

I. Introduction générale :

Pas besoin d'être manutentionnaire pour faire de la manutention! Des milliers de travailleurs sont appelés à déplacer des charges dont la diversité de poids, de forme, de dimensions et même de consistance est presque inconcevable!

C'est pourquoi il peut être difficile de trouver la solution la plus efficace, déjà toute faite, pour rendre sécuritaire un poste où se fait de la manutention. C'est aussi la raison pour laquelle les meilleures idées naissent dans les milieux de travail!

Parmi les appareils de manutention on cite les appareils de levages. L'utilisation des appareils de levage et de manutention remonte très loin dans l'histoire.

Les engins de levage ont par exemple connus un développement extraordinaire. Après une stagnation technique presque totale depuis le temps des *Pharaons*, ils deviennent de plus en plus importants dans toutes les branches de l'industrie moderne. Leur emploi est évidemment une nécessité dans l'industrie lourde qui doit, à tout instant, déplacer les charges importantes, nous rencontrons les appareils de levage et de manutentions à tous les niveaux des activités économiques, autant industrielles que commerciales, ils sont présents lors des phases transitoires des cycles d'élaboration des matériaux et des produits, ils sont également des compléments incontournables lors des opérations de transport, ce qui a permis un gain de temps énorme dans l'industrie ^par conséquent un accroissement de la productivité qui implique un gain d'argent plus important. De ce fait, ils sont extrêmement variés suivant les matériaux et les productivités à déplacer, et suivant le mode de déplacement choisi, et ils assurent les fonctions de levage, de déplacement, et de positionnement, tel que :

- Les portiques
- Les grues
- Les palans
- Les ponts roulants
- Les nacelles

Plan de travail :

Notre travail se devise de la manière suivante :

Un chapitre sera consacré aux généralités sur les appareils de levage et leurs différents types.

Des exemples seront montrés pour bien signifier leurs importances.

Dans le prochain chapitre, nous exposerons notre partie de d'étude. Elle concernera l'application d'un modèle simple et adorable. Il serra conçu selon les moyens locaux afin de permettre à l'utilisateur de la réaliser.

Dans le dernier chapitre nous représenterons les organes étudiés de notre nacelle en 2D et en 3D à l'aide du logiciel solidworks.

CHAPITRES 1 : GENERALITE

I. 1-Introduction

Nous rencontrons les appareils de manutention, à tous les niveaux des activités économiques, tant industrielles que commerciales. Présents lors des phases transitoires des cycles d'élaboration des matériaux et des produits, ils sont également des compléments incontournables lors des opérations de transport.

La manutention des charges exige des équipements de levage de haute performance opérant de manière sûre, précise et sécuritaire. La disponibilité, la fiabilité et la rentabilité de ces équipements représentent des facteurs cruciaux quelle que soit l'application.

I. 2- Différents types des appareils de levage :

Appareils de levage	Mouvement	Dispositifs	
	Vertical	Crics Vérins Palans Treuils	Crochets Elingues Chaines Câbles etc.....
Appareils de manutention à fonctionnement continu	Horizontal	Vis d'Archimède Transporteurs à rouleaux, à inertie, à bande, aériens	
	Mixte	Monorails continus Installation pneumatique	
	Plan incliné	Toboggans Glissières Elévateurs Escaliers mécaniques	
Appareils de manutention à fonctionnement	Vertical	Parcours imposé	Parcours non imposé
		Ascenseurs Monte-charges	
	Horizontal	Monorails Cabestans	Roues Diables

		Rouleaux Wagonnets	Chariots Tracteurs
	Mixte	Ponts roulants Portiques roulants Grues	Chariots élévateurs Gerbeurs roulants (mouvement horizontal avec levage préalable)

Tableau I.1 : appareils de manutention

I. 2-1-Brouette :

La brouette est un chariot généralement à une roue, parfois à deux roues, qui utilise le principe du levier pour mouvoir des charges. Les poignées en assurent la direction. Elle est facile à manœuvrer et demande peu d'entretien.

Lors du transport, le travailleur soulève la charge à l'aide des poignées, puis exerce un effort pour propulser la brouette et la maintenir en mouvement. Il doit de plus maintenir l'équilibre de la charge sur la roue avant.

Le châssis de la brouette est généralement en acier, mais il existe des modèles en aluminium. Le réceptacle de la brouette (cuve) est offert en matériau plein ou grillagé, selon les modèles : acier, acier galvanisé (anticorrosion), aluminium, matières plastiques (polypropylène, polyéthylène), bois ou treillis d'acier. La brouette est généralement utilisée pour le transport de matériaux ou d'outils sur des terrains plats, peu inclinés ou accidentés. Le principe du levier associé à la position du centre de gravité à proximité de la roue confère à cet appareil de manutention une grande efficacité.



Figure I.1 : brouette

I. 2-2-Chariot à plateforme

Le chariot à plateforme est un chariot manuel conçu pour transporter divers types de charges. Polyvalent et de construction solide, il est constitué d'une plateforme près du sol, d'un train de roulement à quatre ou six roulettes ainsi que d'une barre permettant d'appliquer la force nécessaire pour le déplacer et le diriger. Ce type de chariot est davantage conçu pour être poussé que tiré.



Figure I.2 : chariot à plateforme

I. 2-3-Convoyeur

Le convoyeur est un dispositif permettant de déplacer des charges à l'horizontale ou sur des plans légèrement inclinés. Il peut être disposé à une hauteur qui favorise une prise facile, sans flexion du dos.

Le convoyeur facilite les tâches de réception et d'expédition de la marchandise. Il est également approprié pour alimenter les postes de travail et évacuer les produits finis.

Les convoyeurs peuvent varier selon la surface utilisée pour déplacer la marchandise : à rouleaux, à roulettes, à billes, à roulettes multidirectionnelles ou à courroie. Le convoyeur à

billes peut être utilisé comme table de manutention. Une telle table permet de diminuer l'effort requis pour changer la direction de la charge.

Lorsque nécessaire, le convoyeur peut être motorisé, qu'il soit à courroie ou à rouleaux. Généralement, la motorisation est électrique. Les convoyeurs à rouleaux motorisés sont de trois types : à rouleaux mus par une courroie, à rouleaux mus par une chaîne et à rouleaux mus par bracelets.

La présente fiche traite du convoyeur d'utilisation générale. Il n'aborde pas les convoyeurs de personnel, les convoyeurs de vrac, à vis, de plancher, à godets, à lattes, à tasseaux, ni tout autre convoyeur d'utilisation autre que générale.



Figure I.3 : convoyeur

I. 2-4-Diable de manutention

Le diable est un chariot de manutention à structure verticale pourvu de deux ou de quatre roues qui utilise le principe du levier pour mouvoir des charges. Les poignées en assurent la direction. À la différence des chariots, qui portent toute la charge, les diables en portent une partie, l'autre partie étant portée par le manutentionnaire.

Le diable est constitué de deux bras et d'une plateforme appelée « bavette » sur laquelle la charge est déposée (illustration ci-dessous). Il est utilisé pour manutentionner des charges généralement plus hautes que larges.

Le diable est offert en plusieurs matériaux comme l'acier, l'acier inoxydable, l'aluminium, le magnésium et le nylon. Il est facile à manœuvrer sur un sol ferme et uniforme. Il est peu encombrant et demande peu d'entretien.

Plusieurs modèles de diables sont offerts sur le marché. Certains modèles sont conçus pour des usages spécifiques, comme le diable pour barils, le diable pour électroménagers

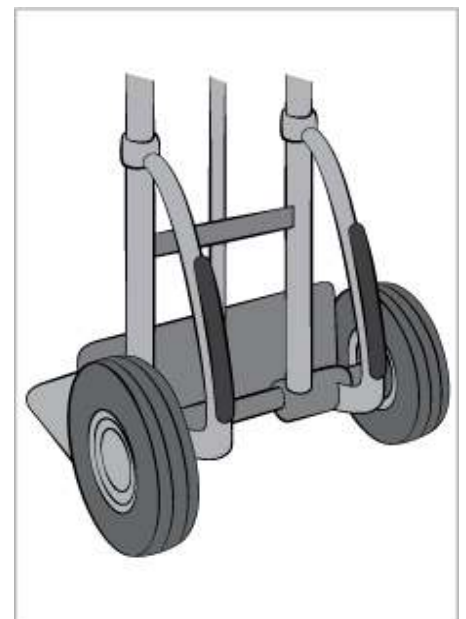


Figure I.4: diable de manutention

et le diable pour escalier. Plusieurs modèles sont transformables en chariot à plateforme.

Afin de minimiser l'effort physique, il est important de bien choisir le modèle en fonction de la tâche à effectuer et de l'objet à transporter.

I. 2-5-Transpalette manuel (chariot pour palettes)

Un transpalette manuel est un appareil de manutention à conducteur à pied destiné à transporter des charges sur de courtes distances. Il s'adapte exclusivement à la configuration typique d'une palette. Les charges doivent donc être « palettisées » (déposées sur une palette) pour être déplacées par le transpalette.

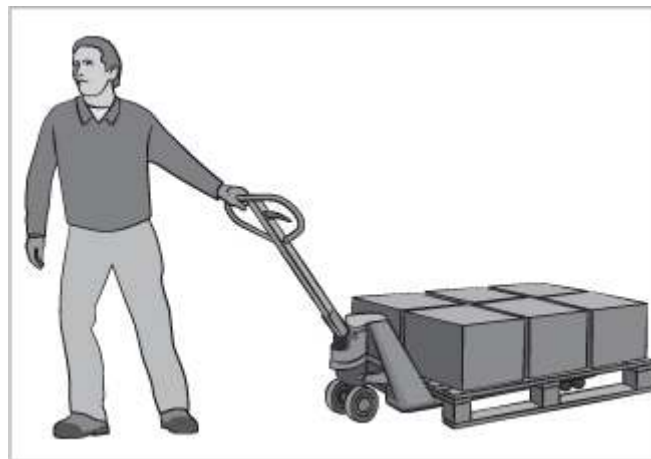


Figure I.5 : transpalette manuel

Le transpalette se caractérise par deux bras de fourche qui se glissent sous la palette et qui peuvent s'élever de quelques centimètres du sol, permettant ainsi à l'opérateur de soulever et de déplacer les palettes. Comme il est compact, il a l'avantage d'être très mobile dans les espaces restreints.

Le transpalette manuel se compose d'une partie verticale appelée « tablier » et d'une fourche constituée de deux longerons. La charge est guidée à l'aide d'un timon (long manche).

La plupart des transpalettes manuels sont à faible levée, c'est-à-dire qu'ils s'élèvent seulement de quelques centimètres du sol afin de dégager la palette du sol et de permettre son déplacement horizontal. Le levage peut se faire à l'aide d'un système hydraulique (à pédale).

D'un simple mouvement du doigt, il est possible de soulever ou de relâcher la charge. Il existe certains modèles de transpalettes manuels à haute levée qui peuvent lever une charge jusqu'à une hauteur d'environ 81 cm (32 po) du sol.

La poignée demeure en position verticale lorsque le transpalette n'est pas utilisé, ce qui prévient le risque de trébuchement.

Le transpalette peut être utile pour la préparation de commandes à placer sur des palettes.

I. 2-6-Système de levage par aspiration

Un système de levage par aspiration procède par levage et suspension pour déplacer verticalement une charge. Il est composé d'un tube de levage muni d'un pivot, d'une tête d'aspiration, d'une ventouse, d'un tube d'acheminement d'air, d'une pompe à vide et d'un filtre.

Dans le tube de levage (tuyau flexible), on produit une aspiration à l'aide de la pompe à vide. À l'extrémité du tube, une ventouse vient s'ajuster sur la surface à manutentionner et, si l'étanchéité est convenable, un vide se produit dans le tuyau flexible par aspiration. Le vide fait contracter le tuyau, ce qui a pour effet de lever la charge. Une poignée de commande permet de contrôler le débit d'aspiration ainsi que la vitesse de levage ou de descente.

Le déplacement horizontal de la charge est rendu possible en attachant le tube de levage à un chariot, et celui-ci peut-être monté sur un rail, une potence, un monorail, un pont roulant ou tout autre accessoire similaire.

Ce type d'appareils est généralement utilisé pour lever des plaques et des feuilles de métal. Les ventouses assurent une bonne protection du revêtement des matériaux.

L'utilisation d'une pompe à vide comporte des inconvénients :

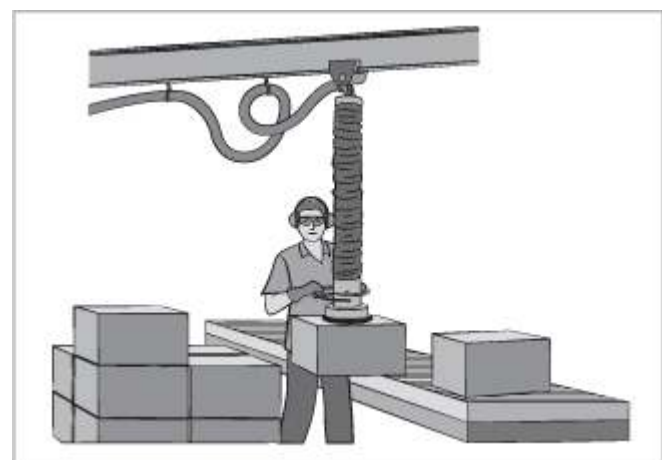


Figure I.6 : aspirateur

le niveau sonore est élevé et son entretien doit être fréquent. Des précautions supplémentaires sont à prendre en cas de bris de la pompe en situation de levage d'une charge

I. 2-7-Grue mobile

La grue mobile est utilisée pour le déplacement vertical de charges. Le levage s'effectue à l'aide d'un treuil motorisé. La présence de roues ou de chenilles permet de déplacer la charge sur une courte distance. De nombreux accessoires (dits « de gréage ») sont nécessaires : crochets, chaînes, cordages, élingues, palonniers, etc.

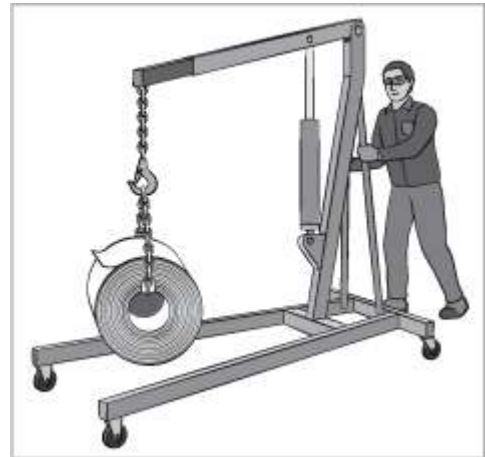


Figure I.7 : grue mobile

La grue mobile peut être équipée de divers accessoires de préhension comme un électroaimant, une fourche, un grappin ou une benne preneuse. Elle doit cependant avoir été conçue pour accueillir de tels accessoires.

Lors de la descente d'une charge avec le treuil de la grue, un frein dynamique permet de maintenir la charge à une vitesse constante. Les palans sont aussi pourvus d'une sécurité similaire.

Il existe plusieurs types de grues mobiles :

Grue automotrice, utilisée en usine pour le déplacement d'appareils et de

machines;

Grue sur porteur, utilisée surtout en construction pour le levage et le positionnement de pièces lourdes, de machinerie de chantier et de structures d'acier;

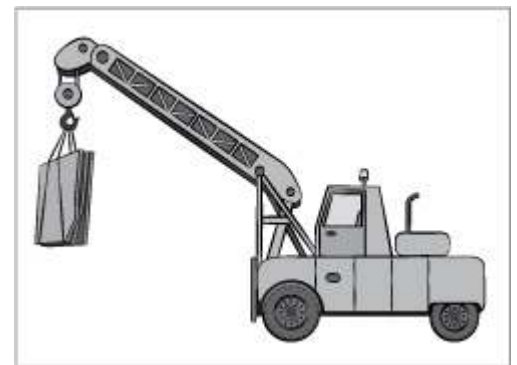


Figure I.8 : grue automotrice

Grue industrielle, utilisée à l'intérieur des bâtiments pour le déplacement de machinerie. Sa conception à profil bas lui permet d'entrer dans les bâtiments et d'être utilisée dans des endroits où le dégagement vertical est faible;

Grue conventionnelle (ou grue sur chenilles), fréquemment utilisée avec différents équipements de préhension;

Grue sur camion commercial, appelée « boom truck » par les grutiers;

Grue à flèche articulée (grue de chargement ou camion à grue auxiliaire),

Utilisé pour la livraison de matériaux de construction, d'appareils ou de pièces

Lourdes;

- Chèvre (potence sur roues), utilisée notamment dans les garages pour soulever des moteurs et des transmissions, ainsi que dans les services d'entretien pour soulever des charges variables.

I. 2-8-Table élévatrice à ciseaux

La table élévatrice à ciseaux est un appareil de manutention généralement fixe qui permet de lever ou d'abaisser une charge lourde pour la placer à la bonne hauteur afin de faciliter le travail. Elle permet de manutentionner tout matériel pouvant être chargé sur une palette.

Cette table élévatrice est munie d'un mécanisme à ciseaux actionné par un système hydraulique, pneumatique ou mécanique. Le levage est généralement motorisé, alors que la descente s'effectue habituellement par gravité (lorsque le système est hydraulique).

La présente fiche traite des tables élévatoires fixes, sans mouvement de translation horizontal et ayant une levée maximale de 3 m.

Par ailleurs, pour faciliter le travail, la table élévatrice peut être équipée d'un mécanisme qui permet d'incliner la surface de la table ou de tourner celle-ci.

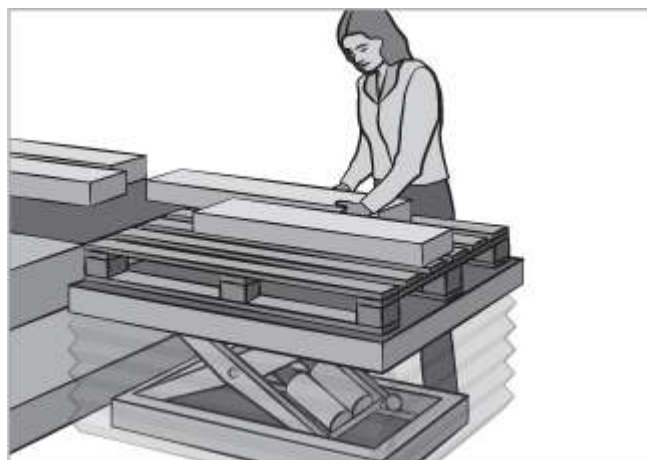


Figure I.9 : table élévatrice

I. 2-9-Manipulateur magnétique de tôles

Le manipulateur magnétique de tôles est un aimant de levage qui, lorsque activé, s'agrippe à la surface des pièces composées de métaux ferreux. Sa forme est généralement plate, ou adaptée à l'objet manutentionné, afin d'offrir une bonne surface de contact et de favoriser l'action du magnétisme. La relâche de la pièce est assurée par l'un des mécanismes possibles, comme le bouton-poussoir ou la languette.

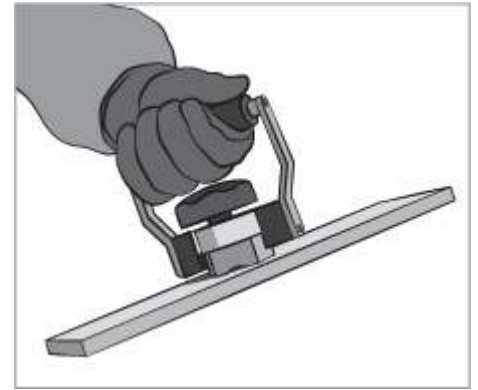


Figure I.10 : manipulateur

Cet accessoire de préhension aide à séparer les tôles pour en faciliter la préhension. Il favorise une meilleure posture et une meilleure prise pour les mains sur la charge à soulever ou à déplacer. Il diminue les risques de coupure lors de la manutention de tôles et les risques d'écrasement des doigts entre les piles de tôles.

I. 3-Classes d'utilisation :

La classe d'utilisation caractérise la fréquence d'utilisation de l'appareil dans son ensemble au cours de son service. Cette notion pourrait être représentée par un nombre de cycles de manœuvres que l'appareil devrait accomplir au cours de sa vie. Ce nombre de cycle étant inconnu, il est convenu de répartir les appareils en 4 classes d'utilisation dépendant de la fréquence d'utilisation du mouvement de levage définie au tableau cité ci-dessus [1].

Classe d'utilisation	Fréquence d'utilisation du mouvement de levage	Nombre conventionnel de levage
A	Utilisation occasionnelle non régulière suivie de longues périodes de repos	$6,3 \cdot 10^4$
B	Utilisation régulière en service intermittent	$2 \cdot 10^5$
C	Utilisation régulière en service intensif	$6,3 \cdot 10^5$
D	Utilisation en service intensif severe assuré par exemple à plus d'un poste	$2,3 \cdot 10^6$

Tableau I.2 : classe d'utilisation

I. 4-Etat de contraintes :

L'état de contrainte précise dans quelle mesure on peut soulever une charge maximale ou seulement une charge réduite. Ces états de contraintes sont définis d'une façon analogue à ceux des charges levées avec les mêmes spectres conventionnels selon les définitions du tableau suivant : [2]

Etat de contrainte	Définition	Spectre correspondant
Très léger 0	Elément soumis exceptionnellement à la contrainte maximale et couramment à des contraintes très faible	P=0
Léger 1	Elément soumis rarement à la contrainte maximale et couramment à des contraintes relativement faibles, de l'ordre 1/3 de la contrainte maximale	P=1/3
Moyen 2	Elément soumis assez fréquemment à la contrainte maximale et couramment à des contraintes comprises entre 1/3 et 2/3 des contraintes maximales	P=2/3
Lourd 3	Elément régulièrement soumis à la contrainte maximale	P=1

Tableau I.3 : échelles de l'état de contraintes

On a un état de contrainte **Moyen 2**, pour des éléments soumis assez fréquemment à la contrainte maximale et couramment à des contraintes comprises entre 1/3 et 2/3 des contraintes maximales.

I. -Etat de sollicitation :

Etat de sollicitation	Définition	Moyenne cubique conventionnelle (k)
1-(p=0)	Mécanismes ou éléments de mécanismes qui ne sont qu'exceptionnellement soumis à la sollicitation maximale et couramment soumis à des sollicitations nettement inférieures	0.53
2-(p=1/3)	Mécanismes ou éléments de mécanismes soumis pendant des temps sensiblement égaux à des sollicitations faibles moyennes et maximales	0.67
3-(p=2/3)	Mécanismes ou éléments de mécanismes soumis surtout à une sollicitation voisine de la sollicitation maximale	0.85

Tableau I.4 : état de sollicitation

II. 1-Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différentes étapes de notre conception, ce qui comprend le dimensionnement du système et étude des résistance. Notre système est composé d'un châssis, un support des poutres, une tourelle, deux bras articulés et quatre pieds de stabilisation.

La conception et l'étude ont été faites à l'aide d'un logiciel de CAO/DAO (dessin et conception assisté par ordinateur), ce dernier s'appelle SolidWorks et à l'aide du logiciel Matlab.

II. 2-Dimensionnement de la poutre supérieure :

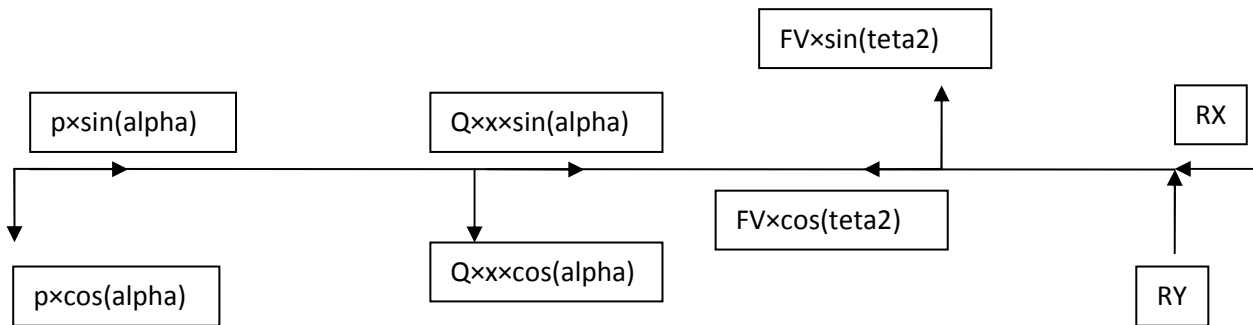


Figure II. 1 :représentation des efforts agissant sur la poutre

$$\sum F/X=0$$

$$\sum F/X= p \times \sin(\alpha) + Q \times L2 \times \sin(\alpha) - FV \times \cos(\text{teta}2) - RX = 0$$

$$\rightarrow RX = p \times \sin(\alpha) + Q \times L2 \times \sin(\alpha) - FV \times \cos(\text{teta}2)$$

$$\sum F/Y=0$$

$$\sum F/Y= RY + FV \times \sin(\text{teta}2) - Q \times L2 \times \cos(\alpha) - p \times \cos(\alpha) = 0$$

$$\rightarrow RY = p \times \cos(\alpha) + Q \times L2 \times \cos(\alpha) - FV \times \sin(\text{teta}2)$$

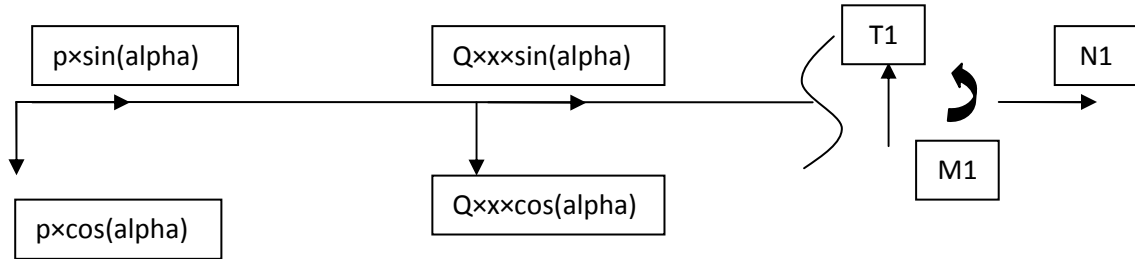
$$\sum M/O=0$$

$$\sum M/O = p \times \cos(\alpha) + Q \times L2^2 \times 0.5 \times \cos(\alpha) - FV \times \sin(\text{teta}2) \times a$$

$$\rightarrow FV = \frac{p \times \cos(\alpha) + Q \times L2^2 \times 0.5 \times \cos(\alpha)}{\sin(\text{teta}2) \times a}$$

Les equations de mouvement:

Partie [AB] $0 \leq x \leq L2-a$

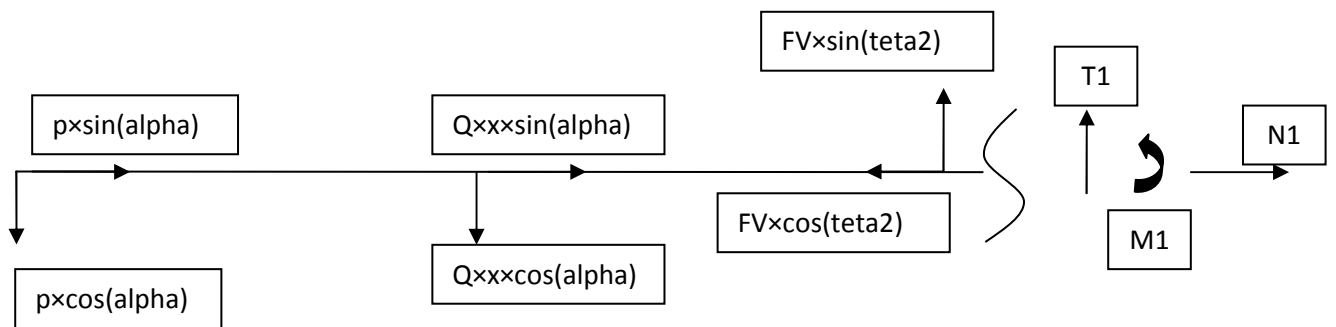


$$M1 = -p \times \cos(\alpha) \times x - Q \times 0.5 \times x^2 \times \cos(\alpha)$$

$$N1 = -p \times \sin(\alpha) - Q \times x \times \sin(\alpha)$$

$$T1 = p \times \cos(\alpha) + Q \times x \times \cos(\alpha)$$

Partie [BC] $L2-a \leq x \leq L2$



$$M2 = -p \times \cos(\alpha) \times x - Q \times 0.5 \times x^2 \times \cos(\alpha) + FV \times \sin(\text{teta2}) \times (x - (L2 - a))$$

$$N2 = -p \times \sin(\alpha) - Q \times x \times \sin(\alpha) + FV \times \cos(\text{teta2})$$

$$T2 = p \times \cos(\alpha) + Q \times x \times \cos(\alpha) - FV \times \sin(\text{teta2})$$

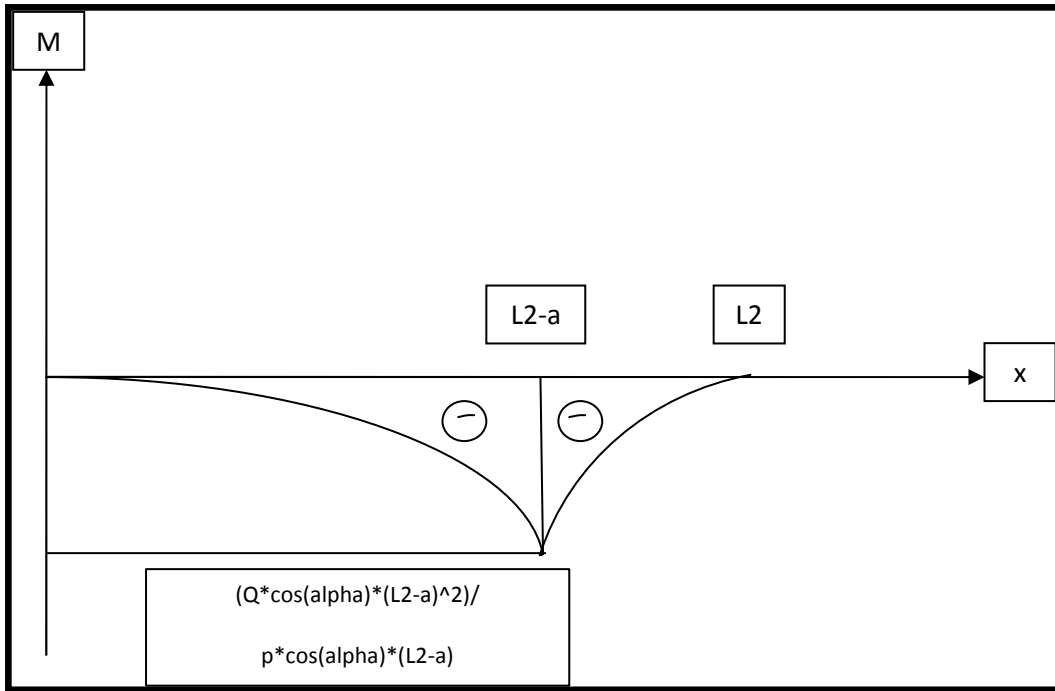


Figure II . 2: diagramme des moments

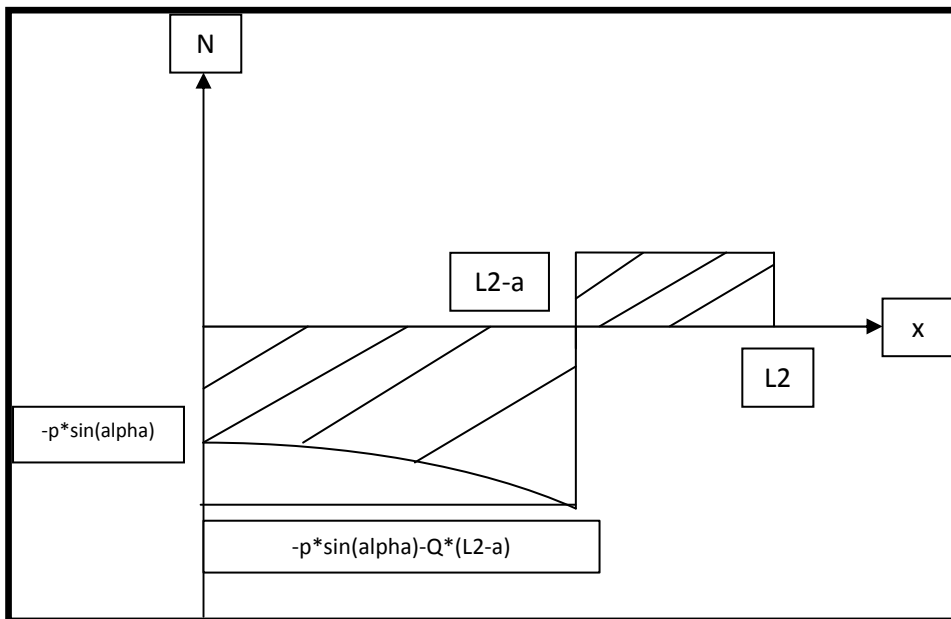


Figure II . 3: diagramme des efforts normales

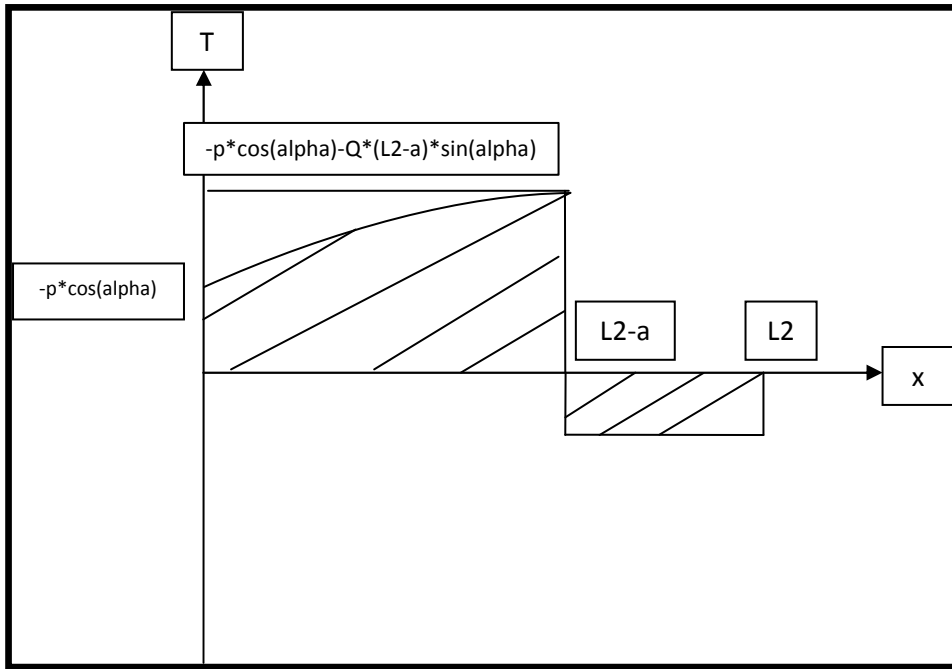


Figure II . : diagramme des efforts tranchants

FV=4.0988*3 RX=3.6270*3 RY=-1.7091*3	FV=4.0365*3 RX=3.5372*3 RY=-1.6831*3	FV=3.8516*3 RX=3.3399*3 RY=-1.6060*3	FV=3.5497*3 RX=3.0411*3 RY=-1.4801*3	FV=3.1399*3 RX=2.6499*3 RY=-1.3092*3	FV=2.6347*3 RX=2.1782*3 RY=-1.0986*3	FV=2.0494*3 RX=1.6403*3 RY=-854.5455
FV=2.8174*3 RX=2.1331*3 RY=-1.6831*3	FV=2.8609*3 RX=2.1307*3 RY=-1.7091*3	FV=2.8174*3 RX=2.0636*3 RY=-1.6831*3	FV=2.6883*3 RX=1.9338*3 RY=-1.6060*3	FV=2.4776*3 RX=1.7452*3 RY=-1.4801*3	FV=2.1915*3 RX=1.5037*3 RY=-1.3092*3	FV=1.8389*3 RX=1.2164*3 RY=-1.0986*3
FV=2.1903*3 RX=1.3250*3 RY=-1.6060*3	FV=2.2954*3 RX=1.3517*3 RY=-1.6831*3	FV=2.3309*3 RX=1.3373*3 RY=-1.7091*3	FV=2.2954*3 RX=1.2822*3 RY=-1.6831*3	FV=2.1903*3 RX=1.1882*3 RY=-1.6060*3	FV=2.0186*3 RX=1.0581*3 RY=-1.4801*3	FV=1.7855*3 RX=895.8404 RY=-1.3092*3
FV=1.7944*3 RX=797.3703 RY=-1.4801*3	FV=1.9470*3 RX=825.0951 RY=-1.6060*3	FV=2.0405*3 RX=827.7499 RY=-1.6831*3	FV=2.0720*3 RX=805.2539 RY=-1.7091*3	FV=2.0405*3 RX=758.2906 RY=-1.6831*3	FV=1.9470*3 RX=688.2871 RY=-1.6060*3	FV=1.7944*3 RX=597.3703 RY=-1.4801*3
FV=1.4932*3 RX=430.0853 RY=-1.3092*3	FV=1.6881*3 RX=440.8820 RY=-1.4801*3	FV=1.8317*3 RX=438.2826 RY=-1.6060*3	FV=1.9196*3 RX=422.3663 RY=-1.6831*3	FV=1.9492*3 RX=393.6166 RY=-1.7091*3	FV=1.9196*3 RX=352.9070 RY=-1.6831*3	FV=1.8317*3 RX=301.4746 RY=-1.6060*3
FV=1.2274*3 RX=179.1281 RY=-1.0986*3	FV=1.4628*3 RX=159.4468 RY=-1.3092*3	FV=1.6537*3 RX=134.9208 RY=-1.4801*3	FV=1.7944*3 RX=106.2953 RY=-1.6060*3	FV=1.8805*3 RX=74.4401 RY=-1.6831*3	FV=1.9095*3 RX=40.3231 RY=-1.7091*3	FV=1.8805*3 RX=4.9809 RY=-1.6831*3
FV=965.2730 RX=29.6956 RY=-854.5455	FV=1.2409*3 RX=-31.2834 RY=-1.0986*3	FV=1.4789*3 RX=-91.3118 RY=-1.3092*3	FV=1.6719*3 RX=-148.5657 RY=-1.4801*3	FV=1.8141*3 RX=-201.3056 RY=-1.6060*3	FV=1.9012*3 RX=-247.9289 RY=-1.6831*3	FV=1.9305*3 RX=-287.0190 RY=-1.7091*3
FV=685.6993 RX=-21.4486 RY=-584.5435	FV=1.0024*3 RX=-132.8984 RY=-854.5455	FV=1.2887*3 RX=-240.3102 RY=-1.0986*3	FV=1.5358*3 RX=-340.4203 RY=-1.3092*3	FV=1.7363*3 RX=-430.1868 RY=-1.4801*3	FV=1.8839*3 RX=-506.8824 RY=-1.6060*3	FV=1.9744*3 RX=-568.1766 RY=-1.6831*3
FV=370.6233 RX=31.2430 RY=-296.7805	FV=729.9854 RX=-138.4633 RY=-584.5435	FV=1.0672*3 RX=-303.9625 RY=-854.5455	FV=1.3719*3 RX=-460.2259 RY=-1.0986*3	FV=1.6350*3 RX=-602.5056 RY=-1.3092*3	FV=1.8484*3 RX=-726.4784 RY=-1.4801*3	FV=2.0056*3 RX=-828.3776 RY=-1.6060*3
FV=1.4269*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=404.6497 RX=-35.0781 RY=-296.7805	FV=797.0044 RX=-269.0905 RY=-584.5435	FV=1.1651*3 RX=-494.9266 RY=-854.5455	FV=1.4979*3 RX=-705.7246 RY=-1.0986*3	FV=1.5188*3 RX=-895.0796 RY=-1.3092*3	FV=2.0181*3 RX=-1.0572*3 RY=-1.4801*3
FV=454.3195 RX=507.6177 RY=296.7805	FV=1.6020*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=454.3195 RX=-113.6946 RY=-296.7805	FV=894.8347 RX=-423.9346 RY=-584.5435	FV=1.3082*3 RX=-721.2935 RY=-854.5455	FV=1.6817*3 RX=-996.7364 RY=-1.0986*3	FV=2.0042*3 RX=-1.2419*3 RY=-1.3092*3
FV=-1.0389*3 RX=995.9903 RY=584.5435	FV=527.4572 RX=607.2202 RY=296.7805	FV=1.8599*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=527.4572 RX=-213.2971 RY=-296.7805	FV=1.0389*3 RX=-620.1133 RY=-584.5435	FV=1.5188*3 RX=-1.0081*3 RY=-854.5455	FV=1.9525*3 RX=-1.3654*3 RY=-1.0986*3
FV=-1.8432*3 RX=1.7500*3 RY=854.5455	FV=-1.2608*3 RX=1.2665*3 RY=584.5435	FV=-640.1321 RX=744.5656 RY=296.7805	FV=2.2573*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=640.1321 RX=-350.6425 RY=-296.7805	FV=1.2608*3 RX=-890.6308 RY=-584.5435	FV=-1.8432*3 RX=-1.4036*3 RY=-854.5455
FV=4.0988*3 RX=3.6270*3 RY=-1.7091*3	FV=4.0365*3 RX=3.5372*3 RY=-1.6831*3	FV=3.8516*3 RX=3.3399*3 RY=-1.6060*3	FV=3.5497*3 RX=3.0411*3 RY=-1.4801*3	FV=3.1399*3 RX=2.6499*3 RY=-1.3092*3	FV=2.6347*3 RX=2.1782*3 RY=-1.0986*3	FV=2.0494*2 RX=1.6403*2 RY=-854.5455
FV=2.8174*2 RX=2.1331*2 RY=-1.6831*2	FV=2.8609*2 RX=2.1307*2 RY=-1.7091*2	FV=2.8174*2 RX=2.0636*2 RY=-1.6831*2	FV=2.6883*2 RX=1.9338*2 RY=-1.6060*2	FV=2.4776*2 RX=1.7452*2 RY=-1.4801*2	FV=2.1915*2 RX=1.5037*2 RY=-1.3092*2	FV=1.8389*2 RX=1.2164*2 RY=-1.0986*2
FV=2.1903*2 RX=1.3250*2 RY=-1.6060*2	FV=2.2954*2 RX=1.3517*2 RY=-1.6831*2	FV=2.3309*2 RX=1.3373*2 RY=-1.7091*2	FV=2.2954*2 RX=1.2822*2 RY=-1.6831*2	FV=2.1903*2 RX=1.1882*2 RY=-1.6060*2	FV=2.0186*2 RX=1.0581*2 RY=-1.4801*2	FV=1.7855*2 RX=895.8404 RY=-1.3092*2
FV=1.7944*2 RX=797.3703 RY=-1.4801*2	FV=1.9470*2 RX=825.0951 RY=-1.6060*2	FV=2.0405*2 RX=827.7499 RY=-1.6831*2	FV=2.0720*2 RX=805.2539 RY=-1.7091*2	FV=2.0405*2 RX=758.2906 RY=-1.6831*2	FV=1.9470*2 RX=688.2871 RY=-1.6060*2	FV=1.7944*2 RX=597.3703 RY=-1.4801*2
FV=1.4932*2 RX=430.0853 RY=-1.3092*2	FV=1.6881*2 RX=440.8820 RY=-1.4801*2	FV=1.8317*2 RX=438.2826 RY=-1.6060*2	FV=1.9196*2 RX=422.3663 RY=-1.6831*2	FV=1.9492*2 RX=393.6166 RY=-1.7091*2	FV=1.9196*2 RX=352.9070 RY=-1.6831*2	FV=1.8317*2 RX=301.4746 RY=-1.6060*2
FV=1.2274*3 RX=179.1281 RY=-1.0986*3	FV=1.4628*2 RX=159.4468 RY=-1.3092*2	FV=1.6537*2 RX=134.9208 RY=-1.4801*2	FV=1.7944*2 RX=106.2953 RY=-1.6060*2	FV=1.8805*2 RX=74.4401 RY=-1.6831*2	FV=1.9095*2 RX=40.3231 RY=-1.7091*2	FV=1.8805*2 RX=4.9809 RY=-1.6831*2
FV=965.2730 RX=29.6956 RY=-854.5455	FV=1.2409*2 RX=-31.2834 RY=-1.0986*2	FV=1.4789*2 RX=-91.3118 RY=-1.3092*2	FV=1.6719*2 RX=-148.5657 RY=-1.4801*2	FV=1.8141*2 RX=-201.3056 RY=-1.6060*2	FV=1.9012*2 RX=-247.9289 RY=-1.6831*2	FV=1.9305*2 RX=-287.0190 RY=-1.7091*2
FV=685.6993 RX=-21.4486 RY=-584.5435	FV=1.0024*2 RX=-132.8984 RY=-854.5455	FV=1.2887*2 RX=-240.3102 RY=-1.0986*2	FV=1.5358*2 RX=-340.4203 RY=-1.3092*2	FV=1.7363*2 RX=-430.1868 RY=-1.4801*2	FV=1.8839*2 RX=-506.8824 RY=-1.6060*2	FV=1.9744*2 RX=-568.1766 RY=-1.6831*2
FV=370.6233 RX=31.2430 RY=-296.7805	FV=729.9854 RX=-138.4633 RY=-584.5435	FV=1.0672*2 RX=-303.9625 RY=-854.5455	FV=1.3719*2 RX=-460.2259 RY=-1.0986*3	FV=1.6350*2 RX=-602.5056 RY=-1.3092*3	FV=1.8484*2 RX=-726.4784 RY=-1.4801*3	FV=2.0056*2 RX=-828.3776 RY=-1.6060*2
FV=1.4269*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=404.6497 RX=-35.0781 RY=-296.7805	FV=797.0044 RX=-269.0905 RY=-584.5435	FV=1.1651*3 RX=-494.9266 RY=-854.5455	FV=1.4979*3 RX=-705.7246 RY=-1.0986*3	FV=1.5188*2 RX=-895.0796 RY=-1.3092*3	FV=2.0181*2 RX=-1.0572*3 RY=-1.4801*2

RX=200 RY=-1.0465*-13	RX=-35.0781 RY=-296.7805	RX=-269.0905 RY=-584.5435	RX=-494.9266 RY=-854.5455	RX=-705.7246 RY=-1.0986*3	RX=-895.0796 RY=-1.3092*3	RX=-1.0572*3 RY=-1.4801*3
FV=-454.3195 RX=507.6177 RY=296.7805	FV=1.6020*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=454.3195 RX=-113.6946 RY=-296.7805	FV=894.8347 RX=-423.9346 RY=-584.5435	FV=1.3082*2 RX=-721.2935 RY=-854.5455	FV=1.6817*2 RX=-996.7364 RY=-1.0986*3	FV=2.0042*2 RX=-1.2419*3 RY=-1.3092*3
FV=-1.0389*3 RX=995.9903 RY=584.5435	FV=-527.4572 RX=607.2202 RY=296.7805	FV=1.8599*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=527.4572 RX=-213.2971 RY=-296.7805	FV=1.0389*2 RX=-620.1133 RY=-584.5435	FV=1.5188*2 RX=-1.0081*3 RY=-854.5455	FV=1.9525*2 RX=-1.3654*3 RY=-1.0986*3
FV=-1.8432*3 RX=1.7500*3 RY=854.5455	FV=-1.2608*3 RX=1.2665*3 RY=584.5435	FV=-640.1321 RX=744.5656 RY=296.7805	FV=2.2573*-13 RX=200 RY=-1.0465*-13	FV=640.1321 RX=-350.6425 RY=-296.7805	FV=1.2608*.2 RX=-890.6308 RY=-584.5435	FV=1.8432*2 RX=-1.4036*3 RY=-854.5455

Tableau II.1 :les réactions de la barre supérieure

M=0/-940/0 N=0/-3.6270*3 T=200/-1.7091*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -3.5372*3 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-883.3111/0 N=68.4040/ -3.3399*3 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-814.0639/0 N=100/-3.0411*3 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-720.0818/0 N=128.5575/ -2.6499*3 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-604.2204/0 N=153.2089/ -2.1782*3 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-470/0 N=173.2051/ -1.6403*3 T=100/-854.5455
M=0/-925.7193/0 N=-34.7296/ -2.1331*3 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-940/0 N=0/-2.1307*3 T=200/ -1.7091*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -2.0636*3 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-883.3111/0 N=68.4040/ -1.9338*3 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-814.0639/0 N=100/ -1.7452*3 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-720.0818/0 N=128.5575/ -1.5037*3 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-604.2204/0 N=153.2089/ -1.2164*3 T=128.5575/ -1.0986*3
M=0/-883.3111/0 N=-68.4040/ -1.3250*3 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-925.7193/0 N=-34.7296/ -1.3517*3 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-940/0 N=0/-1.3373*3 T=200/ -1.7091*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -1.2822*3 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-883.3111/0 N=68.4040/ -1.1882*3 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-814.0639/0 N=100/ -1.0581*3 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-720.0818/0 N=128.5575/ -895.8404 T=153.2089/ -1.3092*3
M=0/-814.0639/0 N=-100/ -797.3703 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-883.3111/0 N=-68.4040/ -825.0951 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-925.7193/0 N=-34.7296/ -827.7499 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-940/0 N=0/-805.2539 T=200/ -1.7091*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -758.2906 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-883.3111/0 N=68.4040/ -688.2871 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-814.0639/0 N=100/ -597.3703*3 T=173.2051/ -1.4801*3
M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ -430.0853 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-814.0639/0 N=-100/ -440.8820 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-883.3111/0 N=-68.4040/ -438.2826 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-925.7193/0 N=-34.7296/ -422.3663 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-940/0 N=0/-393.6166 T=200/ -1.7091*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -352.9070 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-883.3111/0 N=68.4040/ -301.4746 T=187.9385/ -1.6060*3
M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ -179.1281 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ -159.4468 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-814.0639/0 N=-100/ -134.9208 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-883.3111/0 N=-68.4040/ -106.2953 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -74.4401 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-940/0 N=0/-40.3231 T=200/ -1.7091*3	M=0/-925.7193/0 N=34.7296/ -4.9809 T=196.9616/ -1.6831*3
M=0/-470/0 N=-173.2051/ -29.6956 T=100/ -854.5455	M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ 31.2834 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ 91.3118 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-814.0639/0 N=-100/ 148.5657 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-883.3111/0 N=-68.4040/ 201.3056 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-925.7193/0 N=-34.7296/ 247.9289 T=196.9616/ -1.6831*3	M=0/-940/0 N=0/287.0190 T=200/ -1.7091*3
M=0/-321.489/0 N=-187.9385/ 21.4486 T=68.4040/ -584.5435	M=0/-470/0 N=-173.2051/ 132.8984 T=100/ -854.5455	M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ 240.3102 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ 340.4203 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-814.0639/0 N=-100/ 430.1868 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-883.3111/0 N=-68.4040/ 506.8824 T=187.9385/ -1.6060*3	M=0/-925.7193/0 N=-34.7296/ 568.1766 T=196.9616/ -1.6831*3
M=0/-163.2293/0 N=-196.9616/ -31.2430 T=34.7296/ -296.7805	M=0/-321.489/0 N=-187.9385/ 138.4633 T=68.4040/ -584.5435	M=0/-470/0 N=-173.2051/ 303.9625 T=100/ -854.5455	M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ 460.2259 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ 602.5056 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-814.0639/0 N=-100/ 726.4784 T=173.2051/ -1.4801*3	M=0/-925.7193/0 N=-68.4040/ 828.3776 T=187.9385/ -1.6060*3
M=0/ -5.7558*-14/0 N=-200/-200 T=1.2246*-14/ -1.0465*-13	M=0/-163.2293/0 N=-196.9616/ 35.0781 T=34.7296/ -296.7805	M=0/-321.489/0 N=-187.9385/ 269.0905 T=68.4040/ -584.5435	M=0/-470/0 N=-173.2051/ 494.9266 T=100/ -854.5455	M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ 705.7246 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ 895.0796 T=153.2089/ -1.3092*3	M=0/-814.0639/0 N=-100/ -134.9208 T=173.2051/ -1.4801*3
M=0/163.2293/0 N=-196.9616/ -507.6177 T=-34.7296/ 296.7805	M=0/ -5.7558*-14/0 N=-200/-200 T=1.2246*-14/ -1.0465*-13	M=0/-163.2293/0 N=-196.9616/ 113.6946 T=34.7296/ -296.7805	M=0/-321.489/0 N=-187.9385/ 423.9346 T=68.4040/ -584.5435	M=0/-470/0 N=-173.2051/ 721.2935 T=100/ -854.5455	M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ 996.7364 T=128.5575/ -1.0986*3	M=0/-720.0818/0 N=-128.5575/ 1.2419*3 T=153.2089/ -1.3092*3
M=0/321.4989/0 N=-187.9385/ -995.9903 T=-68.4040/ 584.5435	M=0/163.2293/0 N=-196.9616/ -607.2202 T=-34.7296/ 296.7805	M=0/ -5.7558*-14/0 N=-200/-200 T=1.2246*-14/ -1.0465*-13	M=0/-163.2293/0 N=-196.9616/ 213.2971 T=34.7296/ -296.7805	M=0/-321.489/0 N=-187.9385/ 620.1133 T=68.4040/ -584.5435	M=0/-470/0 N=-173.2051/ 1.0081*3 T=100/ -854.5455	M=0/-604.2204/0 N=-153.2089/ 1.3654*3 T=128.5575/ -1.0986*3
M=0/470/0 N=-173.2051/ -1.7500*3 T=-100/854.5455	M=0/321.4989/0 N=-187.9385/ -1.2665*3 T=-68.4040/ 584.5435	M=0/163.2293/0 N=-196.9616/ -744.5656 T=-34.7296/ 296.7805	M=0/ -5.7558*-14/0 N=-200/-200 T=1.2246*-14/ -1.0465*-13	M=0/-163.2293/0 N=-196.9616/ 350.6425 T=34.7296/ -296.7805	M=0/-321.489/0 N=-187.9385/ 890.6308 T=68.4040/ -584.5435	M=0/-470/0 N=-173.2051/ 1.4036*3 T=100/ -854.5455

Tableau II.2 : moments, effort normal et tranchant

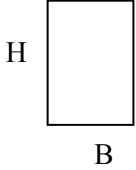
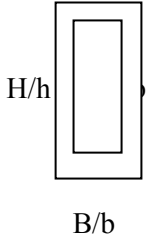
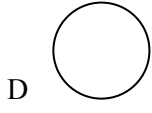
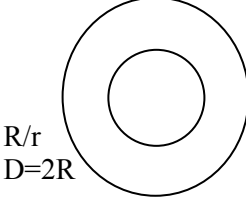
Section	Moment d'inertie	Contraint de cisaillement
	$I = \frac{B \times H^3}{12}$	$\tau = \frac{3 \times T}{2 \times S}$
	$I = \frac{(B-b) \times (H-h)^3}{12}$	$\tau = \frac{3 \times T}{2 \times (B-b) \times (H-h)}$
	$I = \frac{\pi \times D^4}{64}$	$\tau = \frac{4 \times T}{3 \times S}$
	$I = \frac{\pi \times D^4}{64}$	$\tau = \frac{4 \times T}{3 \times S} \times \frac{(R^2 + r) \times (R + r^2)}{R^2 + r^2}$ pour tube mince $\tau = \frac{2 \times T}{S}$

Tableau II.3 : des moments d'inertie

Contrainte de sollicitation composée :

$$\sigma = \sigma(\text{flexion}) + \sigma(\text{traction}) \leq \frac{\sigma \text{ admi}}{CS}$$

$$\sigma = \frac{Mf}{I} Y + \frac{N}{S} \leq \frac{\sigma \text{ admi}}{CS}$$

D'après les résultats de ces tableaux qu'on les a obtenu à l'aide du programme matlab on remarque que la position critique est la position initial.

On fait des suppositions on trouve **H2= 19 cm** avec un épaisseur de **4 mm**

II. 3-Dimensionnement de la poutre inferieure :

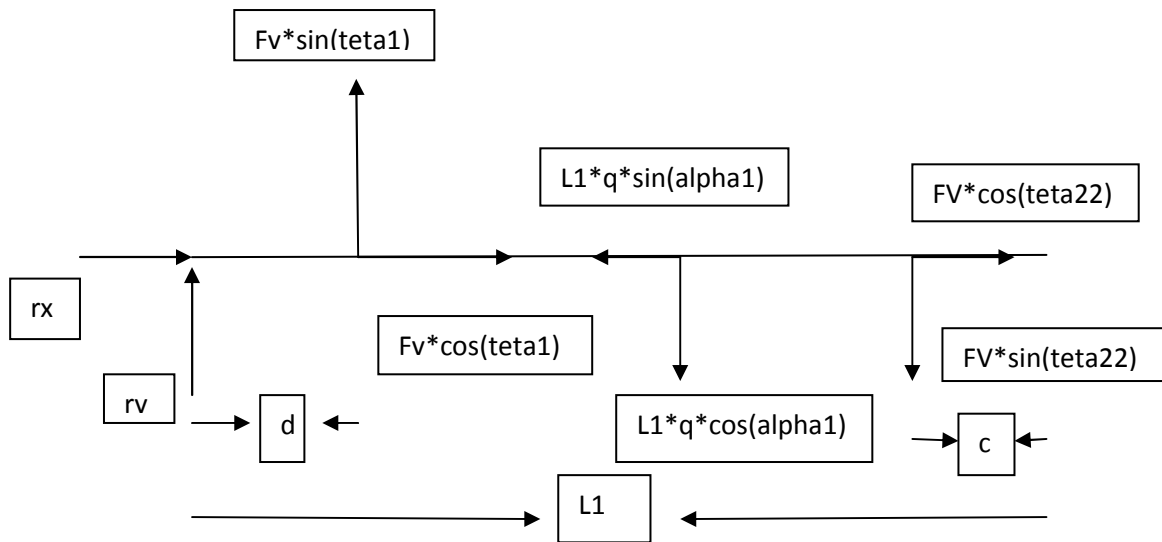


Figure II . 2 :représentation des efforts agissant sur la poutre

$$\sum F/X=0$$

$$\sum F/X= rx +fv \times \cos(teta1) -l1 \times q \times \sin(alpha1) + FV \times \cos(teta22) =0$$

$$\rightarrow rx= l1 \times q \times \sin(alpha1) -FV \times \cos(teta22) -fv \times \cos(teta1)$$

$$\sum F/Y=0$$

$$\sum F/Y= ry + fv \times \sin(teta1) - l1 \times q \times \sin(alpha1) -FV \times \cos(teta22) =0$$

$$\rightarrow ry= l1 \times q \times \cos(alpha1) + FV \times \sin(teta22) - fv \times \sin(teta1)$$

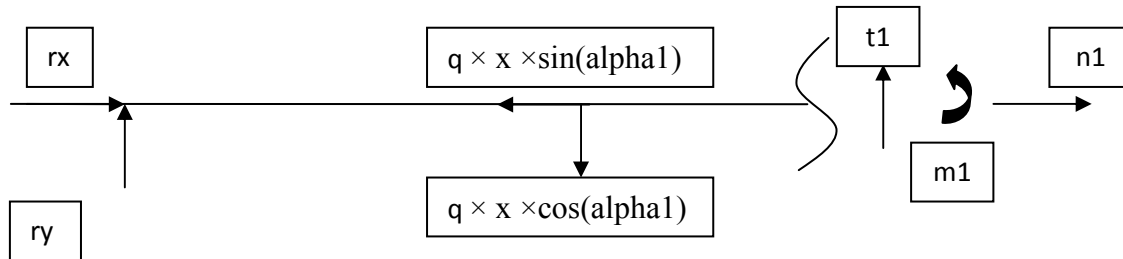
$$\sum M/O=0$$

$$\sum M/O= fv \times \sin(teta1) \times d - q \times \cos(alpha1) \times 0.5 \times l1^2 - FV \times \sin(teta2) \times (l1-c) =0$$

$$\rightarrow fv= \frac{q \times \cos(alpha1) \times 0.5 \times l1^2 + FV \times \sin(teta22) \times (l1-c)}{d \times \sin(teta1)}$$

les équations de moment, effort normal, effort tranchant:

partie [AB] : $0 \leq x \leq d$

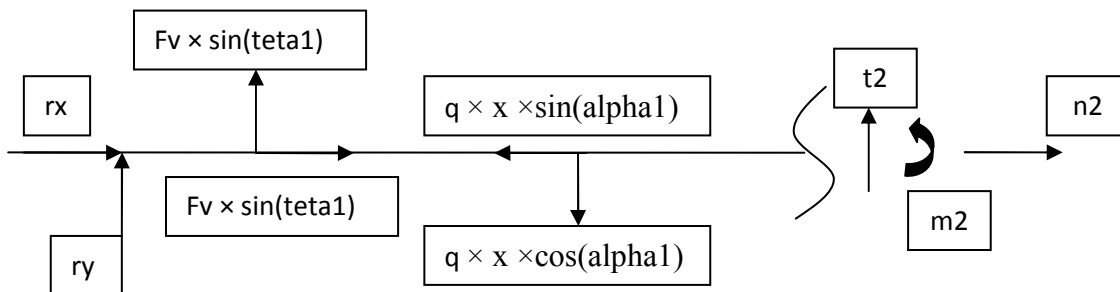


$$m1 = ry \times x - q \times 0.5 \times \cos(\alpha) \times x^2 \times ry$$

$$n1 = q \times x \times \sin(\alpha) - rx$$

$$t1 = q \times x \times \cos(\alpha) - ry$$

partie [BC] : $d \leq x \leq (l1-c)$

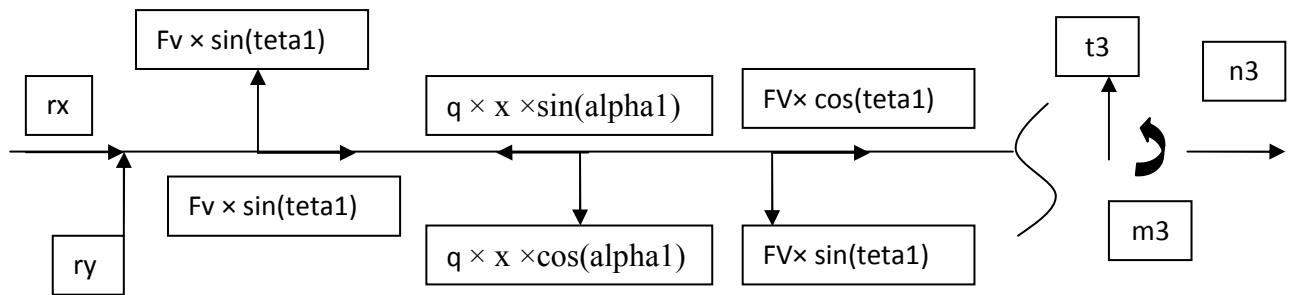


$$m2 = ry \times x + fv \times \sin(\text{teta1}) \times (x-d) - q \times \cos(\alpha) \times 0.5 \times x^2$$

$$n2 = q \times x \times \sin(\alpha) - fv \times \cos(\text{teta1}) - rx$$

$$t2 = q \times x \times \cos(\alpha) - fv \times \sin(\text{teta1}) - ry$$

partie [CD] : $(11-c) \leq x \leq 11$



$$m3 = ry \times x + fv \times \sin(teta1) \times (x-d) - q \times \cos(alpha1) \times 0.5 \times x^2 - FV \times \sin(teta2) \times (x-(11-c))$$

$$n3 = q \times x \times \sin(alpha1) - rx - fv \times \cos(teta1) - FV \times \cos(teta2)$$

$$t3 = q \times x \times \cos(alpha1) + FV \times \sin(teta2) - fv \times \sin(teta1)$$

II. 4-Programme matlab :

à l'aide de ce programme matlab on a pu faire le dimensionnement.

P=200 ;

Y1=0 ;

O1=22.38 ;

Y2=0 ;

O2=14.04 ;

O22=14.04 ;

Alpha1=Y1*pi/180 ;

Alpha2=Y2*pi/180 ;

Alpha=alpha2-alpha1 ;

Teta2=O2*pi/180 ;

Teta1=O1*pi/180 ;

$$\text{Teta22} = \text{O22} * \pi / 180 ;$$

%Barre superieur

$$\text{H2} = 0.054 ;$$

$$\text{B2} = \text{H2};$$

$$\text{a} = 1.7 ;$$

$$\text{L2} = 5.2;$$

$$\text{X1} = \text{L2} - \text{a};$$

$$\text{X2} = \text{X1};$$

$$\text{Q} = 7800 * \text{B2} * \text{H2};$$

$$\text{FV} = (\text{p} * \cos(\alpha) * \text{L2} + (\text{Q} * 0.5 * \cos(\alpha) * \text{L2}^2)) / (\text{a} * \sin(\text{teta2}));$$

$$\text{RX} = \text{p} * \sin(\alpha) - \text{FV} * \cos(\text{teta2}) + (\text{Q} * \sin(\alpha) * \text{L2});$$

$$\text{RY} = \text{p} * \cos(\alpha) - \text{FV} * \sin(\text{teta2}) + (\text{Q} * \cos(\alpha) * \text{L2});$$

$$\text{M1} = -\text{p} * \cos(\alpha) * \text{X1} - (\text{Q} * 0.5 * \text{X1}^2 * \cos(\alpha));$$

$$\text{M2} = -\text{p} * \cos(\alpha) * (\text{L2} - \text{a}) - (\text{Q} * 0.5 * \text{X2}^2 * \cos(\alpha)) + (\text{FV} * \sin(\text{teta2}) * (\text{X2} - (\text{L2} - \text{a})));$$

$$\text{M22} = -\text{p} * \cos(\alpha) * (\text{L2}) - (\text{Q} * 0.5 * \text{L2}^2 * \cos(\alpha)) + (\text{FV} * \sin(\text{teta2}) * \text{a});$$

$$\text{N1} = -\text{p} * \sin(\alpha) - \text{Q} * 0 * \sin(\alpha);$$

$$\text{N12} = -\text{p} * \sin(\alpha) - \text{Q} * \text{X1} * \sin(\alpha);$$

$$\text{N2} = -\text{p} * \sin(\alpha) - \text{Q} * \text{X2} * \sin(\alpha) + \text{FV} * \cos(\text{teta2});$$

$$\text{N22} = -\text{p} * \sin(\alpha) - \text{Q} * \text{L2} * \sin(\alpha) + \text{FV} * \cos(\text{teta2});$$

$$\text{T1} = \text{p} * \cos(\alpha) + \text{Q} * \text{X1} * \cos(\alpha);$$

$$\text{T2} = \text{p} * \cos(\alpha) - \text{Q} * \text{X2} * \cos(\alpha) - \text{FV} * \sin(\text{teta2});$$

$$\text{Sol1} = (6 * \text{abs}(\text{M1}) / \text{H2}^3) + \text{abs}((\text{N12}) / \text{H2}^2);$$

$$\text{Sol2} = (6 * \text{abs}(\text{M1}) / \text{H2}^3) + (\text{abs}(\text{N2}) / \text{H2}^2);$$

%Barre inferieure

H1= 0.099;

B1= H1;

q=7800*H1*B1 ;

l1= 5;

c= 0.5;

d= 2.4;

b= 0.3;

fv= (q*cos(alpha1)*0.5*l1^2)+(FV*sin(teta22)*(l1-c))/(d*sin(teta1));

rx= (l1*q*sin(alpha1))-(FV*cos(teta22))-(fv*cos(teta1));

ry= l1*q*sin(alpha1)+(FV*sin(teta22))-(fv*cos(teta1));

m1=ry*d-(q*cos(alpha1)*0.5*d^2);

m2=ry*(l1-c)+(fv*sin(teta1)*(l1-c-d))-(q*0.5*cos(alpha1)*(l1-c)^2);

m3=ry*l1+(fv*sin(teta1)*(l1-d))-(q*0.5*cos(alpha1)*l1^2)-(FV*sin(teta22)*c);

n1=-rx;

n11=q*d*sin(alpha1)-rx;

n2=q*d*sin(alpha1)-fv*cos(teta1)-rx;

n22= q*(l1-c)*sin(alpha1)-fv*cos(teta1)-rx;

n3= q*(l1-c)*sin(alpha1)-rx-fv*cos(teta1)-FV*cos(teta22);

n33= q*(l1)*sin(alpha1)-rx-fv*cos(teta1)-FV*cos(teta22);

sol11=6*(abs(m1)/H1^3)+(abs(n11)/H1^2);

sol22=6*(abs(m1)/H1^3)+(abs(n2)/H1^2);

sol33=6*(abs(m3)/H1^3)+(abs(n3)/H1^2);

%dimensionnement de l'axe

$$R = \sqrt{RX^2 + RY^2} ;$$

II. 5-Calcul de la section creuse :

$$B'' = \frac{bxh - 8xe^2}{6xe} \rightarrow B' = 2xe + b''$$

$$M'' = 2xe + 2xB'' \rightarrow M' = 2xe + M''$$

$$\text{Ou si } \frac{M}{B} \quad M' = mxB' \rightarrow 2xe + M'' = m(2xe + B') \rightarrow M'' = 2xe * (-1 + m) + mxB''$$

$$B \times M = (B'' + 2xe) * (M'' + 2xe) - B'' * (2xe * (-1 + m) + mxB'')$$

$$B \times M = (B'' + 2xe) * (2xe * (-1 + m) + mxB'' + mxB'' + 2 * e) - B'' * (2xe * m + mxB'' - (2 * e))$$

$$B \times M = (B'' + 2xe) * (2xexm - (2xe) + (mxB'') + (2xe)) - (2xexmxB'') - (mxB''^2) + (2xexB'')$$

$$B \times M = (2xexmxB'') + (mxB''^2) + (4xe^2xm) + (2xexmxB'') - (2xexmxB'') - (mxB''^2) + (2xexB'')$$

$$B \times M = (4xe^2xm) + (2xexm + 2xe)xB''$$

$$B'' = \frac{B \times M - 4xe^2xm}{2xexm + 2xe}$$

FVV= 2.2409*4 RXX=-9.8748*3 RYY=-1.4267*4	FVV=2.3305*4 RXX=-1.1662*4 RYY=-1.4073*4	FVV=2.3778*4 RXX=-1.3367*4 RYY=-1.3452*4	FVV=2.3754*4 RXX=-1.4810*4 RYY=-1.2422*4	FVV=2.3139*4 RXX=-1.5805*4 RYY=-1.1015*4	FVV=2.1802*4 RXX=-1.6129*4 RYY=-9.2727*3	FVV=1.9525*4 RXX=-1.5483*4 RYY=-7.2489*3
FVV=1.9746*4 RXX=-9.7989*3 RYY=-1.2592*4	FVV=2.1231*4 RXX=-1.1747*4 RYY=-1.2844*4	FVV=2.2415*4 RXX=-1.3715*4 RYY=-1.2706*4	FVV=2.3244*4 RXX=-1.5564*4 RYY=-1.2182*4	FVV=2.3658*4 RXX=-1.7155*4 RYY=-1.1288*4	FVV=2.3574*4 RXX=-1.8329*4 RYY=-1.0050*4	FVV=2.2861*4 RXX=-1.8882*4 RYY=-8.5075*3
FVV=1.7811*4 RXX=-9.4750*3 RYY=-1.1365*4	FVV=1.9828*4 RXX=-1.1644*4 RYY=-1.2006*4	FVV=2.1644*4 RXX=-1.3933*4 RYY=-1.2282*4	FVV=2.3222*4 RXX=-1.6233*4 RYY=-1.2184*4	FVV=2.4527*4 RXX=-1.8441*4 RYY=-1.1716*4	FVV=2.5517*4 RXX=-2.0449*4 RYY=-1.0893*4	FVV=2.6135*4 RXX=-2.2128*4 RYY=-9.7379*3
FVV=1.5849*4 RXX=-8.8519*3 RYY=-1.0113*4	FVV=1.8344*4 RXX=-1.1235*4 RYY=-1.1110*4	FVV=2.0732*4 RXX=-1.3834*4 RYY=-1.1769*4	FVV=2.2993*4 RXX=-1.6572*4 RYY=-1.2071*4	FVV=2.5117*4 RXX=-1.9379*4 RYY=-1.2006*4	FVV=2.7100*4 RXX=-2.2191*4 RYY=-1.1576*4	FVV=2.8952*4 RXX=-2.4951*4 RYY=-1.0795*4
FVV=1.3641*4 RXX=-7.9175*3 RYY=-8.6984*3	FVV=1.6552*4 RXX=-1.0479*4 RYY=-1.0022*4	FVV=1.9449*4 RXX=-1.3351*4 RYY=-1.1041*4	FVV=2.2329*4 RXX=-1.6487*4 RYY=-1.1725*4	FVV=2.5205*4 RXX=-1.9849*4 RYY=-1.2052*4	FVV=2.8113*4 RXX=-2.3417*4 RYY=-1.2013*4	FVV=3.1126*4 RXX=-2.7204*4 RYY=-1.1609*4
FVV=1.1128*4 RXX=-6.6791*3 RYY=-7.0857*3	FVV=1.4382*4 RXX=-9.3705*3 RYY=-8.7021*3	FVV=1.7716*4 RXX=-1.2464*4 RYY=-1.0054*4	FVV=2.1142*4 RXX=-1.5940*4 RYY=-1.1101*4	FVV=2.4697*4 RXX=-1.9795*4 RYY=-1.1810*4	FVV=2.8453*4 RXX=-2.4053*4 RYY=-1.2160*4	FVV=3.2547*4 RXX=-2.8793*4 RYY=-1.2141*4
FVV=8.3050*3 RXX=-5.1474*3 RYY=-5.2722*3	FVV=1.1821*4 RXX=-7.9114*3 RYY=-7.1418*3	FVV=1.5508*4 RXX=-1.1161*4 RYY=-8.7945*3	FVV=1.9396*4 RXX=-1.4907*4 RYY=-1.0180*4	FVV=2.3543*4 RXX=-1.9178*4 RYY=-1.1256*4	FVV=2.8058*4 RXX=-2.4041*4 RYY=-1.1990*4	FVV=3.3136*4 RXX=-2.9641*4 RYY=-1.2360*4
FVV=5.2035*3 RXX=-3.3446*3 RYY=-3.2800*3	FVV=8.8938*3 RXX=-6.1199*3 RYY=-5.3588*3	FVV=1.2845*4 RXX=-9.4559*3 RYY=-7.2749*3	FVV=1.7103*4 RXX=-1.3394*4 RYY=-8.9699*3	FVV=2.1746*4 RXX=-1.7995*4 RYY=-1.0392*4	FVV=2.6915*4 RXX=-2.3366*4 RYY=-1.1499*4	FVV=3.2864*4 RXX=-2.9716*4 RYY=-1.2256*4
FVV=1.8632*3 RXX=-1.2883*3 RYY=-1.1348*3	FVV=5.6360*3 RXX=-4.0105*3 RYY=-3.3743*3	FVV=9.7552*3 RXX=-7.3595*3 RYY=-5.5113*3	FVV=1.4281*4 RXX=-1.1406*4 RYY=-7.4809*3	FVV=1.9312*4 RXX=-1.6241*4 RYY=-9.2231*3	FVV=2.5021*4 RXX=-2.2013*4 RYY=-1.0685*4	FVV=3.1711*4 RXX=-2.8989*4 RYY=-1.1822*4
FVV=-1.6706*3 RXX=1.0066*3 RYY=1.1333*3	FVV=2.0919*3 RXX=-1.5995*3 RYY=-1.2165*3	FVV=6.2809*3 RXX=-4.8882*3 RYY=-3.5293*3	FVV=1.0971*4 RXX=-8.9591*3 RYY=-5.7349*3	FVV=1.6279*4 RXX=-1.3933*4 RYY=-7.7662*3	FVV=2.2405*4 RXX=-1.9995*4 RYY=-9.5616*3	FVV=2.9697*4 RXX=-2.7465*4 RYY=-1.1066*4
FVV=-5.3659*3 RXX=3.5437*3 RYY=3.5027*3	FVV=-1.7045*3 RXX=-1.1142*3 RYY=1.0930*3	FVV=2.4579*3 RXX=-2.0447*3 RYY=-1.3500*3	FVV=7.2088*3 RXX=-6.0598*3 RYY=-3.7519*3	FVV=1.2683*4 RXX=-1.1080*4 RYY=-6.0398*3	FVV=1.9102*4 RXX=-1.7325*4 RYY=-8.1442*3	FVV=2.6857*4 RXX=-2.5162*4 RYY=-1.0001*4
FVV=-9.2224*3 RXX=-6.3646*3 RYY=5.9715*3	FVV=-5.7481*3 RXX=4.1677*3 RYY=3.5494*3	FVV=-1.7035*3 RXX=1.2019*3 RYY=1.0194*3	FVV=3.0113*3 RXX=-2.6860*3 RYY=-1.5416*3	FVV=8.5455*3 RXX=-7.6712*3 RYY=-4.0557*3	FVV=1.5143*4 RXX=-1.4004*4 RYY=-6.4466*3	FVV=2.3229*4 RXX=-2.2096*4 RYY=-8.6416*3
FVV=-1.3322*4 RXX=9.6037*3 RYY=8.5900*3	FVV=-1.0110*4 RXX=7.6875*3 RYY=6.1936*3	FVV=-6.2607*3 RXX=4.9645*3 RYY=3.6091*3	FVV=-1.6614*3 RXX=1.2556*3 RYY=914.8288	FVV=3.8502*3 RXX=-3.6398*3 RYY=-1.8072*3	FVV=1.0538*4 RXX=-1.0002*4 RYY=-4.4743*3	FVV=1.8858*4 RXX=-1.8282*4 RYY=-7.0055*3

Tableau II.4 : réactions de la poutre inférieure

Mf=0/-1.07*4/ -750.1121/ 1.8135*3 N=9.8748*3/ -3.6270*3/ 4.5475*-13 T=1.4267*4/ -3.6182*3/ -1.7091*3	Mf=0/-1.0555*4 -756.0810/ 1.7686*3 N=1.1662*4/ -3.5719*3/ -0.0949*-13 T=1.4073*4/ -3.5632*3/ -1.6831*3	Mf=0/-1.0089*4/ -739.0768/1.67*3 1.7686*3 N=1.3367*4/ -3.4083*3/0 T=1.3452*4/-3.4*3 -1.6060*3	Mf=0/-9.3166*3/ -699.6161/ 1.5206*3 N=1.4810*4/ -3.1411*3/ -0.0949*-13 T=1.2422*4/ -3.1334*3/ -1.4801*3	Mf=0/-8.2610*3 -638.8980/ 1.3250*3 N=1.5805*4/ -2.7785*3/ -4.5475*-13 T=1.1015*4/ -2.7717*3/ -1.3092*3	Mf=0/-6.9545*3 -558.7672/ 1.0891*3 N=1.6129*4/ -2.3314*3/ -9.0949*-13 T=9.2727*3/ -2.3257*3/ -1.0986*3	Mf=0/-5.4367*3 -461.6586/ 820.1596 N=1.5483*4/ -1.8135*3/ 6.8212*-13 T=7.2489*3/ -1.8091*3/ -854.5455
Mf=0/-9.4442*3 -734.2624/ 1.1965*3 N=9.7989*3/ -2.0983*3/ -9.0949*-13 T=1.2592*4/ -3.1672*3/ -1.2872*3	Mf=0/-9.6333*3 -772.1401/ 1.1979*3 N=1.1747*4/ -2.1307*3/ -4.5475*-13 T=1.2844*4/ -3.2222*3/ -1.3131*3	Mf=0/-9.5296*3 -786.5566/ 1.1623*3 N=1.3715*4/ -2.0983*3/ -9.0949*-13 T=1.2706*4/ -3.1793*3/ -1.2992*3	Mf=0/-9.1365*3 -777.0741/ 1.0917*3 N=1.5564*4/ -2.0022*3/0 T=1.2182*4/ -3.0398*3/ -1.2458*3	Mf=0/-8.4657*3 -743.9805/ 987.8759 N=1.7155*4/ -1.8452*3/ 9.0949*-13 T=1.1288*4/ -2.8079*3/ -1.1546*3	Mf=0/-7.5377*3 -688.2815/ 854.0810 N=1.8329*4/ -1.6322*3/ 6.8212*-13 T=1.0050*4/ -2.4907*3/ -1.0282*3	Mf=0/-6.3806*3 -611.6694/ 694.3353 N=1.8882*4/ -1.3696*3/ 9.0949*-13 T=8.5075*3/ -2.0978*3/ -870.6698
Mf=0/-8.5241*3 -686.7770/ 897.1986 N=9.4750*3/ -1.2566*3/ -4.5475*-13 T=1.1365*4/ -2.8499*3/ -1.0560*3	Mf=0/-9.0045*3 -756.0752/ 922.9087 N=1.1644*4/ -1.3169*3/0 T=1.2006*4/ -2.9994*3/ -1.1193*3	Mf=0/-9.2112*3 -802.4004/ 920.5768 N=1.3933*4/ -1.3373*3/ 2.2737*-13 T=1.2282*4/ -3.0577*3/ -1.1487*3	Mf=0/-9.1381*3 -824.3451/ 890.2736 N=1.6233*4/ -1.3169*3/0 T=1.2184*4/ -3.0232*3/ -1.1431*3	Mf=0/-8.7873*3 -821.2425/ 832.9198 N=1.8441*4/ -1.2566*3/ 1.3642*-12 T=1.1716*4/ -2.8967*3/ -1.1028*3	Mf=0/-8.1695*3 -793.1868/ 750.2582 N=2.0449*4/ -1.1581*3/ -9.0949*-13 T=1.0893*4/ -2.6823*3/ -1.0290*3	Mf=0/-7.3035*3 -741.0306/ 644.8004 N=2.2128*4/ -1.0244*3/ -4.5475*-13 T=9.7379*3/ -2.3863*3/ -923.8873
Mf=0/-7.5846*3 -609.3990/ 715.3005 N=8.8519*3/ -697.3703/ 1.1369*-13 T=1.0113*4/ -2.5365*3/ -883.1330	Mf=0/-8.3324*3 -708.6783/ 758.7817 N=1.1235*4/ -756.6911/ -2.2737*-13 T=1.1110*4/ -2.7723*3/ -978.3066	Mf=0/-8.8270*3 -786.4247/ 779.2077 N=1.3834*4/ -793.0203/ 1.1369*-13 T=1.1769*4/ -2.9238*3/ -1.0438*3	Mf=0/-9.0534*3 -840.2759/ 775.9579 N=1.6572*4/ -805.2539/ -1.5916*-12 T=1.2071*4/ -2.9866*3/ -1.0775*3	Mf=0/-9.0047*3 -868.5959/ 749.1310 N=1.9379*4/ -793.0203/ 1.1369*-13 T=1.2006*4/ -2.9586*3/ -1.0785*3	Mf=0/-8.6824*3 -870.5239/ 699.5421 N=2.2191*4/ -756.6911/ -3.4106*-13 T=1.0893*4/ -2.8407*3/ -1.0467*3	Mf=0/-8.0963*3 -846.0016/ 628.6980 N=2.4951*4/ -697.3703/ 1.1369*-13 T=1.0795*4/ -2.6365*3/ -983.1330
Mf=0/-6.5238*3 -504.2096/ 585.5137 N=7.9175*3/ -301.5278/ 2.2737*-13 T=8.6984*3/ -2.1889*3/ -726.4822	Mf=0/-7.5164*3 -631.0942/ 644.5677 N=1.0479*4/ -340.8820/ 4.5475*-13 T=1.0022*4/ -2.5038*3/ -850.4413	Mf=0/-8.2807*3 -738.8033/ 684.0369 N=1.3351*4/ -369.8786/ -5.1159*-13 T=1.1041*4/ -2.7425*3/ -948.5601	Mf=0/-8.7934*3 -824.0643/ 702.7219 N=1.6487*4/ -387.6367/ 4.5475*-13 T=1.1725*4/ -2.8979*3/ -1.0179*3	Mf=0/-9.0389*3 -894.2865/ 700.0551 N=1.9849*4/ -393.6166/ 1.2506*-12 T=1.2052*4/ -2.9653*3/ -1.0562*3	Mf=0/-9.0098*3 -912.6401/ 676.1175 N=2.3417*4/ -387.6367/ 4.5475*-13 T=1.2013*4/ -2.9426*3/ -1.0625*3	Mf=0/-8.7069*3 -923.1116/ 631.6364 N=2.7204*4/ -369.8786/ -5.1159*-13 T=1.1609*4/ -2.8305*3/ -1.0365*3
Mf=0/-5.3143*3 -375.0505/ 478.3521 N=6.6791*3/ -25.9192/ -3.2330*-13 T=7.0857*3/ -1.7961*3/ -568.9351	Mf=0/-6.5266*3 -526.4164/ 552.7131 N=9.3705*3/ -30.8893/ -6.0396*-14 T=8.7021*3/ -2.1819*3/ -719.4196	Mf=0/-7.5405*3 -661.7874/ 610.2801 N=1.2464*4/ -34.9208/ -6.6791*-13 T=1.0054*4/ -2.5014*3/ -848.0450	Mf=0/-8.3254*3 -777.0502/ 649.3041/ N=1.5940*4/ -37.8913/ 7.6028*-13 T=1.1101*4/ -2.7449*3/ -950.9029	Mf=0/-8.8573*3 -868.7029/ 668.5993 N=1.9795*4/ -39.7105/ 1.5490*-12 T=1.1810*4/ -2.9050*3/ -1.0249*3	Mf=0/-9.1201*3 -933.9604/ 667.5794 N=2.4053*4/ -40.3231/ 4.2633*-13 T=1.2160*4/ -2.9768*3/ -1.0677*3	Mf=0/-9.1058*3 -970.84/646.2755 667.5794 N=2.8793*4/ -39.7105/ 1.5490*-12 T=1.2141*4/ -2.9582*3/ -1.0781*3
Mf=0/-3.9542*3 -224.8805/ 377.4529 N=5.1474*3/ 143.5095/ 1.1369*-13 T=5.2722*3/ -1.3561*3/ -401.5556	Mf=0/-5.3564*3 -396.6958/ 467.8793 N=7.9114*3/ 184.4922/ 1.9895*-13 T=7.1418*3/ -1.8035*3/ -576.3834	Mf=0/-6.5959*3 -556.4577/ 544.0894 N=1.1161*4/ 219.8693/ 1.9895*-13 T=8.7945*3/ -2.1961*3/ -733.6981	Mf=0/-7.6349*3 -699.3120/ 603.7677 N=1.4907*4/ 248.5657/ -1.4211*-13 T=1.0180*4/ -2.5220*3/ -868.7198	Mf=0/-8.4420*3 -820.9180/ 645.1007 N=1.9178*4/ 269.7096/ -1.7621*-12 T=1.1256*4/ -2.7713*3/ -977.3458	Mf=0/-8.9926*3 -917.5808/ 666.8327 N=2.4041*4/ 282.6585/ 1.0232*-12 T=1.1990*4/ -2.9364*3/ -1.0563*3	Mf=0/-9.2699*3 -986.3634/ 668.3033 N=2.9641*4/ 287.0190/ 2.8422*-13 T=1.2360*4/ -3.0122*3/ -1.1031*3
Mf=0/-2.4600*3 -59.1435/ 270.9777 N=3.3446*3/ 209.3871/ 5.6843*-14 T=3.2800*3/ -873.0283/ -220.0808	Mf=0/-4.0191*3 -246.9551/ 378.7781 N=6.1199*3/ 306.1035/ 3.9790*-13 T=5.3588*3/ -1.3717*3/ -417.1554	Mf=0/-5.4562*3 -427.2631/ 475.0695 N=9.4559*3/ 393.5191/ 5.1159*-13 T=7.2749*3/ -1.8287*3/ -601.5551	Mf=0/-6.7274*3 -594.5890/ 556.9261 N=1.3394*4/ 468.9778/ 1.1369*-13 T=8.9699*3/ -2.2301*3/ -767.6767	Mf=0/-7.7943*3 -743.8486/ 621.8608 N=1.7995*4/ 530.1868/ -1.7053*-12 T=1.0392*4/ -2.5638*3/ -910.4729	Mf=0/-8.6243*3 -870.5067/ 667.9006 N=2.3366*4/ 575.2864/ 1.5916*-12 T=1.1499*4/ -2.8196*3/ -1.0256*3	Mf=0/-9.1923*3 -970.7149/ 693.6466 N=2.9716*4/ 602.9062/ 1.1369*-12 T=1.2256*4/ -2.9897*3/ -1.1096*3
Mf=0/-851.0644 117.698/148.8485 N=1.2883*3/ 165.7185/0 T=1.1348*3/ -352.2772/ -20.7670	Mf=0/-2.5307*3 -80.9874/ 275.8095 N=4.0105*3/ 326.4018/ -1.1369*-13 T=3.3743*3/ -890.8122/ -237.8646	Mf=0/-4.1335*3 -277.2120/ 394.3902 N=7.3595*3/ 477.1675/ -5.6843*-14 T=5.5113*3/ -1.4023*3/ -447.7348	Mf=0/-5.6107*3 -465.0137/ 500.9876 N=1.1406*4/ 613.4348/0 T=7.4809*3/ -1.8711*3/ -644.0009	Mf=0/-6.9173*3 -638.6862/ 592.3627 N=1.6241*4/ 731.0631/ 1.1369*-13/ T=9.2231*3/ -2.2831*3/ -820.6992	Mf=0/-8.0139*3 -792.9525/ 665.7391 N=2.2013*4/ 826.4784/ -3.4106*-13 T=1.0685*4/ -2.6258*3/ -972.4611	Mf=0/-8.8669*3 -923.1253/ 718.8874 N=2.8989*4/ 896.7816/0 T=1.1822*4/ -2.8886*3/ -1.0947*3

Mf=0/850/300/ -1.7535*-13 N=-1.0066*3/ 1.1369*-13/ 3.1864*-14 T=-1.1333*3/200 200	Mf=0/-912.3448 95.7730/148.3903 N=1.5995*3/ 232.0397/ -8.5265*-14 T=1.2165*3/ -366.5883/ -35.0781	Mf=0/-2.6470*3 -111.3639/ 292.2718 N=4.8882*3/ 457.0290/ -1.7053*-13 T=3.5293*3/ -922.0380/ -269.0905	Mf=0/-4.3012*3 -315.1172/ 427.2727 N=8.9591*3/ 668.1317/ 3.4106*-13 T=5.7349*3/ -1.4495*3/ -494.9266	Mf=0/-5.8247*3 -509.2957/ 549.2912 N=1.3933*4/ 858.9335/ 9.0949*-13 T=7.7662*3/ -1.9329*3/ -705.7246	Mf=0/-7.1712*3 -687.9996/ 654.6198 N=1.9995*4/ 1.0236*3/ 1.5916*-12 T=9.5616*3/ -2.3575*3/ -895.0796	Mf=0/-8.2998*3 -845.7989/ 740.0581 N=2.7465*4/ 1.1572*3/ -1.3642*-12 T=1.1066*4/ -2.7106*3/ -1.0572*3
Mf=0/2.6270*3 482.3463/ -190.2093 N=-3.5437*3/ -310.6561/ -1.7053*-13 T=-3.5027*3/ 779.8806/ 448.3704	Mf=0/819.7218 278.0775/ -17.3648 N=-1.1142*3/0 -1.0954*-13 T=-1.0930*3/ 196.9616/ 196.9616	Mf=0/-1.0125*3 65.3595/ 156.0073 N=2.0447*3/ 310.6561/ -5.6843*-14 T=1.3500*3/ -391.9420/ -60.4319	Mf=0/-2.8139*3 -149.3445/ 324.6392/ N=6.0598*3/ 611.8731/ -1.1369*-13 T=3.7519*3/ -968.9367/ -315.9891	Mf=0/-4.5299*3 -359.5107/ 483.4071 N=1.1080*4/ 894.4986/ -5.6843*-13 T=6.0398*3/ -1.5165*3/ -561.9452	Mf=0/-6.1082*3 -558.7533 627.4870 N=1.7325*4 1.1499*3/ -9.0949*-13 T=8.1442*3 -2.0180*3/ -790.8269	Mf=0/-7.5009*3 -741.0185/ 752.5010 N=2.5162*4/ 1.3705*3/ -1.3642*-12 T=1.0001*4/ -2.4581*3/ -995.6796
Mf=0/4.4786*3 659.0286/ -444.9700 N=-6.3646*3/ -808.0518/ 3.4106*-13 T=-5.9715*3/ 1.3889*3/ 735.9991	Mf=0/2.6620*3 460.3611/ -243.2820 N=-4.1677*3/ -410.2586/ -1.1369*-13 T=-3.5494*3/ 800.6056/ 469.0954	Mf=0/764.5367 247.7058/ -34.2020 N=-1.2019*3/ 2.2737*-13/ 8.2707*-14 T=-1.0194*3/ 187.9385/ 187.9385	Mf=0/-1.1562*3 27.5240/ 175.9172 N=2.6860*3/ 410.2586/ -1.7053*-13 T=1.5416*3/ -430.4389/ -98.9288	Mf=0/-3.0418*3 -193.4941/ 380.6912 N=7.6712*3/ 808.0518/ 1.1369*-13 T=4.0557*3/ -1.0357*3/ -382.7902	Mf=0/-4.8349*3 -408.6329/ 573.8982 N=1.4004*4/ 1.1813*3/ -6.8212*-13 T=6.4466*3/ -1.6096*3/ -655.0207	Mf=0/-6.4812*3 -611.3557/ 749.6675/ N=2.2096*4/ 1.5186*3/ -6.8212*-13 T=8.6416*3/ -2.1345*3/ -907.3488
Mf=0/6.4425*3 824.8450/ -807.5210 N=-9.6037*3/ -1.5768*3/ 4.5475*-13 T=-8.5900*3/ 2.0428*3/ 1.0882*3	Mf=0/4.6452*3 637.0926/ -569.7417 N=-7.6875*3/ -1.0786*3/ 4.5475*-13 T=-6.1936*3/ 1.4575*3/ 804.5562	Mf=0/2.7068*3 429.9825/ -314.6511 N=-4.9645*3/ -547.6040/ 2.2737*-13 T=-3.6091*3/ 827.9326/ 496.4224	Mf=0/686.1216 209.8076/-50 N=-1.2556*3/ 2.2737*-13/ 3.4276*-14/ T=-914.8288/ 173.2051/ 173.2051	Mf=0/-1.3554*3 -16.7422/ 216.1703 N=3.6398*3/ 547.6040/ -2.2737*-13/ T=1.8072*3/ -486.7852/ -155.2750	Mf=0/-3.3557*3 -242.7833 475.7725 N=1.0002*4/ 1.0786*3/ 2.2737*-13 T=4.4743*3 -1.1320*3/ -479.0372	Mf=0/-5.2541*3 -461.4475/ 720.9185 N=1.8282*4/ 1.5768*3/ -4.5475*-13 T=7.0055*3/ -1.7428*3/ -788.2440

Tableau II.5 : moment, effort normal et tranchant

II. 6-Moments d'inertie :

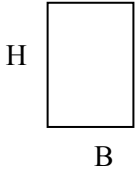
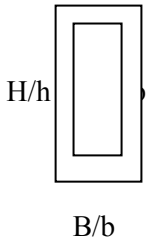

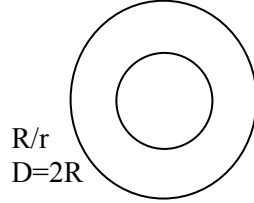
Section	Moment d'inertie	Contraint de cisaillement
	$I = \frac{B \times H^3}{12}$	$\tau = \frac{3 \times T}{2 \times S}$
	$I = \frac{(B-b) \times (H-h)^3}{12}$	$\tau = \frac{3 \times T}{2 \times (B-b) \times (H-h)}$
	$I = \frac{\pi \times D^4}{64}$	$\tau = \frac{4 \times T}{3 \times S}$
	$I = \frac{\pi \times D^4}{64}$	$\tau = \frac{4 \times T}{3 \times S} \times \frac{(R^2 + r) \times (R + r^2)}{R^2 + r^2}$ pour tube mince $\tau = \frac{2 \times T}{S}$

Tableau II.3 : des moments d'inertie

Contrainte de sollicitation composée :

$$\sigma = \sigma(\text{flexion}) + \sigma(\text{traction}) \leq \frac{\sigma \text{ admi}}{CS}$$

$$\sigma = \frac{Mf}{I} Y + \frac{N}{S} \leq \frac{\sigma \text{ admi}}{CS}$$

D'après les résultats de ces tableaux qu'on les a obtenu à l'aide du programme matlab on remarque la position critique lors de l'ouverture complète des poutres .

On fait des suppositions on trouve **H2= 25.5 cm** avec un épaisseur de **10 mm**

II. 7-Dimensionnement de l'axe d'articulation entre les deux poutre :

$$R_{max} = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2}$$

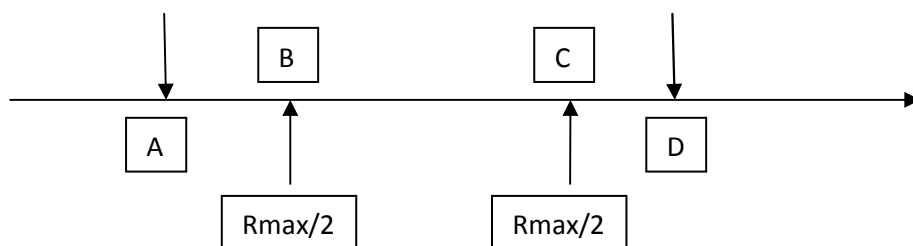
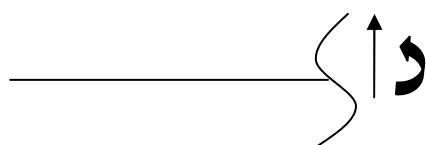


Figure II.3 : efforts agissants sur l'axe

$$R_{max} = 3.2050 \times 10^3 \text{ kg}$$

Détermination du rayon de l'axe :

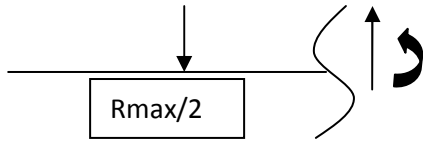
Partie [AB] $0 \leq x \leq 5$



$$M_f = 0$$

$$T = 0$$

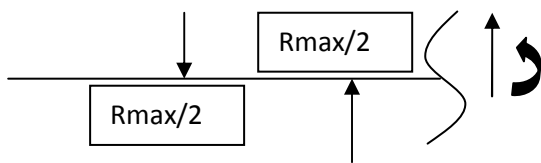
Partie [BC] $5 \leq x \leq 8.25$



$$M_f = -\frac{R_{max}}{2} \times x$$

$$T = \frac{R_{max}}{2}$$

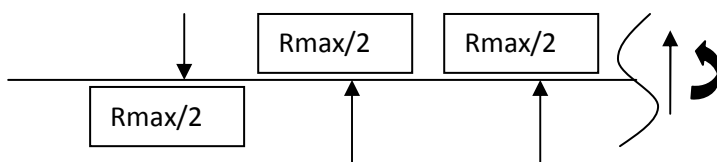
Partie [CD] $8.25 \leq x \leq 27.25$



$$M_f = -\frac{R_{max}}{2} \times (x-8.25) - \frac{R_{max}}{2} \times (x-5)$$

$$T = 0$$

Partie [DE] $27.25 \leq x \leq 30.5$



$$M_f = -\frac{R_{max}}{2} \times x - \frac{R_{max}}{2} \times (x-8.25) - \frac{R_{max}}{2} \times (x-5)$$

Contrainte de cisaillement :

$$\frac{4}{3} \times \frac{T}{\pi R^2} \leq \tau_{adm}$$

$$\rightarrow R = \sqrt{\frac{4 \times T \times 2}{3 \times \pi \times \tau_{adm}}}$$

Contrainte de flexion :

$$\frac{M_f}{I} \times \frac{D}{2} \leq \frac{\sigma_{adm}}{2}$$

$$\frac{M_f}{\frac{\pi D^2}{64}} \times \frac{D}{2} \leq \frac{\sigma_{adm}}{2}$$

$$\frac{32 \times M_f}{\pi \times D^2} \leq \frac{\sigma_{adm}}{2}$$

$$\frac{32 \times M_f \times 2}{\pi \times \sigma_{adm}} \leq D^3$$

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times M_f \times 2}{\pi \times \sigma_{adm}}}$$

$$D \geq 64.57.$$

$$D = 65 \text{ cm}$$

II. 8-Dimensionnement de la plaque :

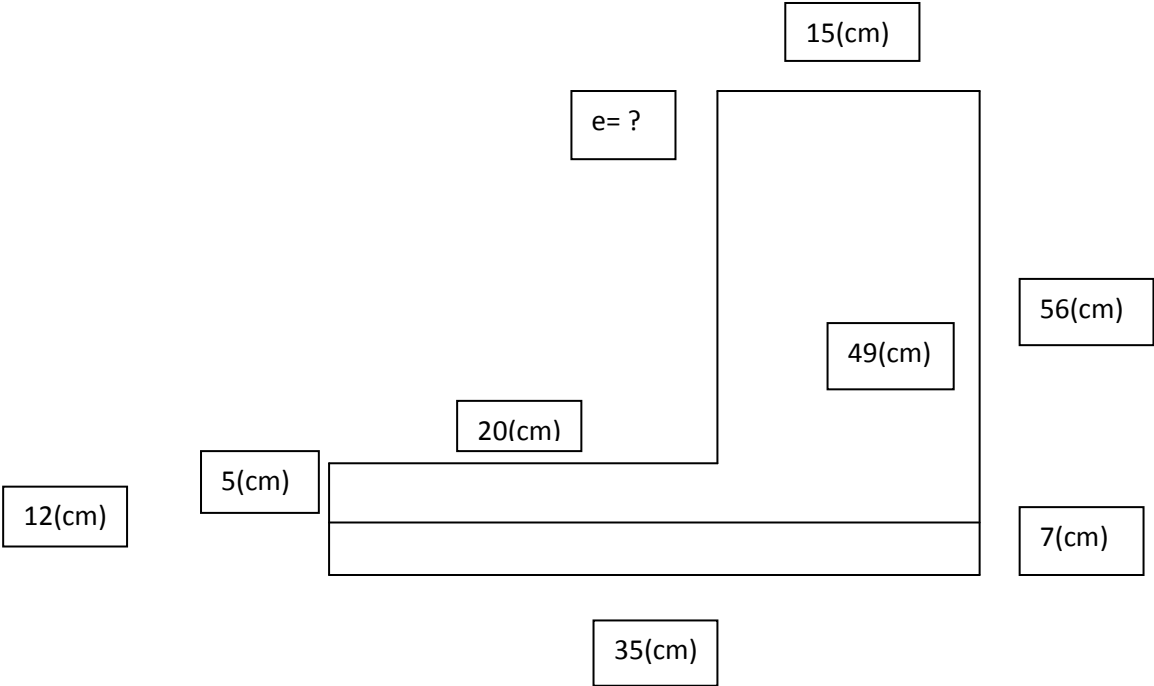


Figure II.4 : dimension de la plaque

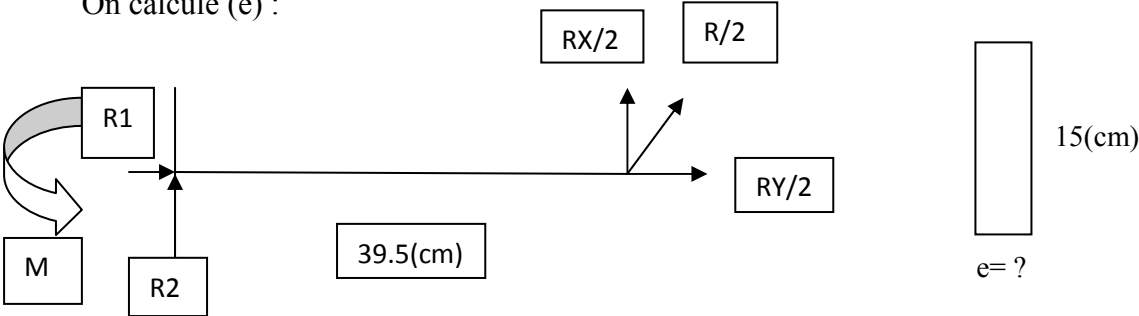
Détermination de la plaque :

$$\sin(\text{angle}) = \frac{RY \times 0.5}{R \times 0.5} = \frac{RY}{R}$$

Angle = $\sin^{-1}(\frac{RY}{R}) = 8.51$

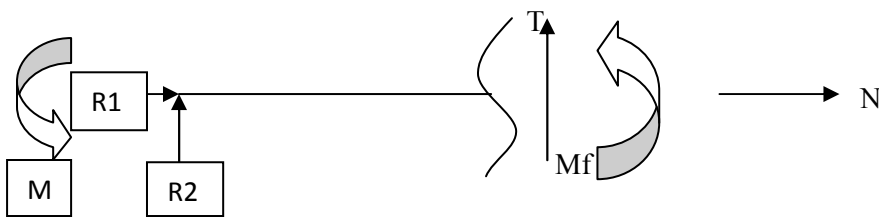
R est max avec RXmax et RYmax dans la position initiale

On calcule (e) :



$$\begin{aligned} \sum F/X=0 & \implies R1 = -RY/2 \\ \sum F/Y=0 & \implies R2 = -RX/2 \\ \sum M/O=0 & \implies M = -RX/2 * 39.5 \end{aligned}$$

[AB] : $0 \leq x \leq 39.5$



$$Mf = -M + R2 \times (x) = RX \times 0.5 \times 42 - RX \times 0.5 \times (x)$$

$$x=0 \implies Mf = RX \times 0.5 \times 39.5$$

$$x=42 \implies Mf = 0$$

$$T = -R2$$

$$N = -R1$$

La contrainte :

$$\frac{Mf}{e \times \frac{15^3}{12}} + \frac{N}{e \times 15} \leq \sigma/2$$

$$e \geq \frac{12 \times Mf + 30 \times N}{\sigma t \times 15^2}$$

AN :

$$e \geq 4.98$$

on prend $e=5(\text{mm})$

II. 9-Calcul d'équilibre de la nacelle :

à cause de la limite de temps on a supposé le poids de la tourelle et le support des poutres.

$$\sum F/X = R1 = 0$$

$$\rightarrow RX = 0$$

$$\sum F/Y = 0$$

$$\sum F/Y = pt + R2 = 0$$

$$\rightarrow RY = -pt$$

$$\sum M/O = 0$$

$$\sum M/O = pt \times 57.5 + Me$$

$$\rightarrow Me = -pt \times 57.5$$

Partie [AB] $0 \leq x \leq 57.5$



$$Mf = 557.5 \times (57.5 - x)$$

$$\sigma =$$

$$\frac{Mf}{I} \times Y \leq \frac{\sigma_{adm}}{2}$$

$$\frac{Mf}{\frac{h^4}{12}} \times \frac{h}{2} = \frac{6Mf}{h^3} \leq \frac{\sigma_{adm}}{2}$$

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{12 \times M_f}{\sigma_{adm}}}$$

on trouve h (poutre pleine):

$$h = 7.2 \text{ cm}$$

En prenant e= 8 mm on trouve

$$h \text{ (poutre creuse) } = 17 \text{ cm}$$

Position du cieux :

On suppose le poids de la poutre tourelle 200 Kg , et de le poids de la poutre inferieure 100 kg. On cherche la position du cieux telque la nacelle s'équilibre.

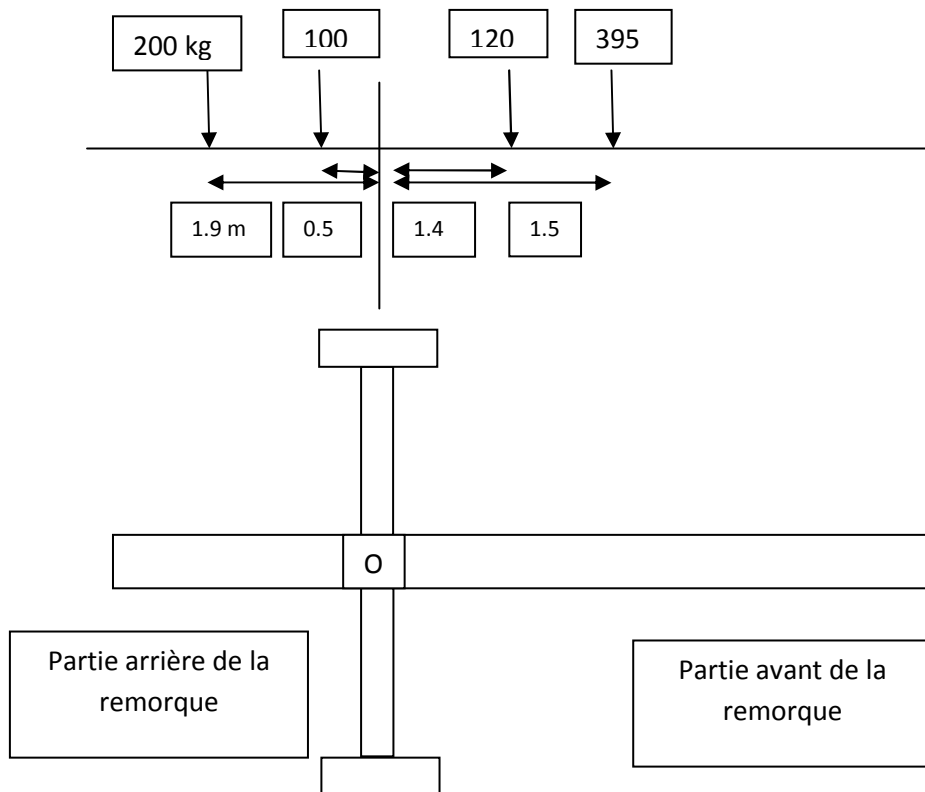


Figure II.5 : vue dessus du remorque

$$\sum M/O(\text{Partie arrière de la remorque}) = \sum M/O(\text{Partie avant de la remorque})$$

$$200 \times 1.9 + 100 \times 0.5 = 120 \times 1.4 + 395 \times 1.5$$

430 \neq 760.5 (pas vérifiée)

Donc on cherche le point d'équilibre :

$$200 \times (1.9+x) + 100 \times (0.5+x) + 200 \times (x) = 120 \times (1.4-x) + 395 \times (1.5-x)$$

$$430 + 500x = 760.5 - 515x$$

$$x = \frac{330.5}{1015}$$

$$\rightarrow x = \mathbf{0.32 \text{ cm}}$$

On prend $x = 0.3 \text{ cm}$ telque la nacelle soit toujours inclinée vers l'avant.

III. 1-Introduction :

A l'aide du logiciel solidworks on fait la conception et la simulation des pièces étudiées dans le chapitre précédent.

III. 2-La poutre supérieure :

La poutre supérieure est l'élément qui sera en contact direct avec la charge à soulever, il est construit d'un tube carré d'une longueur 5.3 m, et de hauteur 19 cm, et d'épaisseur de 4 mm.

Ce dernier est manipulé par un vérin hydraulique de capacité 4 t.

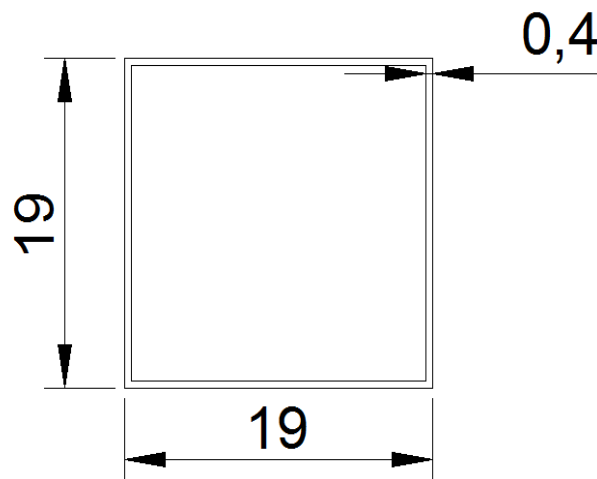


Figure III.1 : section de la poutre supérieure

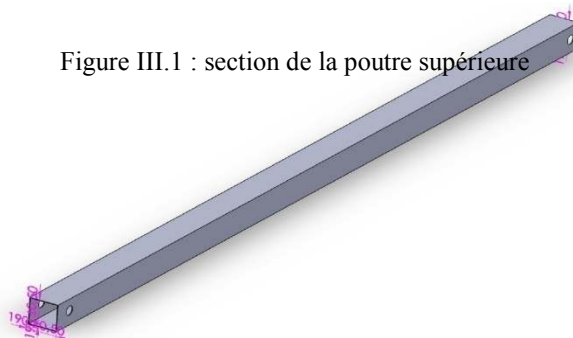


Figure III.2 : poutre supérieure

III. 3-La poutre inférieure :

La poutre inférieure est conçue pour tenir le poids du poutre supérieure et la charge à soulever.

Il est construit d'un tube de longueur de 5.175 m, et d'hauteur 25.5 cm, et d'épaisseur de 10 mm, liée avec la poutre supérieure avec deux plaques et un axe d'articulation afin d'assurer une bonne rotation et éviter l'encombrement lors du repos du système.

Ce dernier est manipulé par un vérin hydraulique de capacité 14 t.

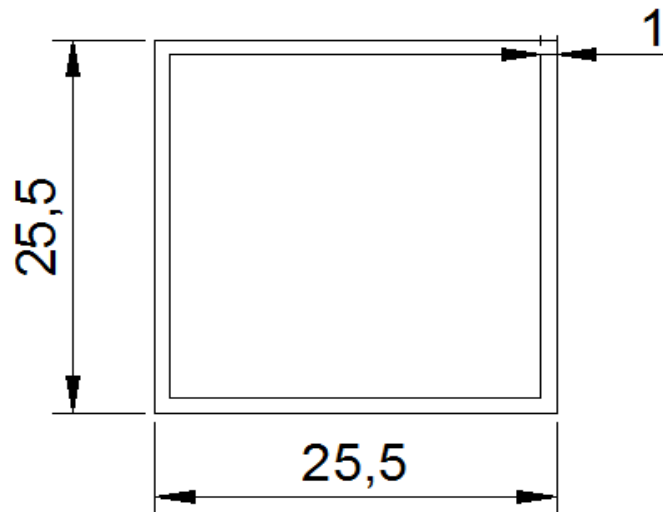


Figure III.3 : section de la poutre inférieure

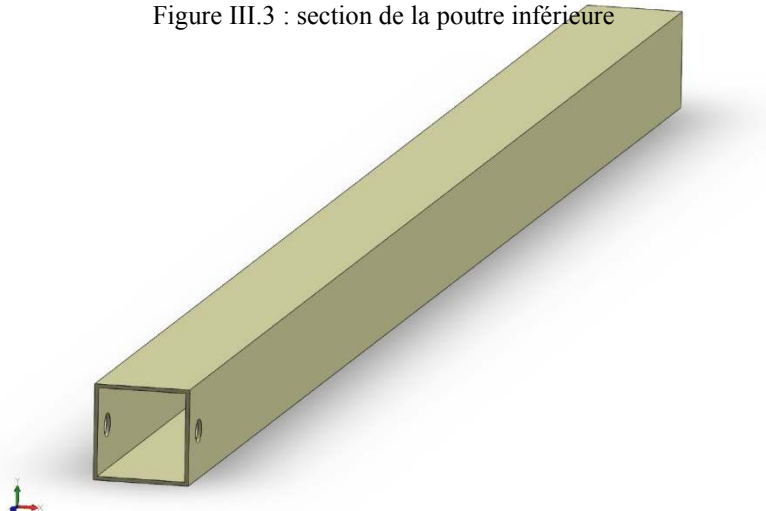


Figure III.4 : poutre inférieure

III. 4-L'axe de l'articulation :

Les axes sont des pieces cylindriques de $\varnothing = 65 \text{ mm}$ et de longueur 35.5 cm.

Ces derniers assurent l'articulation des composantes du système .

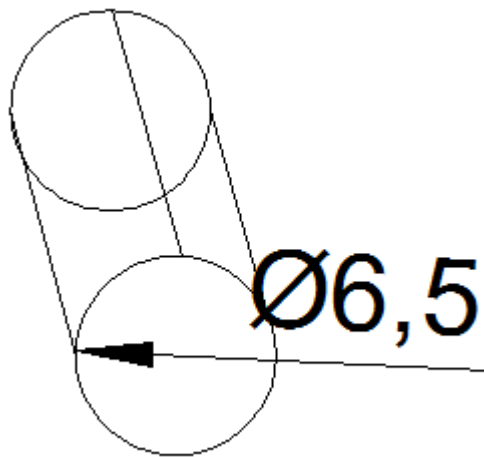


Figure III.5 : section de l'axe

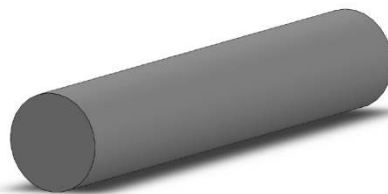


Figure III.6 : axe d'articulation

III. 5-Les plaques :

Les plaques sont conçues pour guider la rotation de la poutre supérieure et assuer l'articulation, elles sont construites d'une tôle d'épaisseur 6 mm.

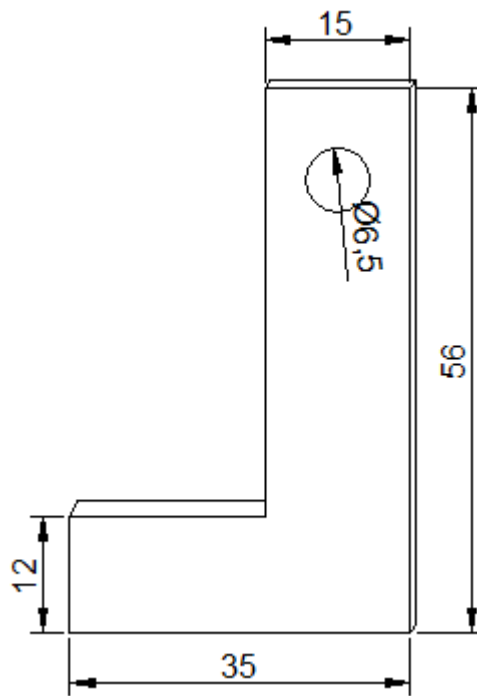


Figure III.7 : section de la plaque

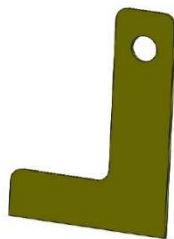


Figure III.8 : plaque



III. 6-Assemblage final de la nacelle :

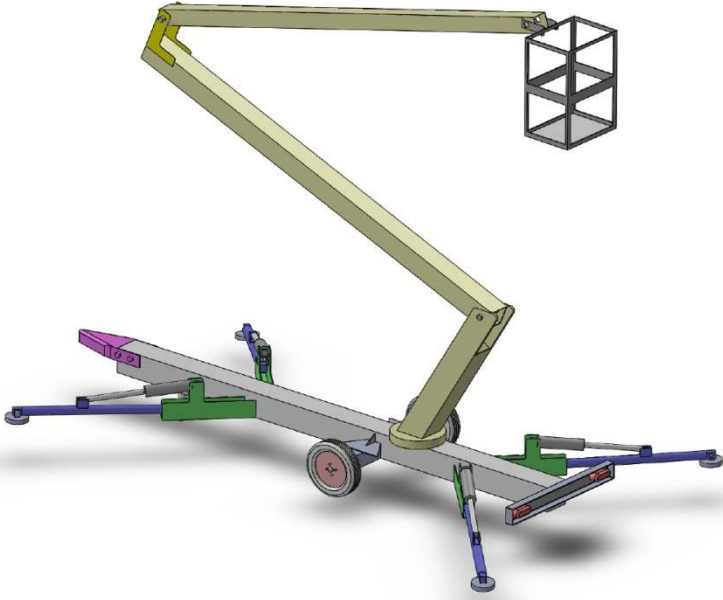


Figure III.9 : nacelle en marche

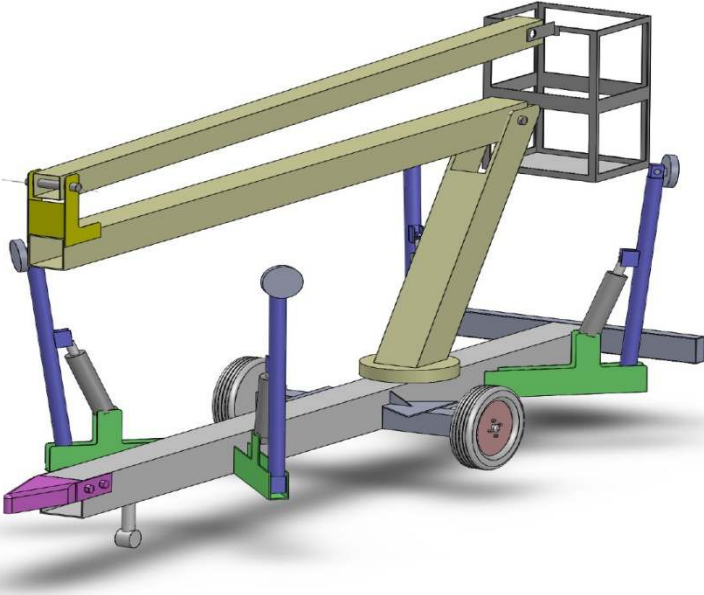


Figure III.10 : nacelle en repos

Conclusion générale

A la fin de notre travail nous avons réussi à réaliser une conception d'un système de levage mobile placé sur une remorque pouvant soulever une personne pesant moins de 200Kg et qui a une accessibilité et une maniabilité supérieure au système de levage disponible de nos jours.

Les éléments de ce système résistent convenablement aux charges et efforts appliqués lors de la manipulation de notre système, par exemple le cas des poutres de levage, la contrainte maximale est très inférieure aux contraintes admissibles cela est pour le but de donner un certain facteur de sécurité pour assurer la sécurité des manipulateurs et de leur environnement de travail.

Au final nous remercions encore tous nos professeurs universitaires et en particulier notre promoteur qui nous a guidé et dirigé afin qu'on puisse faire ce travail en toute sérénité et présence.