et d'impact sur l'environnement.

Après l'étude des solutions existantes mises sur le marché et dans notre vie quotidienne, nous avons contribué en ce sens par l'étude et la conception d'un véhicule biplace à quatre roues avec une source d'énergie respectueuse de l'environnement et avec des spécifications et des caractéristiques qui rivalisent les autres produits du marché.

Les spécifications de ce véhicule sont appréciées à savoir qu'il est léger et de petite taille, donnant possibilité de tourner dans des endroits très étroits parce qu'il est à quatre roues directrices. Son inclinaison dans les virages lui rend plus stable. Les avantages que donne notre véhicule, qu'on a nommé Quadcycle, ne s'arrête pas là, on peut citer qu'il est écologique car se déplace avec l'effort musculaire de son conducteur, d'ailleurs c'est bon pour la santé humaine. En question d'intimité il est parfait, en plus son mouvement est souple dans les endroits étroites et dans les embouteillages de part ses dimensions réduites et son rayon de braquage minimiser par rapport aux autres véhicules personnels.

Le Quadcycle n'est certainement pas parfait, par exemple il est lourd ce qui rend sa conduite pénible pour le conducteur, cependant, il peut être développé par la suite. En effet, un travail dans ce sens a été lancé par une équipe d'étudiants de deuxième année master maintenance industrielle en parallèle avec le notre et dont le but est d'étudier le système de propulsion d'un véhicule biplace où l'effort musculaire est la source de puissance principale mais assisté à moitié par des moteurs électriques. Dommage que nous n'avons pas réussi à

collaboré avec cette équipe, les choses nous dépassent car un confinement et un éloignement sociale est imposée pour confronté la pandémie COVID'19.

Au final, nous somme heureux d'avoir eu l'occasion de traiter une telle problématique et d'essayer de contribuer à sa résolution ; c'était une bonne occasion pour se familiariser avec un outil de CAO très répondu, SolidWorks. En plus, la recherche qu'on a élaboré dans le cadre de ce travail nous à ouvert les yeux sur de nouvelles information et technique que nous ne connaissons pas au paravent, et le plus important est que cette expérience nous a mis sur un chemin de recherche qui nous aidera à résoudre les problèmes qu'on rencontrera à l'avenir soit en vie académique ou professionnelle.

Bibliographie

1. ATTIA LARBI, LE TRANSPORT URBAIN DURABLE DANS LA VILLE DE GUELMA, 2017
2. Munafò Sébastien *et alii*, « Dispositions et usages de l'automobile et des transports publics entre 1994 et 2011. Analyse des cas de Berne, Lausanne et Genève [archive] », *Revue d'économie régionale et urbaine*
3. Cédric HUMAIR, Société et culture automobile: épanouissement du transport routier motorisé en Suisse 1875-1939
4. Dominique CESARI (INRETS) Mikael HETIER (LUTB), Qualité des systèmes de transport, Decembre2010
5. Les motos diesel : Mercedes, Royal Enfield et motos françaises diesel » [archive], 3 mai 2014 (consulté le 24 mars 2019)
6. ISABELLE CAPLAIN, Mesure de émission polluantes automobile-application a la modélisation eulérienne 3D de la formation des oxydants photochimique dans la troposphère, univ Lille 2005
7. Sid Ahmed HAMDANI, Analyse de l'efficacité énergétique du système de transport en Algérie
8. Engineering a smoother, more stable ride [archive], sur le site bose.com, consulté le 10 aout 2014
9. Direction par « articulation centrale » qui se rencontre particulièrement sur des véhicules de chantiers robustes, à deux ponts moteurs rigides.
10. T. Gillespie. « Fundamentals of vehicle Dynamics », 1992, Society of Automotive Engineers (SAE)
11. Aflah ELOUNEG, Conception et étude de fabrication du système de direction, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE, 2016
12. J. Reimpell, H. Stoll, J. Betzler. « The automotive chassis: engineering principles ». 2nd edition. 2001, SAE
13. <https://www.avatacar.com/blog/mecanique-auto/les-types-de-direction-assistee/>

دراسة وتصميم نظام توجيه رباعي العجلات مع ميزة الميلان

ملخص: في هذا العمل حاولنا إيجاد حل لمشكلة التنقل داخل المدينة دون اكتظاظ وضوضاء وبأقل ضرر على البيئة وكذا تقليل الانبعاثات، حيث أدت دراستنا إلى تصميم دراجة رباعية العجلات وجعلها ملائمة للظروف المناخية المحيطة وأكثر سلاسة في التحرك. تصميم هذه المركبة أوجب علينا دراسة أنظمة التعليق وأنظمة التوجيه للتمكن من اختيار الأمثل. الخصائص التي أردنا الحصول عليها في مركبتنا فرضت علينا الكثير من التعديلات خاصة أن نظام التوجيه الأولي كان معقدا عند احترام شروط اكرمان جيانتو وإدخال خاصية الميلان في الآلية. تم تصميم ورسم هذه المركبة بالاستعانة ببرنامج صوليدوروكس المعروف في مجال التصميم بالاستعانة بالحاسوب حيث كانت النتائج جد واقعية في ظل عدم التمكن من تصنيع نموذج أولي بسبب ما فرضته جائحة كورونا.

الكلمات المفتاحية: دراجة رباعية، توجيه رباعي العجلات، حماية البيئة، عربة ثنائية المقاعد.

Study and design of a 4WS system with tilt option

Abstract: In this work, we tried to find a solution to the problem of moving within the city without congestion and noise and with the least damage to the environment, as well as reducing emissions, as our study led to the design of a four-wheeled bicycle and made it suitable for the surrounding climatic conditions and smoother to move. The design of this vehicle required us to study the suspension and steering systems in order to be able to choose the optimal one. The characteristics that we wanted to have in our vehicle imposed on us many adjustments, especially since the initial guidance system was complicated when respecting the condition of Jeanteau and the introduction of the tilt property in the mechanism. This vehicle was designed and drawn with the help of Solidworks, a program known in the field of design with the help of computers, where the results were very realistic in light of the inability to manufacture a prototype due to what was imposed by the Corona pandemic.

Keywords: Quadcycle, four-wheel steering, environmental protection, bi-place vehicle.

Étude et conception d'un système 4RD avec option inclinaison

Résumé : dans ce travail, nous avons essayé de trouver une solution au problème de se déplacer dans la ville sans encombrement ni bruit et avec le moins de dommages à l'environnement, ainsi que de réduire les émissions, car notre étude a conduit à la conception d'un vélo à quatre roues. et l'a rendu adapté aux conditions climatiques environnantes et plus fluide à déplacer. La conception de ce véhicule nous a obligé à étudier les systèmes de suspension et de direction afin de pouvoir choisir le meilleur. Les caractéristiques que nous voulions avoir dans notre véhicule nous ont imposé de nombreux réglages, d'autant plus que le système de guidage initial était compliqué en respectant l'état de Jeanteau et l'introduction de la propriété d'inclinaison dans le mécanisme. Ce véhicule a été conçu et dessiné avec l'aide de Solidworks, un programme connu dans le domaine de la conception à l'aide d'ordinateurs, où les résultats étaient très réalistes compte tenu de l'impossibilité de fabriquer un prototype en raison de ce qui a été imposé par la pandémie Corona. .

Mots clés: Quadcycle, quatre roues directrices, protection de l'environnement, véhicule biplaces.

