

36/83

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

الجامعة الوطنية للعلوم والتقنية
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

المكننة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

THÈSE DE FIN D'ÉTUDES

Ingéniorat d'Etat en Génie Mécanique

MACHINE DE MISE AU STOCK 1400 T/h
CHARIOT ELEVATEUR

Proposé par : S.N. METAL

Etudié par : OUANES Lehocine

Dirigé par : Mr. G. SPIRIDONOV
maître assistant à l'E.N.P.A

Mr. AZZI

Janvier 1983

Le but de cette étude a été de proposer une méthode de calcul pour la construction de ce type de machine que l'on classe dans la catégorie géante . Le temps permis étant restreint , nous nous sommes limités aux calculs des éléments principaux de la machine .

TABLES DES MATIERES

	page
Presentation du sujet -----	1
Historique -----	2
I- Introduction -----	3
1- Generalités	
2- Description de la machine	
3- Regles de calculs et sollicitations	
4- Caracteristiques de la machine	
II- Calculs de l'elevateur -----	10
1- Calculs des sollicitations principales -----	10
11- Poids propres	
12- Charges utiles	
13- Encrassement	
14- Efforts sur les elements transporteurs pour la charge utile	
15- Effets dynamiques permanents	
16- Sollicitations sur les acces , plateforme et passerelles	
2- Calculs des sollicitations additionnelles -----	16
21- Resistances de frottement et de deplacement	
22- Effets dynamiques non permanents	
3- Calculs des sollicitations speciales -----	18
31- Engorgement des goulottes	
32- Blocage des mecanismes de deplacement	
33- Tamponnement	
34- Sollicitations dues aux tremblements de terre	
35- Cas de sollicitations	
4- Centre de gravité de l'elevateur -----	21
5- Calcul de la charge sur les galets -----	22
6- Calcul de la resistance au mouvement -----	22
7- Calcul du moment du à la resistance au mouvement --	23
8- Calcul de l'elevateur soumis aux charges exterieures	24
81- Shema des forces	
82- Charge due à la plateforme	
83- Charges au niveau du tambour inferieur	
84- Charges au niveau du tambour superieur	

85-	Calculs des reactions	
86-	Determination des fleches	
87-	Tableau recapitulatif des fleches	
9-	Efforts internes et externes sur l'elevateur -----	32
91-	Shema des forces	
92-	Calculs des reactions	
93-	Determinations des fleches	
94-	Calcul de la fleche pour le cas III ₁	
95-	Tableau recapitulatif des fleches	
10-	Calcul des elements de charpente -----	38
10.1-	Generalités	
10.2-	Determination des contraintes d'utilisations	
11-	Calcul des contraintes sur l'elevateur -----	40
11.1-	Diagrammes des moments flechissants et contraintes	
11.2-	Diagrammes des efforts tranchants et contraintes	
11.3-	Diagrammes de l'effort normal et contraintes	
11.4-	Diagramme de la contrainte composée	
III-	Calculs des elements liés à l'elevateur -----	46
1-	Calcul de la plateforme	
2-	Verification au flambage des pieds	
3-	Verification de l'element intermediaire entre le pied et l'elevateur	
IV-	Calcul de resistance du chassis principal -----	50
V-	Calcul du mecanisme de translation -----	57
1-	Poids approximatif de la machine	
2-	Calcul de la resistance totale au mouvement	
3-	Puissance statique des moteurs	
4-	Verification du moment de freinage	
5-	Vitesse reelle du galet	
6-	Verification sur les galets	
	Conclusion	
	Bibliographie	

Legende des symboles et abreviations :

C	: debit de calcaire	-----	t/h
v	: vitesse de transport	-----	m/s
q, p	: charges lineaires	-----	Kg/m
T	: tension de la bande	-----	daN
μ	: coefficient de frottement	-----	---
M	: moment de force	-----	daN.m
W	: resistance au mouvement	-----	daN
w	: coefficient de resistance specifique	-----	---
f	: coefficient de frottement de roulement	-----	cm
d	: diametre interieur de roulement	-----	cm
D	: diametre du galet	-----	cm
γ	: masse volumique du calcaire	-----	t/m ³
G	: masse de calcaire	-----	t
V	: volume de calcaire stockée	-----	m ³
R	: reactions des appuis	-----	daN
α, β	: angles de deformation des fleches	-----	rd
l, a, b	: longueurs	-----	m
f, δ , y	: fleches	-----	cm
I _x	: moment quadratique par rapport à l'axe x-x	--	cm ⁴
I _y	: moment quadratique par rapport à l'axe y-y	--	cm ⁴
W _x	: module de flexion par rapport à l'axe x-x	---	cm ³
W _y	: module de flexion par rapport à l'axe y-y	---	cm ³
E	: module d'elasticité	-----	daN/cm ²
σ_r	: contrainte de rupture	-----	daN/cm ²
σ_w	: contrainte d'utilisation	-----	daN/cm ²
s	: coefficient de securité	-----	---
τ_r	: contrainte de rupture au cisaillement	-----	daN/cm ²
τ_w	: contrainte d'utilisation au cisaillement	-----	daN/cm ²
σ, τ	: contraintes de calcul	-----	daN/cm ²
σ_{cp}	: contrainte de comparaison	-----	daN/cm ²
T	: effort tranchant	-----	daN
A	: moment statique	-----	cm ³
S	: section transversale	-----	cm ²
N	: effort normal	-----	daN
σ_N	: contrainte normale	-----	daN/cm ²

λ : elancement -----
i : rayon de giration ----- cm
k : coefficient de flambement -----
P : puissance ----- KW
 η : rendement -----
Ng : vitesse de rotation du galet ----- tr/mn
c : couple de freinage ----- daN.m
t : temps de freinage ----- s

PRESENTATION DU SUJET .

Machine de mise au stock et d'homogénéisation ou stacker

Caracteristiques techniques

materiau transporté -----	calcaire
capacité -----	1400 t/h
densité -----	1,5 t/ m ³
granulometrie -----	0 - 30 mm
angle de talus -----	35°

Commande de translation

vitesse de course -----	0,3 m/ s
diametre du galet -----	600 mm
espacement des rails -----	5 m

Levage

inclinaison de la fleche -----	+18° , -10°
--------------------------------	-------------

Convoyeur de stockage

largeur par angle de convoyeur -----	1200 mm/30°
vitesse de bande -----	1,7 m/ s
longueur du tas -----	120 m
nombre de tas -----	2
longueur du parc -----	300 m
hauteur du tas -----	11 m

Situation

stockage dans le hangar

HISTORIQUE :

Le ciment est un materiau de base necessaire dans la vie de tous les jours , en effet c'est le materiau indispensable dans la construction qu'elle soit à usage d'habitation , industrielle ou autres .

L'industrie algerienne étant inexistante lors de l'indépendance a vue la nécessité urgente de se développer et de se constituer pour repondre aux besoins immenses que necessitent la reconstruction du pays .

Un important programme d'investissement pour la construction de cimenteries à travers tout le pays a été décidé par l'etat et confié à la société nationale S.N.Metal et entres autres celui qui nous concerne dans notre projet la cimenterie de AIN.TOUTA .

1- Generalités :

A l'heure actuelle , les cimenteries , les aciéries ainsi que d'autres industries utilisent de plus en plus , pour la preparation de leurs matieres premieres , des systemes basés sur l'homogénéisation par tas de mélange . Les raisons en sont multiples :

- les matieres premieres homogènes se font de plus en plus rares
- la teneur en matieres riches des minerais ne cesse de diminuer
- les capacités des nouveaux hauts fourneaux et cimenteries etant en augmentation constante , il n'est plus possible de trouver des gisements en un seul endroit susceptible d'assurer la longévité de ces usines , compte tenu de leur taille
- on prefere parfois implanter une cimenterie plutot pres d'un debouché important qu'a proximité d'un gisement plus homogène parceque eu egard aux frais de transport , la production peut ainsi se derouler dans des conditions plus avantageuses
- pour la preparation des matieres premieres , la methode de mélange par tas supplante de plus en plus l'ancien systeme du melange en silo .

C'est ce qui explique le developpement continuuel de nouvelles variantes de tas de mélange et de nouveaux types de machines pour la preparation des matieres premieres . Le tas de melange est realiser par cette machine de mise au stock qui suivant un mouvement de va et vient decharge le materiau le long de l'aire de stockage . Le calcaire , matériau de base du ciment , est amené par bande transporteuse à partir de la mine jusqu'a l'appareil de mise au stock qui permet son écoulement au dessus du tas . Le materiau est ensuite repris par une

machine de reprise qui permet une deuxième fois l'effet de mélange du calcaire puis à nouveau son évacuation vers les installations de traitements .

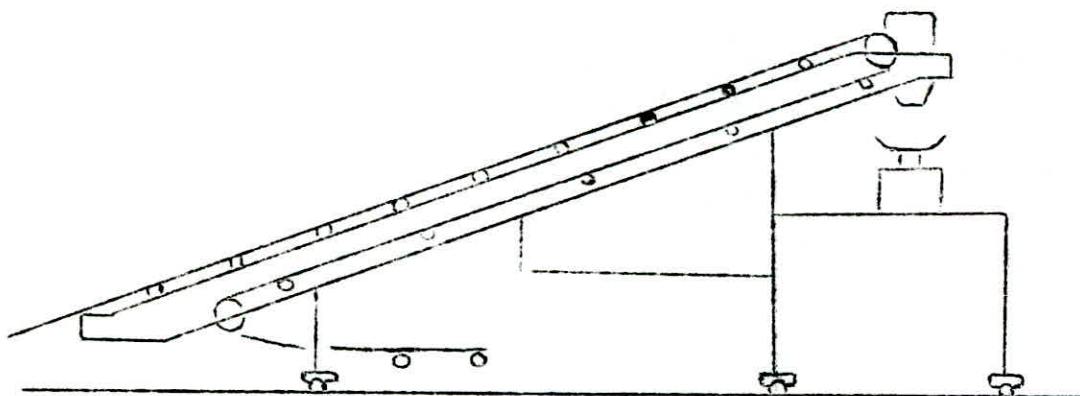
Le tas de mélange peut remplir trois fonctions :

- tamponnage , c'est à dire entreposage entre l'arrivée sac-cadée et l'évacuation continue
- homogénéisation
- composition , c'est à dire la réunion de matériau présentant des propriétés différentes de telle manière qu'une propriété donnée se retrouve à un degré déterminé dans le tas de mélange

2- Description de la machine :

L'elevateur :

L'elevateur est constitué de deux poutres principales en IPE.600 qui constituent un cadre qu'on rigidifie par des contre-ventements , sur la partie superieure sont fixés des rouleaux qui permettent à la bande transportant le calcaire de se deplacer . Deux tambours de renvois , l'un fixé au sommet de l'elevateur et l'autre sur la partie basse en dessous de l'elevateur permettent le changement de direction de la bande . Il y a en outre des rouleaux porteurs sur la partie inferieure de l'elevateur qui permettent la descente de la bande . Sur la partie haute est fixé une goulotte qui permet au calcaire de se deverser sur la fleche . Sur les cotés de l'elevateur se trouvent egalement des passerelles qui permettent d'accéder aux differents elements dans le cas d'un entretien. Sur la partie inferieure de l'elevateur est suspendue une plateforme sur laquelle nous trouvons le materiel electrique de commande tel qu'une armoire de commande , deux enrouleurs de cable etc ... L'elevateur est posé d'un coté sur deux bogies à un galet , et de l'autre coté sur le chassis .



Le chassis :

Le chassis principal de forme carré est réalisé en caisson fixé sur quatre pieds également en caisson et l'ensemble posé sur des bogies à deux galets . Le chassis supporte donc l'elevateur , la plateforme de commande et l'ensemble fleche , mecanisme de relevage de la fleche , contre poids etc

3- Regles de calculs et sollicitations :

Dans le calcul suivant nous utilisons des regles de calculs normalisés par la federation européenne de manutention (FEM) et dans le cas ou nous utilisons une autre norme , GOST par exemple , nous l'indiquerons .

Nous devons tout d'abord determiner les differentes sollicitations ou combinaisons de sollicitations dont il faut tenir compte dans l'etablissement des projets de charpentes metalliques des appareils mobiles de manutention continue pour produits en vrac . D'apres leur frequence , les sollicitations sont classées en trois groupes differents : sollicitations principales , sollicitations additionnelles et sollicitations speciales .

Les sollicitations principales comprennent toutes les sollicitations permanentes qui se manifestent pendant l'exploitation normale de l'appareil . Elles comprennent :

- les poids propres
- les charges utiles
- l'encrassement
- les efforts agissants sur les éléments de transport pour la charge utile
- les efforts dynamiques permanents

- les sollicitations dues aux charges supportées par les passerelles , les escaliers et les plateformes .

Les sollicitations additionnelles comprennent les sollicitations qui peuvent se presenter à intervalles temporaires pendant l'exploitation ou à l'arret . Ces sollicitations peuvent soit se substituer à certaines sollicitations principales soit s'ajouter à ces dernieres . Elles comprennent :

- les resistances de frottement et de deplacement
- les forces laterales horizontales pendant la translation
- les effets dynamiques non permanents

Les sollicitations speciales comprennent les sollicitations qui ne devraient pas se presenter pendant l'exploitation ou à l'arret mais dont l'apparition n'est pas exclue . Elles comprennent :

- l'engorgement des goulottes
- la pose de la fleche
- le blocage des mecanismes de deplacement
- la butée laterales contre le talus
- le tamponnement
- le vent hors service
- les sollicitations dues aux tremblements de terre

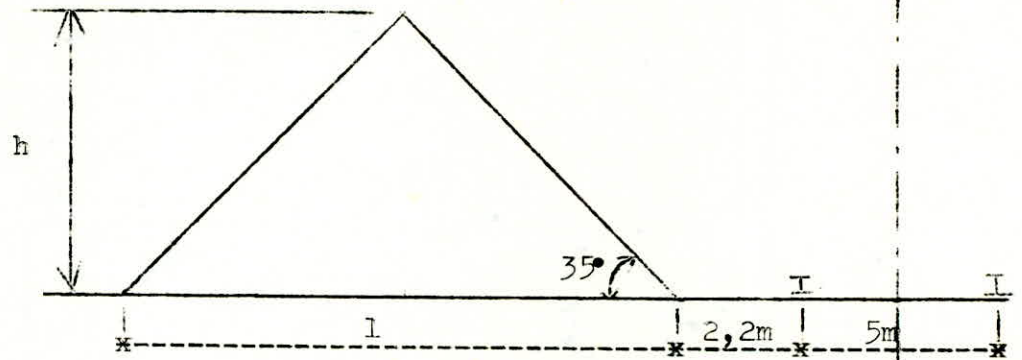
4 Determination des caracteristiques de la machine :

Données :

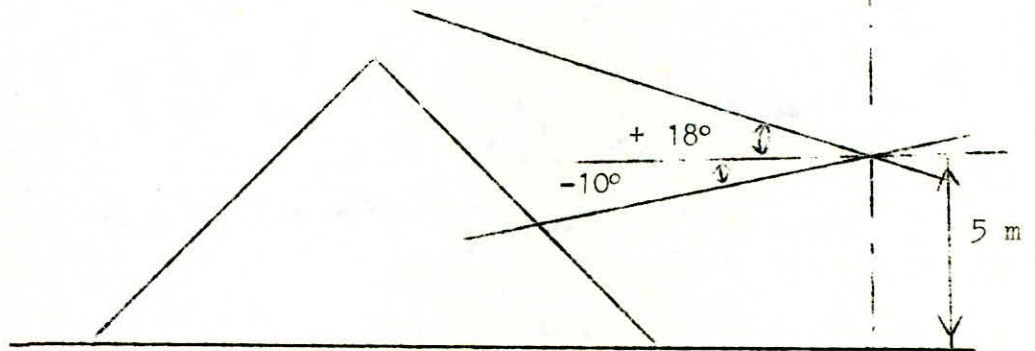
hauteur du tas	11 m
inclinaison du talus	35°
inclinaison de la fleche	+ 18° , - 10°
espacement tas et rail	2,2 m
espacement entre rails	5 m

Calcul de la largeur du tas :

$$l = \frac{2h}{\operatorname{tg} 35^\circ} = \frac{2 \times 11}{\operatorname{tg} 35^\circ} = 31,5 \text{ m}$$



La détermination de l'axe de la fleche est faite en fonction de la hauteur du tas et de l'inclinaison de la fleche et nous trouvons une hauteur de 5m, ceci nous donne aussi la longueur de la fleche utilisée

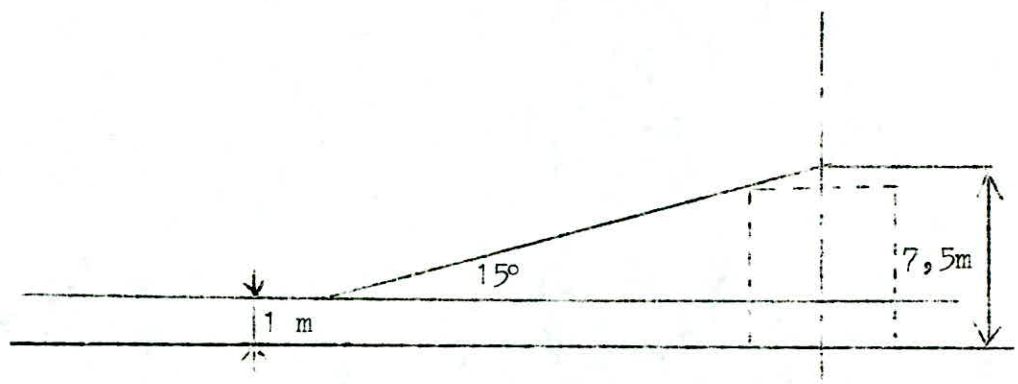


La hauteur maximal de l'elevateur est calculé en tenant compte approximativement de l'épaisseur de la fleche, de la goulotte, de l'espacement goulotte et fleche et de l'encombrement de l'elevateur. Nous adoptons une hauteur de 7,5 m

Calcul de la longueur de l'elevateur :

ce calcul est fait en tenant compte de l'encombrement du transporteur principal qui est à 1 m du sol. L'inclinaison maximale admissible pour une bande à revêtement porteur lisse

donné par KLEBER pour le calcaire est de 23° , nous choisissons un angle de 15° utilisé par la plupart des constructeurs



nous trouvons pour l'elevateur une longueur de 24 m que nous adoptons aussi comme longueur des poutrelles principales constituant la charpente de l'elevateur .

Calcul de la masse de calcaire stocké :

volume de calcaire

$$V = \frac{l \times h \times L}{2} = \frac{31,5 \times 11}{2} \times 240 = 41580 \text{ m}^3$$

masse de calcaire

$$G = \frac{V}{\gamma} = \frac{41580}{1,5} = 27720 \text{ tonnes}$$

$$\gamma = 1,5 \text{ t/m}^3$$

II CALCUL DE L'ELEVATEUR .

1-Calcul des sollicitations principales :

11- Poids propres :

Par poids propres , on comprend les forces exercées par le poids de tous les elements fixes et mobiles des installations mecaniques et electriques ainsi que du chassis porteurs , toujours presents durant le service . Les elements de l'elevateur sont enumerés comme suit :

- les deux poutres principales en IPE 600 de poids au metre 122 Kg/ m
 - deux tambours normalisés de diametre 630 mm et ayant un poids de 450 Kg chacun
 - des rouleaux superieurs de poids au metre 26,7 Kg/ m
 - des rouleaux inferieurs de poids au metre 6,9 Kg/ m
 - des stations superieurs de fixation des rouleaux et tambours de poids au metre de 34 Kg/ m
 - des stations inferieurs de 3 Kg/ m
 - le contreventement en IPE 200 et de cornieres 40 x 40 donnent un poids au metre de 19 Kg/ m
 - une goulotte realisé en deux parties
 - une partie superieure en tole de 4 mm d'epaisseur et de poids de 31,4 Kg/ m²
 - une partie inferieure en tole de 4 mm renforcé par une tole d'usure d'epaisseur de 6 mm et de poids de 47,1 Kg/ m²
- le poids total est determiné en calculant la surface totale de tole utilisé multiplié par le poids au metre carré

partie supérieure de surface $6,8 \text{ m}^2$

poids : $6,8 \times 31,4 = 214 \text{ Kg}$

partie inférieure de surface $10,3 \text{ m}^2$

poids : $10,3 \times (31,4 + 47,1) = 808,5 \text{ Kg}$

- la bande utilisé est déterminé par le calcul du transporteur , suivant les tensions nécessaires et la masse de calcaire transporté nous utilisons dans notre cas une bande en armature textile de poids au metre egal à $16,32 \text{ Kg / m}$

- la goulotte est munie de deux boites à roches remplies de calcaire , le volume de calcaire contenu dans les boites à roches est de $0,375 \text{ m}^3$ et la densité du calcaire 1500 Kg / m^3 d'ou le poids est de

$$0,375 \times 1500 = 562,5 \text{ Kg}$$

le poids total de la goulotte est donc

$$214 + 808,5 + 562,5 = 1585 \text{ Kg}$$

- la plateforme de commande électrique étant suspendue aux poutres principales de l'élevateur , elle fait partie des sollicitations principales sur l'élevateur . La plateforme choisie de longueur de $7,5 \text{ m}$ supporte principalement une armoire de commande électrique de 500 kg et deux enrouleurs de câble de 465 Kg chacun La charpente constituant la plateforme est constitué en UPN 300 et UPN 200 , de contreventement et sur le dessus des passerelles . Le poids des différents éléments est :

• UPN 300 ($46,2 \text{ Kg/ m}$) longueur $22,5 \text{ m}$

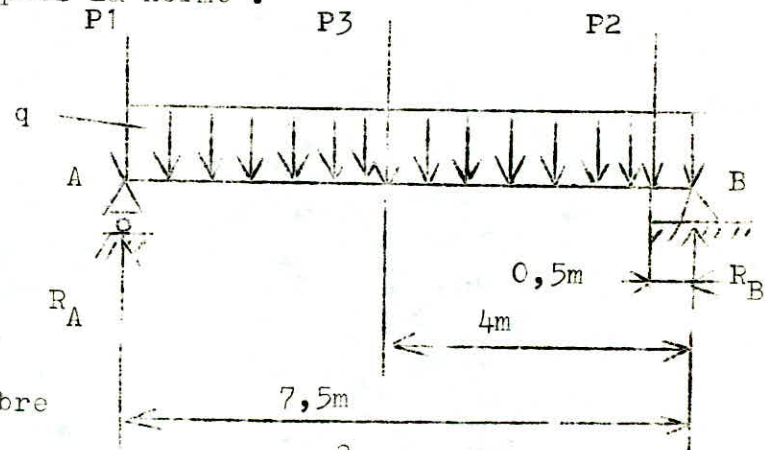
$$\text{poids total au metre } \frac{22,5 \times 46,2}{7,5} = 138,6 \text{ Kg/ m}$$

- UPN 200 (25,3 Kg/ m) longueur 5,5 m
poids : $5,5 \times 25,3 = 137 \text{ KG}$
- contreventement : 25 KG/ m
- trois rangées de passerelles (600) 150 KG/ m
longueur totale 23 m
poids au metre : $\frac{23 \times 150}{7,5} = 450 \text{ KG/ m}$

nous considerons la plateforme et ses elements supportés principalement par deux poutrelles UPN 300 et reposant sur deux appuis , l'armoire de commande , les enrouleurs consideres comme charges concentrés , les poutrelles horizontales ainsi que les passerelles et contreventement consideres comme charges uniformements reparties. Ainsi qu'une sollicitation sur les accès et plateformes de 300 daN d'apres la norme .

$P1 = 300 \text{ daN}$
 $P2 = 500 \text{ daN}$
 $P3 = 930 \text{ daN}$
 $q = 138,6 + 25 + 450$
 $= 613,6 \text{ KG/ m}$

Equations d'equilibre



$M'_B = C = 7,5 P1 + 4 P3 + 0,5 P2 + \frac{7,5^2}{2} q - 7,5 R_A$

$R_A = \frac{7,5 \cdot 300 + 4 \cdot 930 + 0,5 \cdot 500 + \frac{7,5^2}{2} \cdot 613,6}{7,5}$

$R_A = 3130,3 \text{ daN}$

composantes verticales

$$R_B + R_A - P1 - P3 - P2 - 7,5 q = 0$$

$$R_B = P1 + P3 + P2 + 7,5 q - R_A$$

$$R_B = 300 + 930 + 500 + 7,5 \cdot 613,6 = 3130,3$$

$$R_B = 3201,7 \text{ daN}$$

La charge supporté par les deux poutres de l'elevateur est donc la reaction R_A plus la force due au poids des poutrelles

$$\text{d'attaches : } 3130,3 + 137 = 3267,3 \text{ daN}$$

12 Charges utiles :

On considere les charges utiles sur les transporteurs . Ces charges sont determinés à partir du debit theorique de calcaire . Le debit theorique est celui resultant de la section transversale de remplissage du transporteur multiplié par la vitesse de transport . La charge utile est donné par la formule suivante :

$$q = \frac{C}{3,6 v}$$

debit theorique $C = 1400 \text{ t/h}$

vitesse de transport

$$q = \frac{1400}{3,6 \cdot 1,7} = 229 \text{ Kg/m}$$

$v = 1,7 \text{ m/s}$

13 - Encrassement :

L'importance de l'encrassement est fonction cas par cas des conditions speciales de materiel et d'exploitation . Les indications ci.apres doivent etre considerés comme des valeurs guides . Les valeurs reelles peuvent s'en ecarter aussi bien vers le haut que vers

le bas . Pour les appareils de parc , les valeurs dues à l'encrassement sur les transporteurs sont prises égales à 10% de la charge utile calculée . Nous avons à considérer dans notre cas

$$q : \frac{10}{100} = \frac{252 \cdot 10}{100} = 25,2 \text{ Kg/ m pour l'encrassement}$$

14 - Efforts sur les elements transporteurs pour la charge utile :

Les tensions des courroies doivent être prises en consideration dans la mesure ou elles ont une influence sur les charpentes . Les tensions en regime nominal sont :

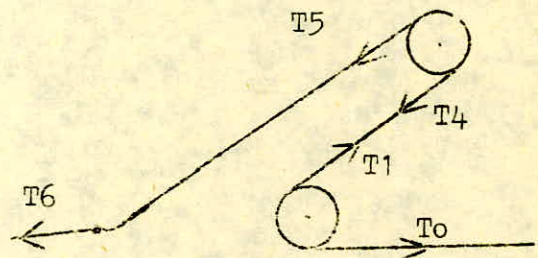
$$T_0 = 6389 \text{ daN}$$

$$T_1 = 6315,5 \text{ daN}$$

$$T_4 = 6400 \text{ daN}$$

$$T_5 = 6335,6 \text{ daN}$$

$$T_6 = 4323,6 \text{ daN}$$



15- Effets Dynamiques permanents :

Pour tenir compte des effets dynamiques pouvant se présenter sur le transporteur pendant le transport , il convient de majorer les charges par le facteur 1,1 . En general les effets dynamiques des masses qui se deversent aux points de transfert , des pieces en mouvement de rotation etc ... ne doivent être considérés que localement . Les charges deviennent :

- tambour : $450 \cdot 1,1 = 495 \text{ Kg}$
- rouleaux superieurs : $26,7 \cdot 1,1 = 29,5 \text{ Kg/ m}$
- rouleaux inierieurs . $6,9 \cdot 1,1 = 7,6 \text{ Kg/ m}$
- goulotte : $1585 \cdot 1,1 = 1743,5 \text{ Kg}$
- charge utile : $229 \cdot 1,1 = 252 \text{ Kg/ m}$
- charge due à la plateforme de commande electrique
 $3267,3 \cdot 1,1 = 3594 \text{ Kg}$
- bande : $16,32 \cdot 1,1 = 18 \text{ Kg/ m}$

Les forces d'inerties dues à l'accelleration et au freinage d'elements de construction mobiles doivent etre prises en compte . Elles peuvent cependant etre negligées pour les appareils utilisés à l'air libre si l'accelleration ou la deceleration est inferieure ou egale à $0,2 \text{ m/ s}^2$

La vitesse nominale de la bande est de $1,7 \text{ m/ s}$ et nous choisissons un temps de demarrage egal à 10 s , ce qui nous donne une accélleration de demarrage egale à $0,17 \text{ m/ s}^2$. La vitesse du chariot en service est $0,3 \text{ m/ s}$, pour un temps de demarrage de 5 s , nous avons une accelleration de demarrage de $0,06 \text{ m/ s}^2$.

En conclusion , les forces d'inerties dans notre cas sont à negligées . Dans la mesure du possible , les moteurs d'entrainements doivent etre concus de maniere que l'accele-ration de $0,2 \text{ m/ s}^2$ ne soit pas depassée .

16 - Les sollicitations sur les accés , plateforme et passe-relles doivent etre calculés pour supporter une charge concentrée de 300 daN dans les conditions les plus defavorable et les lisses et gardes corps pour supporter une force

horizontale de 30 daN . Si les plateformes doivent supporter temporairement des charges plus élevées , elles doivent être dimensionnées conformément à ces charges .

2 - Calcul des sollicitations additionnelles :

21- Les résistances de frottement ne sont à considérer que dans la mesure où elles influencent le dimensionnement , comme valeur de frottement , il faut prendre :

- pour axe d'appui et roulement $\mu = 0,10$
- pour les éléments de construction en cas de frottement glissant $\mu = 0,25$

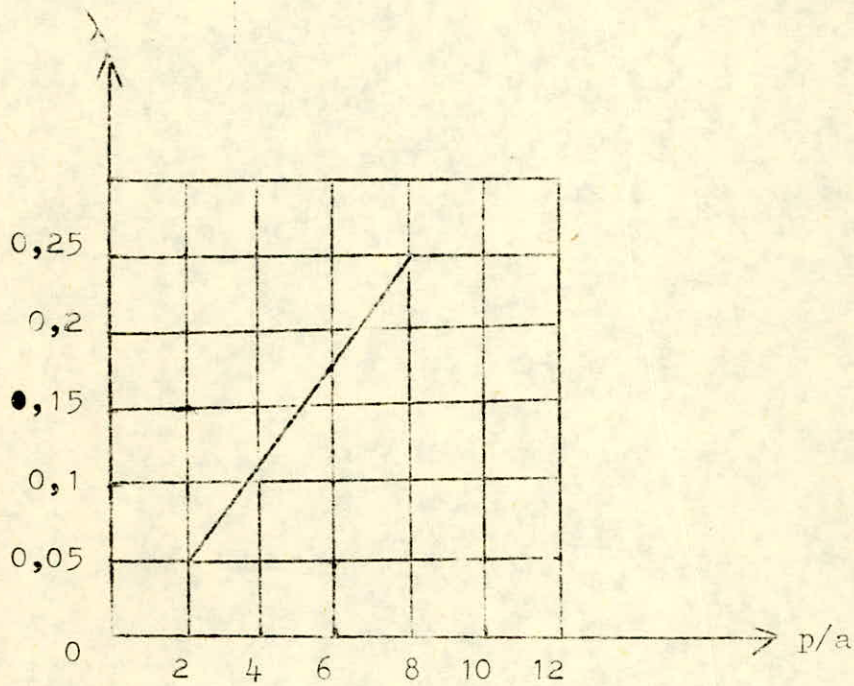
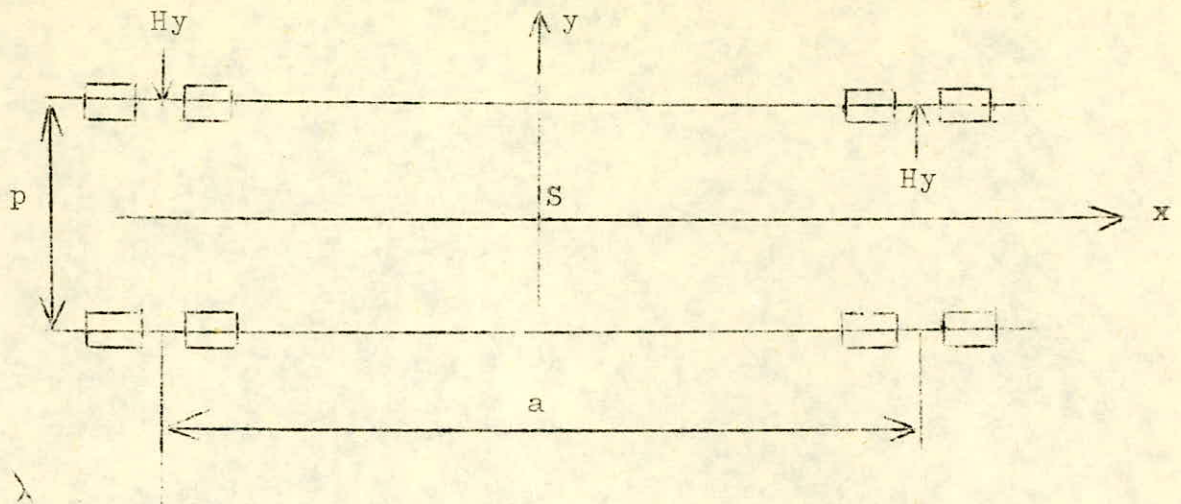
Pour le calcul des résistances de déplacement , la valeur de frottement sur les galets de roulement des appareils sur rails est $\mu = 0,03$

- Reactions transversales dues au roulement sur rail

Pour les engins roulant sur rails , qui ne sont soumis à aucune réaction perpendiculaire au rail , à part les réactions dues au vent et aux forces d'inerties , il convient de tenir compte des réactions provoquées par le roulement de l'appareil en considérant un couple de force H_y dirigé perpendiculairement au rail . On obtient les composantes de ce couple en multipliant la charge verticale s'exerçant sur les galets ou sur les bogies par un coefficient λ dépendant du rapport de l'écartement des rails p , à l'empattement des galets ou bogies a .

Pour le calcul du couple H_y , on part du centre de gravité S sur l'axe y . S'il existe des galets de guidage horizontaux , on prend pour la valeur a la distance des points

de contact des deux galets sur les rails .



Valeurs du coefficient λ

dans notre cas $a = 15,16$ m et $p = 5$ m d'où $P/a = 0,33$
ce qui nous donne une valeur $\lambda = 0,085$

22- Les effets dynamiques non permanents :

Les forces d'inerties dues à l'accélération et au freinage des éléments en mouvement, représentant moins de $2 \cdot 10^4$ pendant la durée de vie sont à vérifier comme sollicitations additionnelles .

31- Engorgement des goulottes : l'engorgement doit être pris en considération pour un poids correspondant à la capacité de réception de la goulotte en question . Pour le calcul , il faut prendre le poids foisonné réel .

Volume pouvant être engorgé par la goulotte : $2,95 \text{ m}^3$

Poids : $2,95 \cdot 1500 = 4425 \text{ Kg}$

d'où le poids de la goulotte devient

$4425 + 214 + 808,5 = 5447,5 \text{ Kg}$

32- Blocage des mécanismes de déplacement : pour les appareils sur rails , il faut considérer que les dispositifs de roulement peuvent se bloquer , par exemple à cause d'un déraillement ou d'une rupture des rails . Pour les sollicitations qui en résultent , il y a lieu d'admettre la valeur de frottement entre les roues motrices et le rail avec $\mu = 0,25$ dans le cas où les moteurs d'entraînements peuvent fournir ces puissances .

33- Tamponnement : pour des vitesses de déplacement horizontal inférieures à $0,7 \text{ m/s}$, on ne tient pas compte des effets de tamponnement . Pour des vitesses de déplacement supérieures à $0,7 \text{ m/s}$, on tient compte des réactions provoquées dans la charpente par des chocs sur des tampons , quand le tamponnement n'est pas rendu impossible par un dispositif quelconque . Les efforts qui en résultent dans la charpente sont calculés en fonction de la décélération que le tampon utilisé impose à l'appareil .

34- Sollicitations dues aux tremblements de terre : Si le contrat contient des indications concernant les valeurs

d'influence par des tremblements de terre , les sollicitations qui en resultent doivent etre appliquées dans le calcul comme sollicitations speciales .

35- Cas de sollicitations :

Les sollicitations principales , additionnelles et speciales que nous avons mentionnés doivent etre combinées en cas de sollicitations I , II et III suivant le tableau 1 . On ne combinera que des sollicitations pouvant s'effectuer simultanement et produisant avec le poids propre les forces les plus grandes aux points de coupe . On retiendra pour le cas III la combinaison la plus defavorable . Dans notre cas , le calcul de notre elevateur se fera suivant deux cas de sollicitations I et III.1 . Le cas I tiendra compte des sollicitations principales et le cas III.1 tiendra compte de sollicitations principales , additionnelles et comme sollicitations speciales l'engorgement de la goulotte .

Pour la verification des fleches , nous verifions dans un premier cas la structure de l'elevateur soumis aux forces exterieures , et dans un deuxieme cas en tenant compte de toutes les charges , puis en ajoutant une sollicitation speciale c'est à dire l'engorgement de la goulotte .

genre de sollicitations	S P	S P A	sollicitations principales additionnelles et speciales						
	I	II	III 1	III 2	III 3	III 4	III 5	III 6	III 7
poids propres
charges utiles
encrassement
efforts agissant sur les elements de transport pour la charge utile
effets dynamiques permanents
resistance de frottement et de deplacement		.	.	.					
forces laterales pendant la translation. horizontales		.	.	.					
effets dynamiques non permanents		.		.					
engorgement des goulottes			.						
pose de la fleche				.					
blocage des mecanismes de deplacement					.				
butée laterale contre le talus						.			
tamponnement							.		
vent hors service								.	
sollicitations dues aux tremblement de terre									.

S P :sollicitations principales

S P A : sollicitations principales et additionnelles

4- Centre de gravité de l'elevateur :

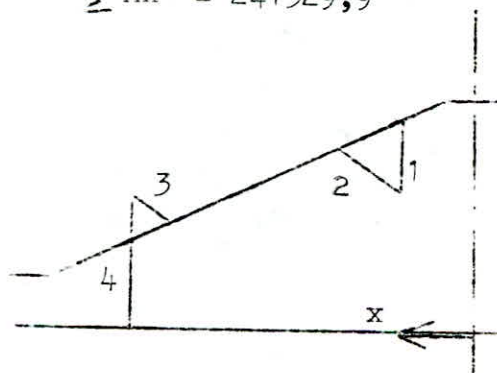
Designation	Poids daN	Distance x (m)	Moment : Mx daN . m
goulotte	1743,5	0	0
poutrelles , contrevente- ment , passerelles , station superieure	14328	11,3	161906,4
bande et rouleaux superieur	1140	11,3	12882
stations inferieures	60	9,4	564
bande et rouleaux inferieur	512	9,4	4812,8
tambour superieur	495	0,3	148,5
tambour inferieur	495	19	9405
support 1	840	2,5	2100
support 2	376	4,7	1767,2
support 3	100	16,8	1680
support 4	2000	17,5	35000
tambour de limitation	512	22	11264

$$\sum P = 22601,5$$

$$\sum Mx = 241529,9$$

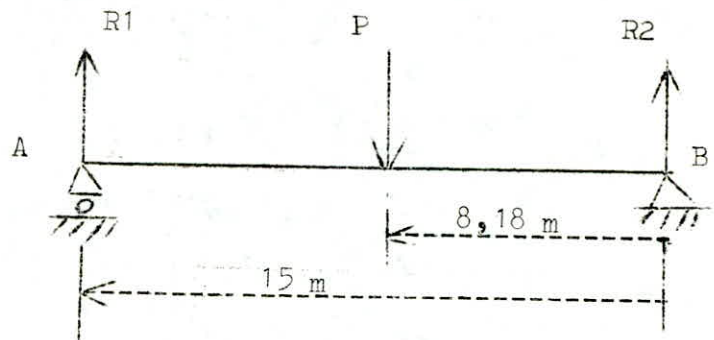
$$x = \frac{\sum Mx}{\sum P} = \frac{241529,9}{22601,5}$$

$$x = 10,68 \text{ m}$$



5- Calcul de la charge sur les galets :

L'elevateur est assimilé à une poutre reposant sur deux appuis dont la charge totale est concentré au centre de masse



Equations d'équilibre

Moments par rapport à B est nul

$$15 R_1 - 8,18 P = 0$$

$$R_1 = \frac{8,18 \cdot P}{15} = \frac{8,18 \cdot 22601,5}{15}$$

$$R_1 = 12325,35 \text{ daN}$$

projection verticale

$$R_2 + R_1 = P \quad R_2 = P - R_1$$

$$R_2 = 22601,5 - 12325,35 = 10276,15 \text{ daN}$$

poids des deux bogies

$$460 \cdot 2 = 920 \text{ daN}$$

charge sur les galets de l'elevateur

$$Q = 12325,35 + 920 = 13245,35 \text{ daN}$$

6- Calcul de la resistance au mouvement : d'apres GOST

$$W_r = W_h + W_p$$

W_h : resistance due au mouvement
sur un chemin horizontal

W_p : resistance due à la pente
du chemin

$$W_h = Q \cdot \mu \cdot w$$

$$w = \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot f}{D} \cdot K_b$$

$$\mu = 0,02$$

$$D = 60 \text{ cm}$$

$$d = 0,2 \cdot 0,3 \cdot D$$

$$d = 0,25 \cdot 60 = 15 \text{ cm}$$

$$\text{pour } D = 60 \text{ cm} \quad f = 0,08 \text{ cm}$$

$$K_b = 2,5$$

$$w = \frac{0,02 \cdot 15 + 2 \cdot 0,08}{60} \cdot 2,5$$

$$w = 0,019$$

$$W_h = 13245,35 \cdot 0,019$$

$$= 251,66 \text{ daN}$$

$$W_p = Q \cdot \alpha$$

$$= 13245,35 \cdot 0,001$$

$$= 13,24 \text{ daN}$$

$$W_r = 251,66 + 13,24 = 264,9 \text{ daN}$$

7- Calcul du moment au point A :

$$M_A = W_r \cdot 2 = 264,9 \cdot 2$$

$$= 529,8 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

$$= 52980 \text{ daN} \cdot \text{cm}$$

Q : charge sur les galets

w : coefficient de resistance
specifique

μ : coefficient de frottement dans
les paliers

d : diametre interieur du roulement

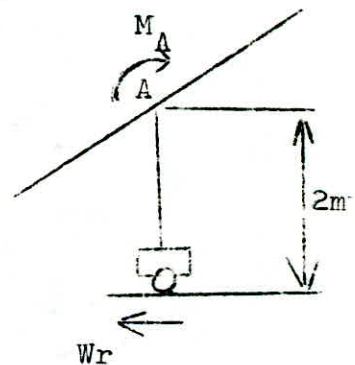
D : diametre du galet choisi ,
d'apres la charge

f : coefficient de frottement de
roulement du galet d'apres le
diametre du galet

Kb : coefficient de frottement des
boudins des galets sur les rails

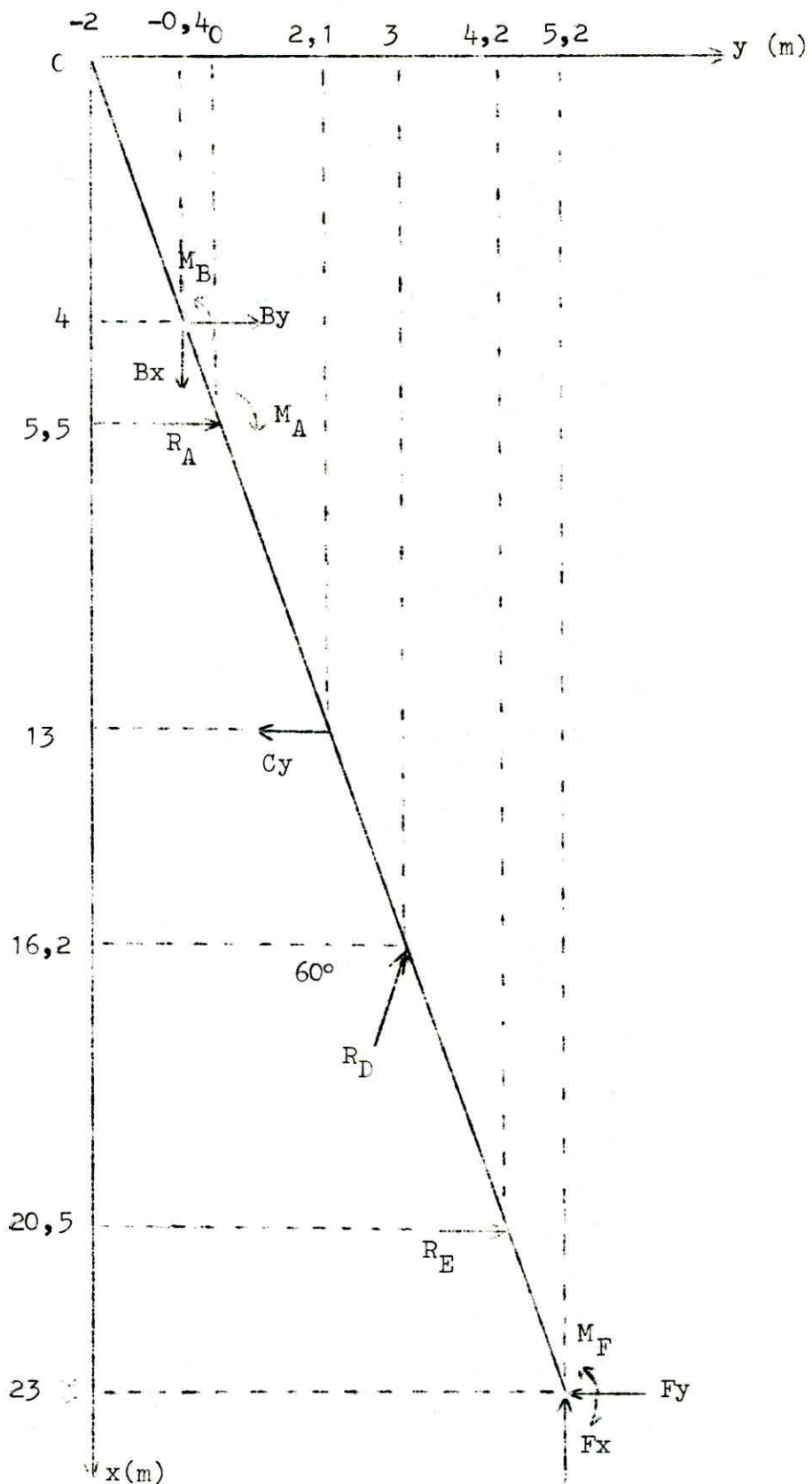
α : pente du chemin

$$\alpha = 0,001 \text{ rd}$$



8-Calcul de l'elevateur soumis aux charges exterieures :

81- Shema des forces :



82- Charge due à la plateforme de commande électrique

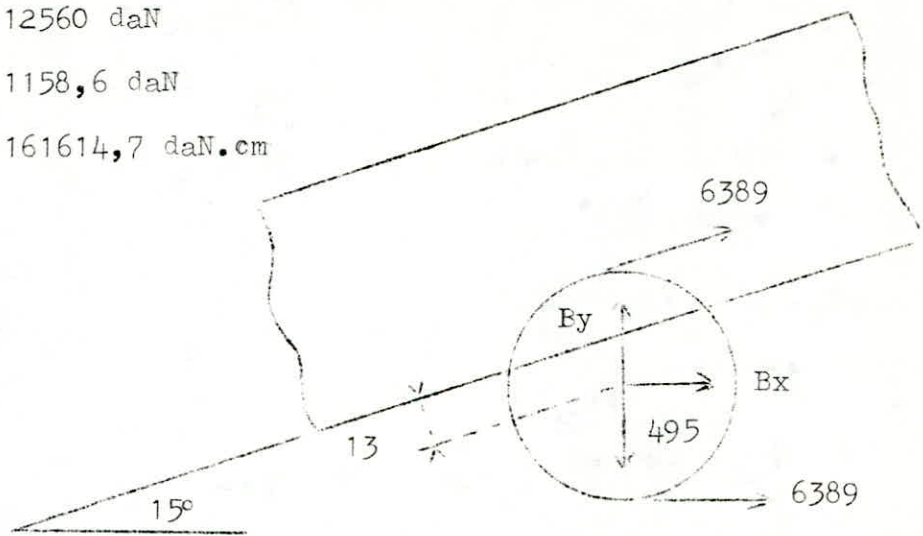
$$C_y = 3594 \text{ daN}$$

83- Charge due au tambour inférieur

$$B_x = 12560 \text{ daN}$$

$$F_y = 1158,6 \text{ daN}$$

$$M_B = 161614,7 \text{ daN}\cdot\text{cm}$$

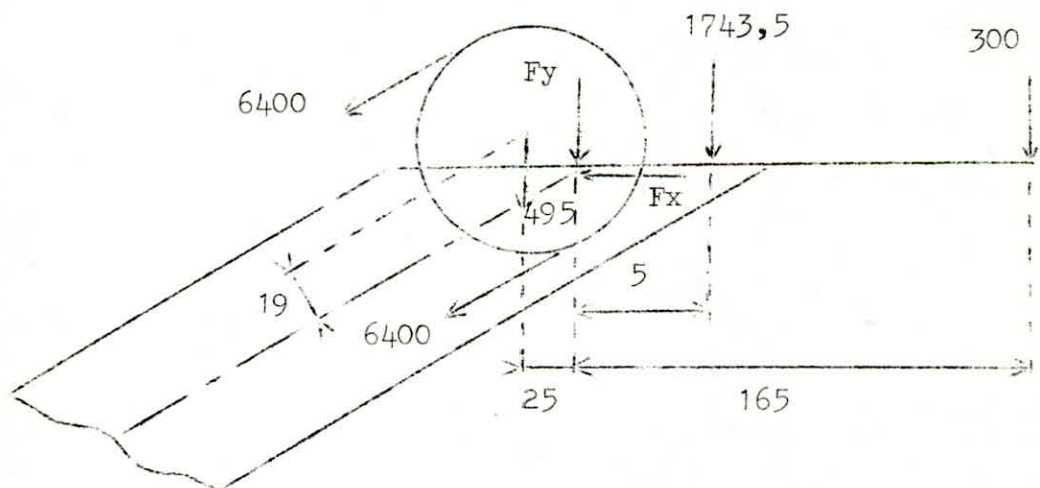


84- Charges dues au tambour supérieur

$$F_y = 5851,4 \text{ daN}$$

$$F_x = 12364 \text{ daN}$$

$$M_F = 197357,5 \text{ daN}\cdot\text{cm}$$



85- Calcul des reactions :

Charges exterieures sur l'elevateur

$$B_x = 12560 \text{ daN} ; B_y = 1158,6 \text{ daN} ; M_B = 161614,7 \text{ daN.cm}$$

$$M_A = 52980 \text{ daN.cm} ; C_y = 3594 \text{ daN} ; F_y = 5851,4 \text{ daN}$$

$$F_x = 12364 \text{ daN} ; M_F = 197357,5 \text{ daN.cm}$$

Equations d'equilibres

projection horizontale

$$B_x - R_D \sin 60 - F_x = 0$$

$$R_D = \frac{B_x - F_x}{\sin 60} = \frac{12560 - 12364}{\sin 60} = 226,3 \text{ daN}$$

moment par rapport au point A

$$M_B - M_A + 0,4 \cdot B_x - 1,5 \cdot B_y - 7,5 \cdot C_y + 3 \cdot R_D \cdot \sin 60 + 10,7 \cdot R_D \cdot \cos 60 + 15 \cdot R_E + 5,2 \cdot F_x - 17,5 \cdot F_y + M_F = 0$$

$$R_E = \frac{M_A + 1,5 \cdot B_y + 7,5 \cdot C_y + 17,5 \cdot F_y - M_B - 0,4 \cdot B_x - 3 \cdot R_D \cdot \sin 60 - M_F}{15}$$

$$\frac{- 10,7 \cdot R_D \cdot \cos 60 - 5,2 \cdot F_x}{15}$$

$$R_E = \frac{529,8 + 1,5 \cdot 1158,6 + 7,5 \cdot 3594 + 17,5 \cdot 5851,4 - 1616,15 - 0,4 \cdot 12560 - 3 \cdot 226,3 \cdot \sin 60 - 10,7 \cdot 226,3 \cdot \cos 60 - 5,2 \cdot 12364 - 1973,58}{15}$$

$$\frac{- 3 \cdot 226,3 \cdot \sin 60 - 10,7 \cdot 226,3 \cdot \cos 60 - 5,2 \cdot 12364 - 1973,58}{15}$$

$$R_E = 3794,5 \text{ daN}$$

projection verticale

$$B_y + R_A - C_y + R_D \cdot \cos 60 + R_E - F_y = 0$$

$$R_A = F_y + C_y - B_y - R_E - R_D \cdot \cos 60$$

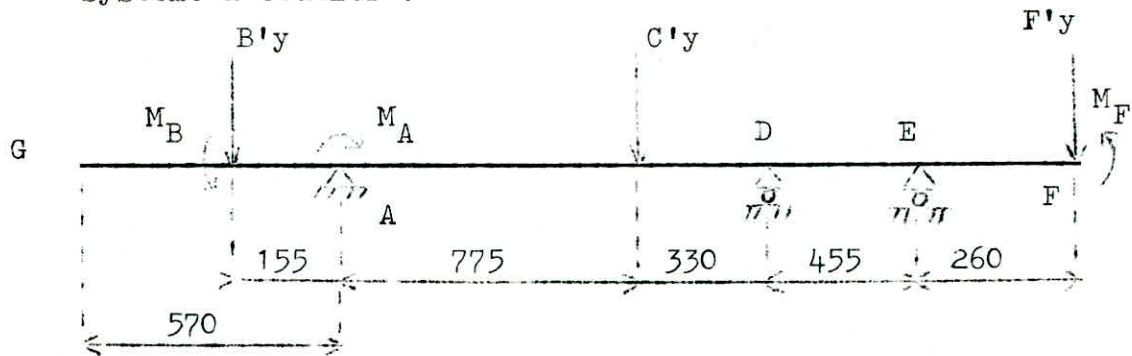
$$R_A = 5851,4 + 3594 - 1158,6 - 3794,5 - 226,3 \cdot \cos 60$$

$$R_A = 4379,15 \text{ daN}$$

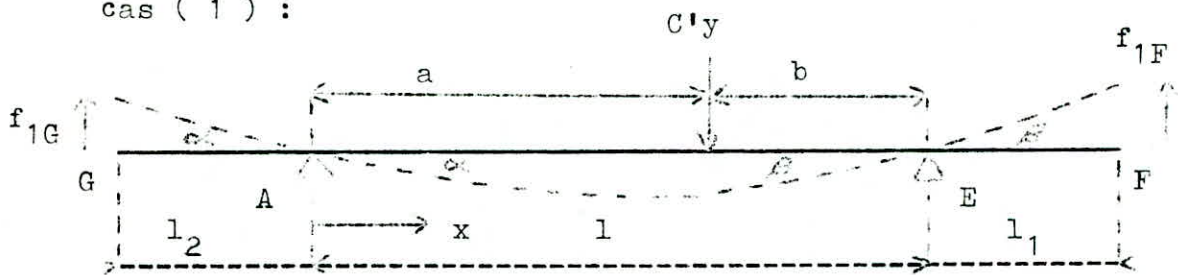
86- Determination des fleches par la methode de superposition :

nous considerons les charges perpendiculaires à la poutre et les moments pouvant provoquer la flexion de la poutre , nous divisons le systeme en plusieurs cas simple .

systeme à etudier :



cas (1) :



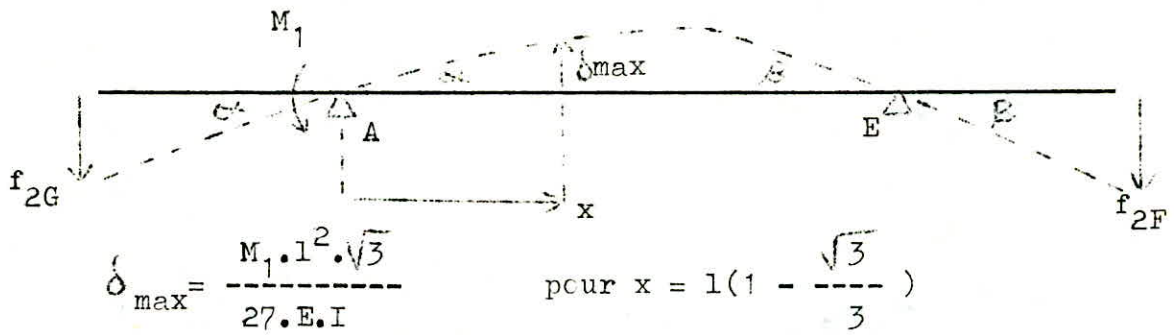
$$\text{pour } x < a \quad y_{11} = \frac{C'y}{6 \cdot l \cdot E \cdot I} (2ab^2x + a^2bx - bx^3)$$

$$\text{pour } x > a \quad y_{12} = \frac{C'y}{6 \cdot l \cdot E \cdot I} (2a^2b(1-x) + ab^2(1-x) - a(1-x)^3)$$

$$f_{1F} = B \cdot l_1 \quad \text{pour} \quad B = \frac{C'y \cdot ab(1+a)}{6 \cdot l \cdot E \cdot I}$$

$$f_{1G} = C \cdot l_2 \quad \text{pour} \quad C = \frac{C'y \cdot ab(1+b)}{6 \cdot l \cdot E \cdot I}$$

cas (2)

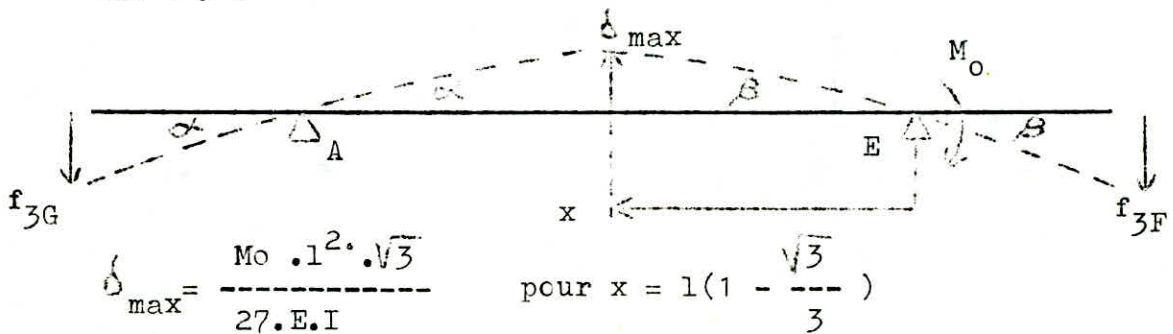


entre A et E
$$y_2 = \frac{M_1}{6 \cdot l \cdot E \cdot I} (x^3 - 3lx^2 + 2l^2x)$$

$f_{2F} = \beta \cdot l_1$ pour $\beta = \frac{M_1 \cdot l}{6 \cdot E \cdot I}$

$f_{2G} = \alpha \cdot l_2$ pour $\alpha = \frac{M_1 \cdot l}{3 \cdot E \cdot I}$

cas (3)

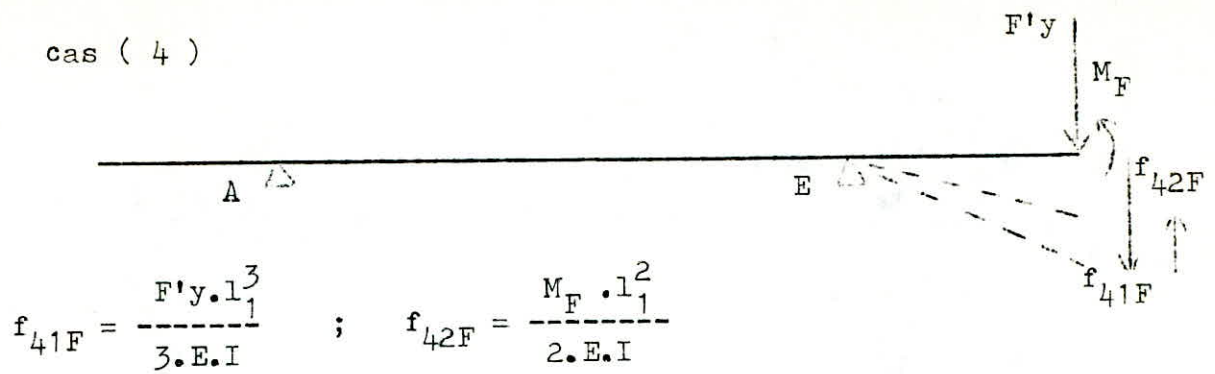


entre A et E
$$y_3 = \frac{M_0}{6 \cdot l \cdot E \cdot I} (x^3 - 3lx^2 + 2l^2x)$$

$f_{3F} = \beta \cdot l_1$ pour $\beta = \frac{M_0 \cdot l}{3 \cdot E \cdot I}$

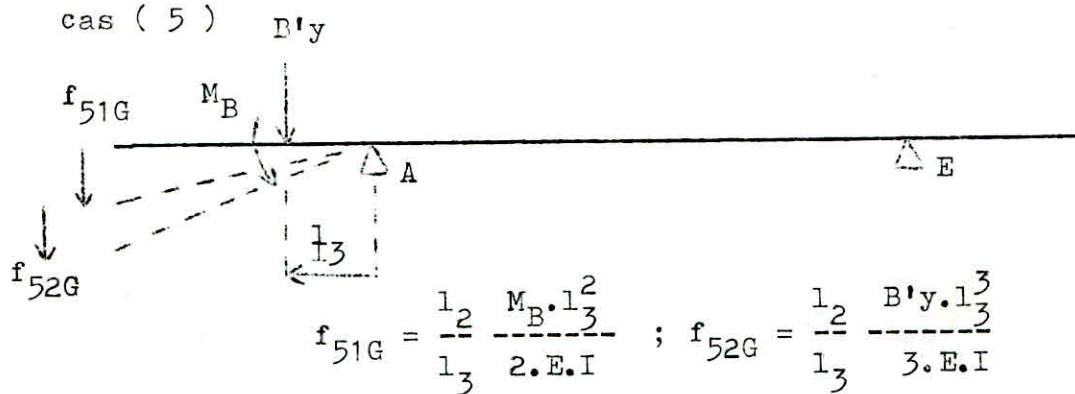
$f_{3G} = \alpha \cdot l_2$ pour $\alpha = \frac{M_0 \cdot l}{6 \cdot E \cdot I}$

cas (4)



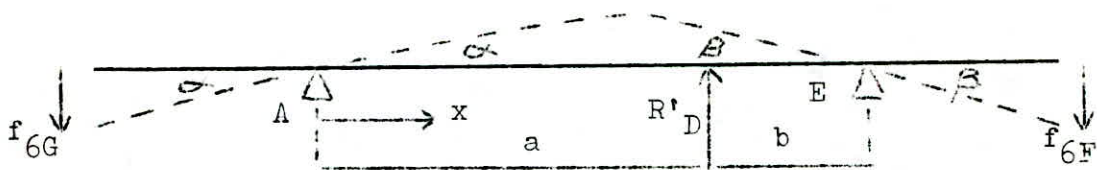
$$f_{41F} = \frac{F'y \cdot l_1^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad ; \quad f_{42F} = \frac{M_F \cdot l_1^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

cas (5)



$$f_{51G} = \frac{l_2}{l_3} \frac{M_B \cdot l_3^2}{2 \cdot E \cdot I} \quad ; \quad f_{52G} = \frac{l_2}{l_3} \frac{B'y \cdot l_3^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

cas (6)



$$x < a \quad y_{61} = \frac{R'_D}{6 \cdot l \cdot E \cdot I} (2ab^2x + a^2bx - bx^3)$$

$$x > a \quad y_{62} = \frac{R'_D}{6 \cdot l \cdot E \cdot I} (2a^2b(1-x) + ab^2(1-x) - a(1-x)^3)$$

$$f_{6F} = B \cdot l_1 \quad \text{pour} \quad B = \frac{R'_D \cdot ab(1+a)}{6 \cdot l \cdot E \cdot I}$$

$$f_{6G} = \alpha \cdot l_2 \quad \text{pour} \quad \alpha = \frac{R'_D \cdot ab(1+b)}{6 \cdot l \cdot E \cdot I}$$

calcul des charges perpendiculaires à la poutre et des moments considérés :

$$B'y = B_x \cdot \sin 15 - B_y \cdot \cos 15 = 12560 \sin 15 - 1158,6 \cos 15 = 2132 \text{ daN}$$

$$C'y = C_y \cdot \cos 15 = 3594 \cos 15 = 3472 \text{ daN}$$

$$F'y = F_y \cdot \cos 15 - F_x \cdot \sin 15 = 5851,4 \cos 15 - 12364 \sin 15 = 2452 \text{ daN}$$

$$M_1 = M_B - M_A + B'y \cdot l_3 = 161614,7 - 52980 + 2132 \cdot 155$$

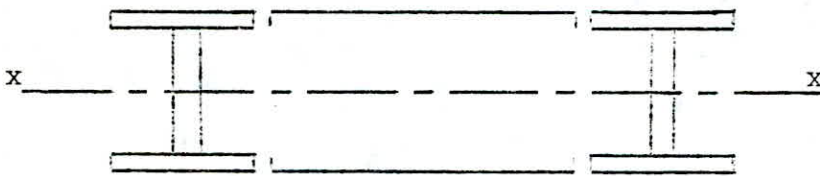
$$M_1 = 439094,7 \text{ daN.cm}$$

$$M_o = F'y \cdot 260 - M_F = 2452 \cdot 260 - 197357,5 = 440162,5 \text{ daN.cm}$$

$$R'_D = R_D \cdot \sin 45 = 226,3 \sin 45 = 160 \text{ daN}$$

le calcul des fleches se fera aux extremitées de la poutre , G et F , ainsi que pour deux points entre les appuis A et D c'est à dire H et K

composition de la structure principale

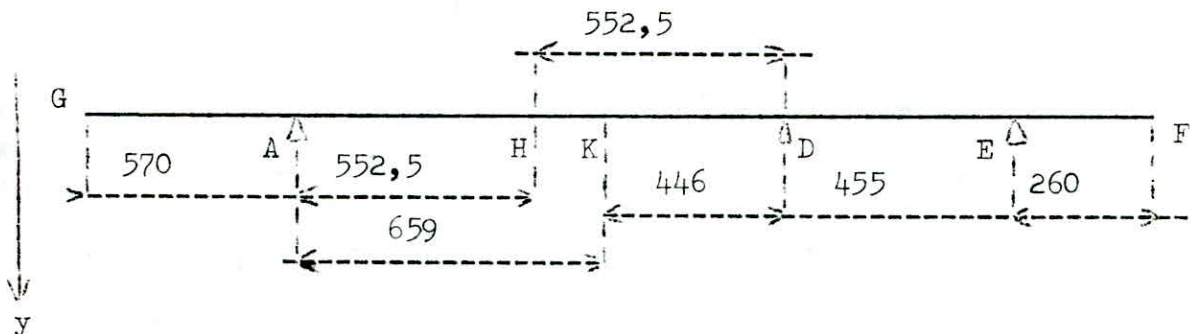


poutrelles principale IPE 600

$$I_x = 92080 \text{ cm}^4 ; W_x = 3070 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 3387 \text{ cm}^4 ; W_y = 308 \text{ cm}^3$$

$$I_{xx} = 184160 \text{ cm}^4 ; E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$$



87- Tableau recapitulatif des fleches :

G	F	K	H	
		0,141	0,140	y_{11}
				y_{12}
		-0,177	-0,173	y_2
		-0,16	-0,143	y_3
		-0,024	-0,021	y_{61}
				y_{62}
	-0,148			f_{1F}
-0,264				f_{1G}
	0,076			f_{2F}
0,336				f_{2G}
	0,153			f_{3F}
0,168				f_{3G}
	0,037			f_{41F}
	0,0172			f_{42F}
0,018				f_{51G}
0,025				f_{52G}
	0,015			f_{6F}
0,025				f_{6G}
0,308 cm	0,15 cm	-0,22 cm	-0,197 cm	fleche totale

Conclusion :

Nous constatons d'après les valeurs des fleches données dans le tableau precedent que la structure metallique de l'elevateur est tres rigide , resultat que l'on veut obtenir , et donc que l'influence des forces exterieures est negligeeable .

9- Efforts internes et externes sur l'elevateur :

Le calcul des reactions et des fleches se fera en tenant compte de toutes les charges internes et externes ainsi que le poids de la matiere transporté . Les charges exterieures ne varient pas , et les charges internes tels que le poids de la structure , de la bande et matiere sont considerés uniformement reparties sur la longueur .

charges uniformements reparties sur la longueur

- la matiere ou charges utiles

$$252 + 25,2 = 277,2 \text{ Kg/ m}$$

- bande : 18 Kg/ m

- rouleaux superieurs : 29,5 Kg/ m

- rouleaux inferieurs : 7,6 Kg/ m

- passerelle : 300 Kg/ m

- poutrelle IPE 600 : 122 Kg/ m

- stations superieures : 34 Kg/ m

- stations inferieures : 3 Kg/ m

- contreventement : 19 Kg/ m

soit q les charges reparties sur 24 m

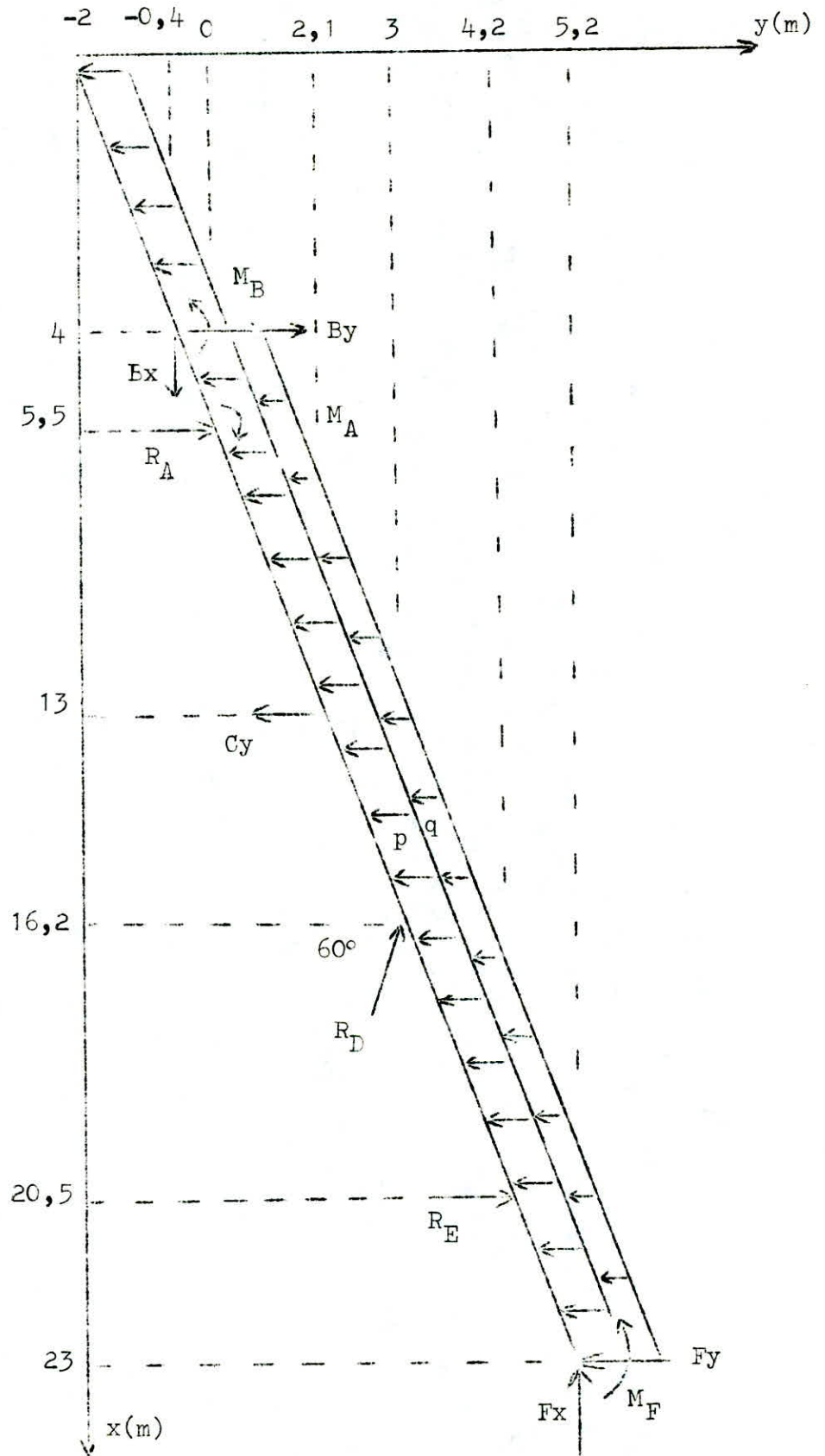
$$q = 277,2 + 18 + 29,5 + 300 + 2 \cdot 122 + 34 + 19$$

$$q = 922 \text{ Kg/ m} = 9,22 \text{ Kg/ cm}$$

soit p les charges reparties sur 20 m

$$p = 18 + 7,6 + 3 = 28,6 \text{ Kg/ m} = 0,286 \text{ Kg/ cm}$$

91 - Shema des forces :



92 - Calcul des reactions :

Equations d'equilibres :

projection horizontale

$$E_x - R_D \cdot \sin 60 - F_x = 0$$

$$R_D = \frac{E_x - F_x}{\sin 60} = 226,3 \text{ daN}$$

moments par rapport à A

$$M_B - M_A + 0,4 \cdot E_x - 1,5 \cdot B_y - 7,5 \cdot C_y + 3 \cdot R_T \cdot \sin 60 + 10,7 \cdot R_D \cdot \cos 60 \\ + 15 \cdot R_E + 5,2 \cdot F_x - 17,5 \cdot F_y + M_F + q \cdot \frac{5,5^2}{2} + p \cdot \frac{1,5^2}{2} - (q+p) \cdot \frac{17,5^2}{2} = 0$$

$$R_E = \frac{M_A + 1,5 \cdot B_y + 7,5 \cdot C_y + 17,5 \cdot F_y + (q+p) \cdot \frac{17,5^2}{2} - M_B - 0,4 \cdot B_x}{15}$$

$$\frac{- 3 \cdot R_D \cdot \sin 60 - 10,7 \cdot R_D \cdot \cos 60 - 5,2 \cdot F_x - M_F - q \cdot \frac{5,5^2}{2} - p \cdot \frac{1,5^2}{2}}{15}$$

$$R_E = 12566,7 \text{ daN}$$

projection verticale

$$B_y + R_A + R_E + R_D \cdot \cos 60 - C_y - F_y - 23q - 19p = 0$$

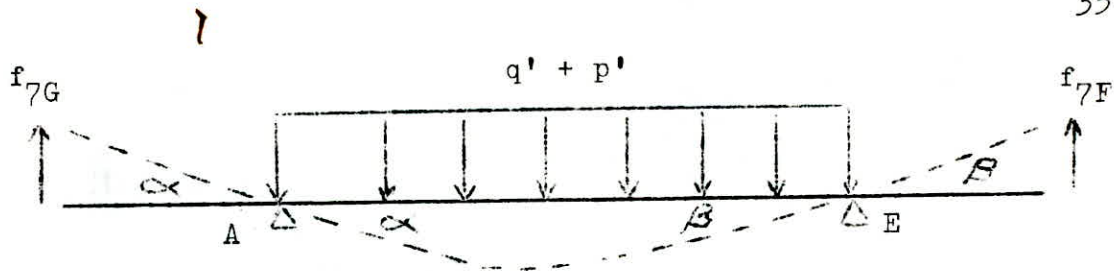
$$R_A = F_y + C_y + 23q + 19p - B_y - R_E - R_D \cdot \cos 60$$

$$R_A = 5851,4 + 3594 + 23 \cdot 922 + 19 \cdot 28,6 - 1158,6 - 12566,7 \\ - 226,3 \cdot \cos 60$$

$$R_A = 17356,35 \text{ daN}$$

93- Determination des fleches :

cas (7)

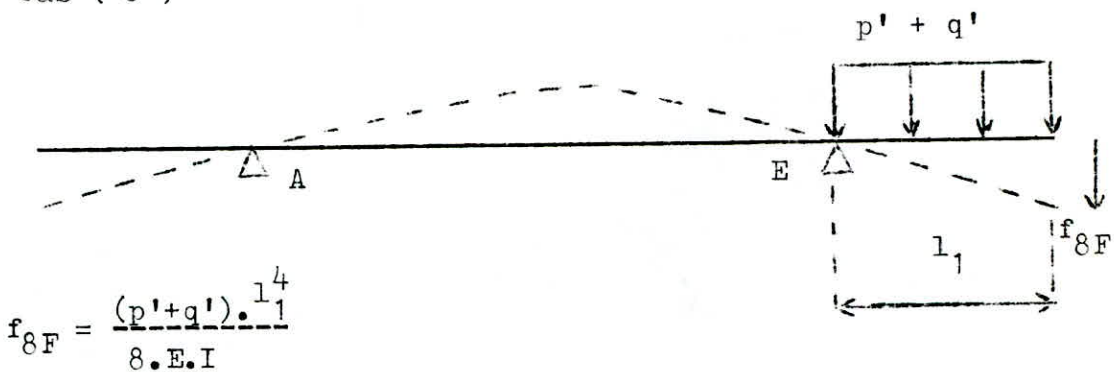


pour un point entre A et E $y_7 = \frac{(p'+q')}{24 \cdot E \cdot I} (x^4 - 2lx^3 + l^3x)$

$f_{7F} = \beta \cdot l_1$ avec $\beta = \frac{(p'+q') \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I}$

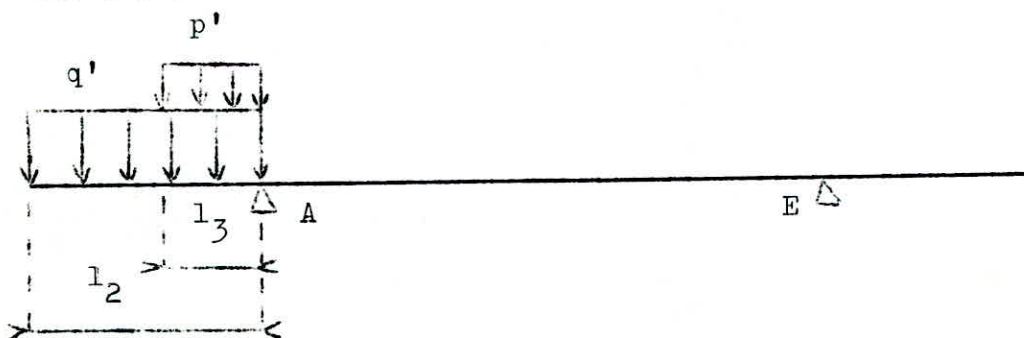
$f_{7G} = \alpha \cdot l_2$ avec $\alpha = \frac{(p'+q') \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I}$

cas (8)



$f_{8F} = \frac{(p'+q') \cdot l_1^4}{8 \cdot E \cdot I}$

cas (9)



$f_{91G} = \frac{q' l_2^4}{8 \cdot E \cdot I}$;

$f_{92G} = \frac{l_2}{l_3} \frac{p' l_3^4}{8 \cdot E \cdot I}$

charges perpendiculaires à la poutre

$$B'y = 2132 \text{ daN} ; C'y = 3472 \text{ daN} ; F'y = 2452 \text{ daN}$$

$$R'_D = 160 \text{ daN}$$

$$M_1 = M_B - M_A + B'y \cdot l_3 + q \frac{550^2}{2} + p \frac{150^2}{2}$$

$$M_1 = 1836837,2 \text{ daN.cm}$$

$$M_C = F'y \cdot 260 - M_F + (q+p) \frac{250^2}{2}$$

$$M_C = 440162,5 + (9,22 + 0,286) \frac{250^2}{2}$$

$$M_C = 737225 \text{ daN.cm}$$

$$p' = 0,286 \cdot \cos 15 = 0,276 \text{ daN/cm}$$

$$q' = 9,22 \cdot \cos 15 = 8,905 \text{ daN/cm}$$

94- Calcul de la fleche pour le cas III₁

Dans ce cas, nous tiendrons compte d'une sollicitation speciale c'est à dire l'engorgement de la goulotte. Les sollicitations additionnelles dans ce cas n'influent pas sur les fleches.

Calcul des charges et des moments qui varient :

$$F_y = 9555,4 \text{ daN}$$

$$M_F = 178837,5 \text{ daN.cm}$$

$$F'y = 6030 \text{ daN}$$

$$M_C = 1686025 \text{ daN.cm}$$

nous verifions la fleche pour le point F* et donné dans le tableau suivant.

95- Tableau recapitulatif des fleches :

F*	G	F	K	H	
			0,141	0,140	y ₁₁
			-0,74	-0,723	y ₂
			-0,268	-0,239	y ₃
			-0,024	-0,021	y ₆₁
			1,778	1,646	y ₇
-0,148		-0,148			f _{1F}
0,318		0,318			f _{2F}
	1,405				f _{2G}
0,585		0,256			f _{3F}
	0,28				f _{3G}
0,091		0,037			f _{41F}
0,0155		0,0172			f _{42F}
	0,018				f _{51G}
	0,025				f _{52G}
0,015		0,015			f _{6F}
	0,025				f _{6G}
-0,976		-0,976			f _{7F}
	-2,14				f _{7G}
0,0135		0,0135			f _{8F}
	0,304				f _{91G}
	0,0002				f _{92G}
	-0,264				f _{1G}

-0,086 cm	0,3468 cm	-0,467 cm	0,887 cm	0,803 cm	fleche totale
point K	f = 0,887		$\frac{L}{600} = \frac{1560}{600} = 2,6$ cm		
point F	f = 0,467	$\frac{L_1}{300} = \frac{260}{300} = 0,86$ cm			
point G	f = 0,346	$\frac{L_2}{300} = \frac{570}{300} = 1,9$ cm			

10- Calcul des elements de charpente :

10.1 Generalités : Pour les trois cas de sollicitations definis , on determine les contraintes dans les differents elements de la charpente et on verifie qu'il existe une securité suffisante par rapport aux contraintes critiques en considerant les trois causes de ruines possibles

- depassement de la limite elastique ou de la contrainte critique
- depassement de la charge critique au flambage ou au voilement et eventuellement depassement de la limite d'endurance à la fatigue .

les sections de metal à considerer sont des sections nettes (c'est à dire surface des trous deduites) dans toutes les parties soumises à des efforts de traction et des sections brutes (c'est à dire surface des trous non deduite) dans toutes les parties soumises à des efforts de compression , la surface des trous n'etant incluse dans la section que lorsque ceux-ci sont occupés par un rivet ou un boulon . Pour le calcul des contraintes , on utilise les methodes habituelles de la resistance des matériaux .

10-2 Determination des contraintes d'utilisations :

les contraintes pour les cas de sollicitations I , II et III doivent etre confrontées avec les contraintes d'utilisations pour ces cas de sollicitations . Ces dernieres sont obtenues en divisant la limite de rupture par un coefficient de securité correspondant . Dans notre cas , nous nous arreterons au cas de sollicitations I .

la contrainte d'utilisation est donné par la formule suivante

$$\sigma_w = \frac{\sigma_r}{s}$$

σ_r : contrainte de rupture

s : coefficient de securité

L'acier utilisé est un acier non allié d'usage général utilisé en charpente de désignation A.42. Nous choisissons une contrainte de rupture $\sigma_r = 4500 \text{ daN/cm}^2$ et un coefficient de sécurité $s = 5$

$$\text{d'où } \sigma_w = \frac{4500}{5} = 900 \text{ daN/cm}^2$$

la contrainte d'utilisation au cisaillement est donnée par la

formule suivante $\tau_w = \frac{\tau_r}{s}$ et $\tau_r = \frac{\sigma_r}{2}$

où τ_r est la contrainte de rupture au cisaillement

$$\tau_r = \frac{4500}{2} = 2250 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_w = \frac{2250}{5} = 450 \text{ daN/cm}^2$$

les vérifications des contraintes se font d'après les formules suivantes :

Traction ou compression : $\frac{F}{S} \leq \sigma_w$

Cisaillement : $\tau = \frac{T}{S} \leq \tau_w$

Flexion : $\frac{M_{\max}}{I/v} \leq \sigma_w$

Traction ou compression plus flexion :

$$\sigma_{\max} = \sigma + \sigma' = \frac{M_f}{I/v} + \frac{F}{S} \leq \sigma_w \text{ traction}$$

Traction ou compression plus cisaillement :

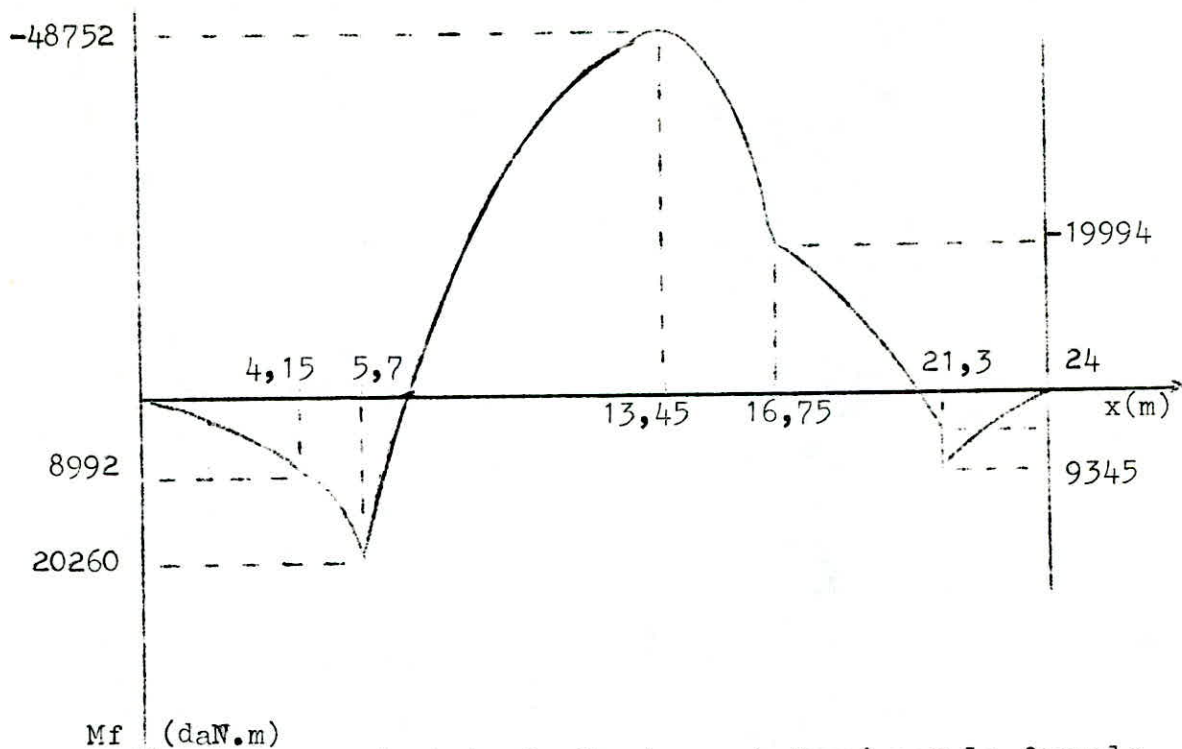
$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_w$$

Pour une contrainte σ_x et σ_y perpendiculaire à σ_x et une contrainte τ_{xz} de cisaillement, on utilise la contrainte de comparaison suivante :

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xz}^2} \leq \sigma_w$$

11- Calcul des contraintes sur l'elevateur :

11.1 Diagramme des moments flechissants et des contraintes :



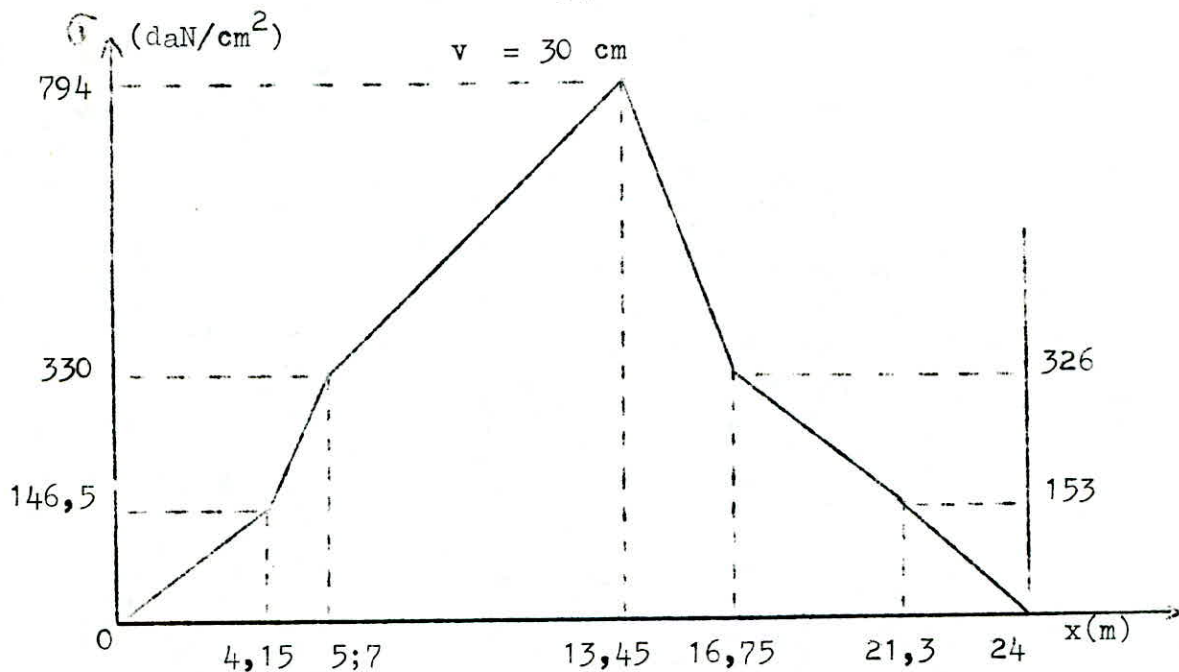
la contrainte de flexion est donné par la formule

$$\sigma = \frac{Mf}{I/v}$$

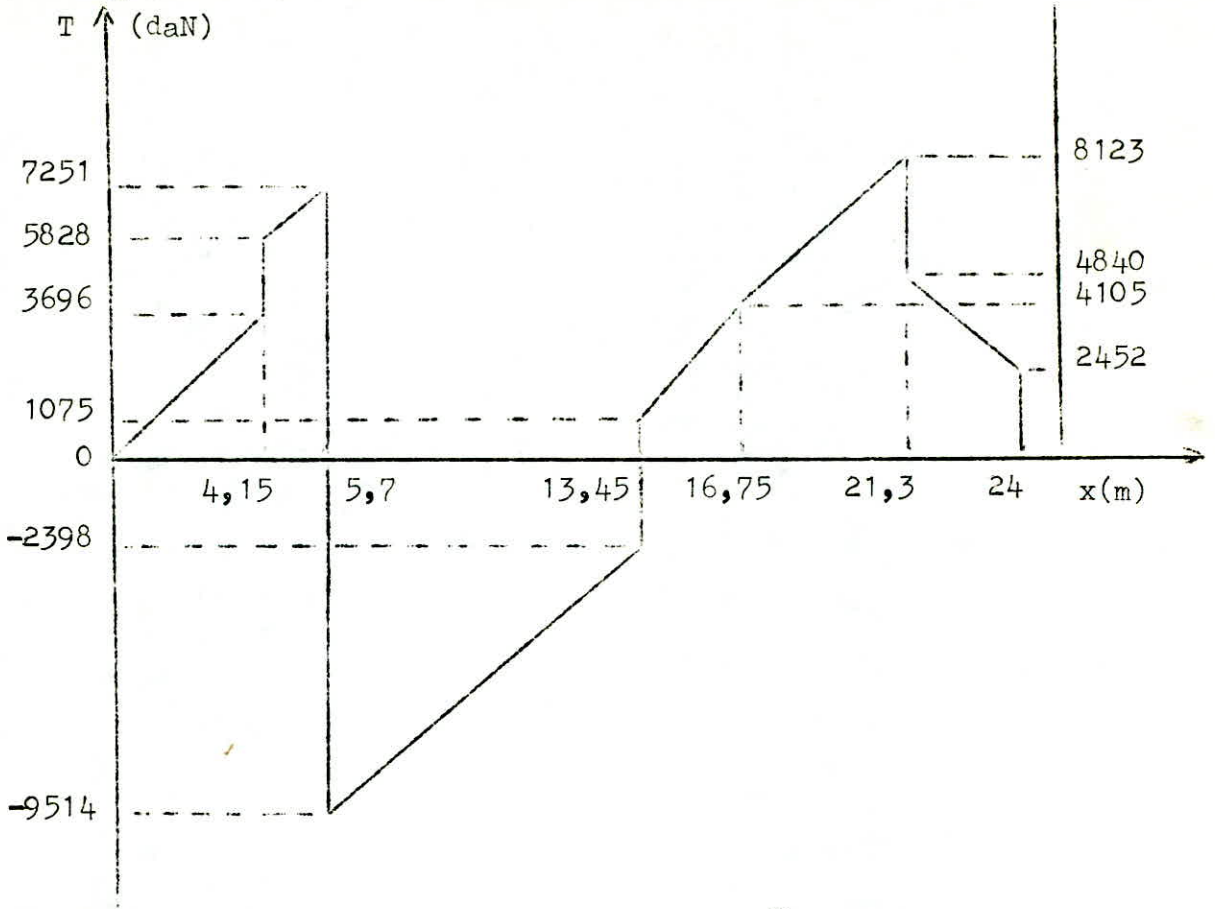
I/v étant le module de flexion

$$I_{xx} = 184160 \text{ cm}^4$$

$$v = 30 \text{ cm}$$



11.2 Diagramme des efforts tranchants et des contraintes :

Diagramme de la contrainte tangentielle τ_{xz}

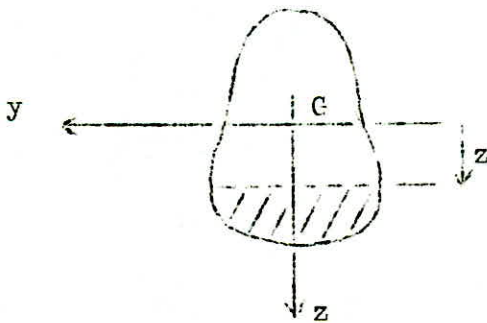
$$\tau_{xz} = \frac{T_z \cdot A(z)}{I_y \cdot e(z)}$$

$T_z = T_{\max}$ effort tangentielle maximum

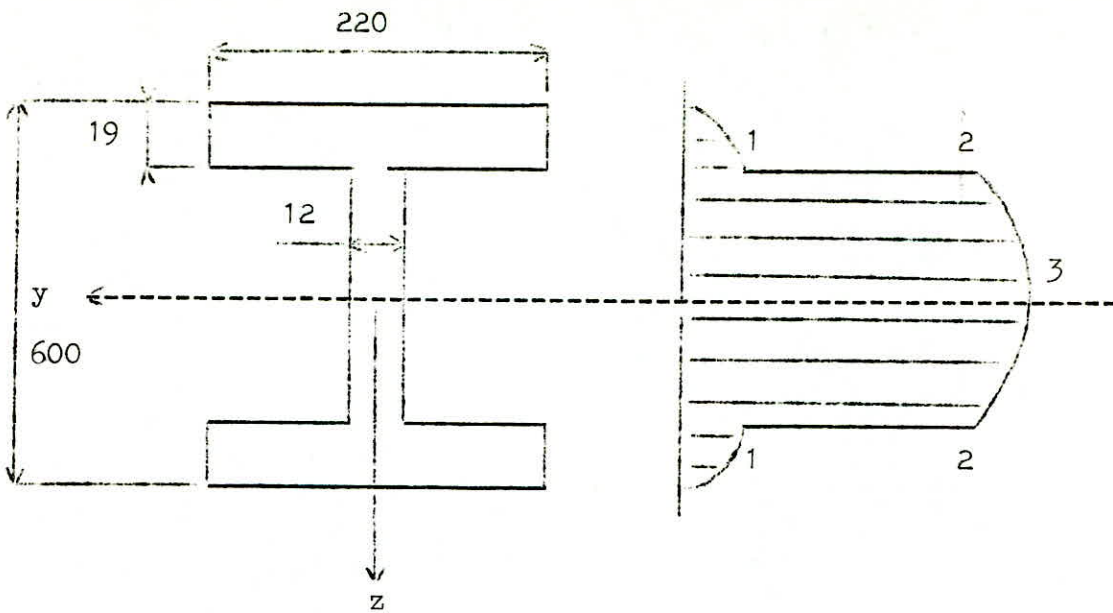
$A(z)$ = moment statique par rapport à G_y de la partie de cette section au delà de z

I_y : Moment quadratique

$e(z)$: largeur en z



Dans notre cas nous disposons de deux IPE aux dimensions suivantes :



point 1 :

$$A(z) = 2428,58 \text{ cm}^3$$

$$e(z) = 44 \text{ cm}$$

$$I_y = 184160 \text{ cm}^4$$

$$\tau_{xz} = 2,85 \text{ daN/cm}^2$$

point 2 :

$$A(z) = 2428,58 \text{ cm}^3$$

$$e(z) = 2,4 \text{ cm}$$

$$\tau_{xz} = 52,25 \text{ daN/cm}^2$$

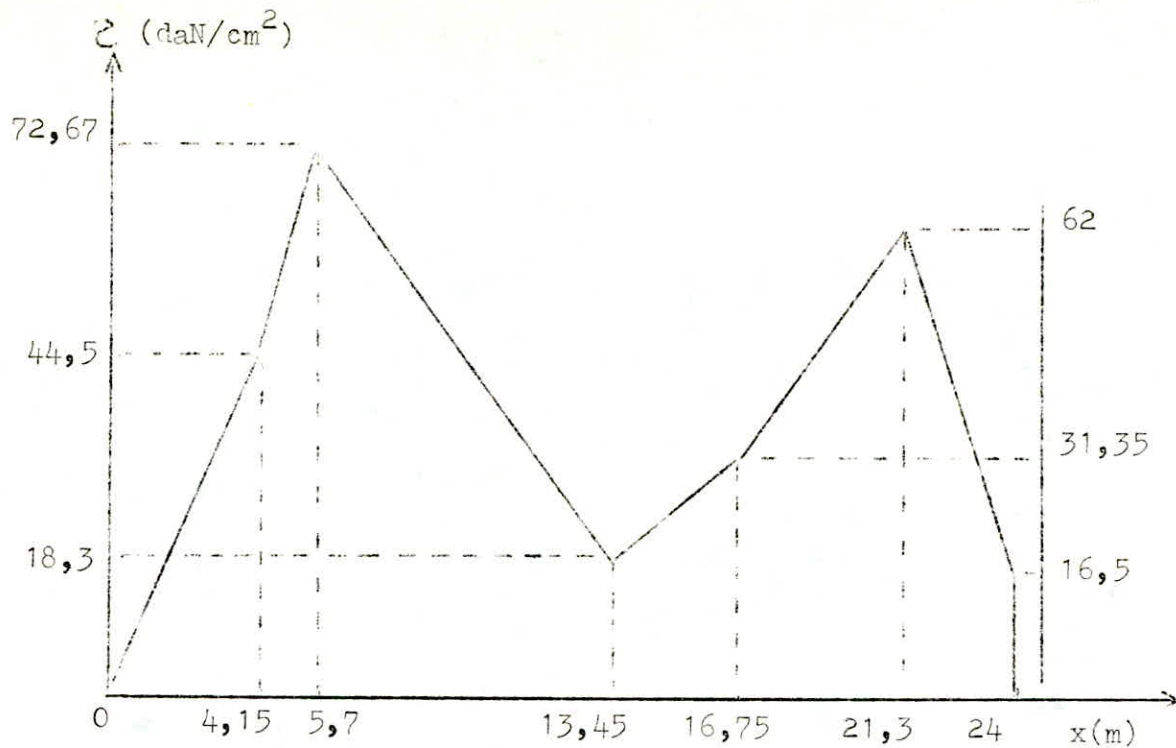
point 3 :

$$A(z) = 3376 \text{ cm}^3$$

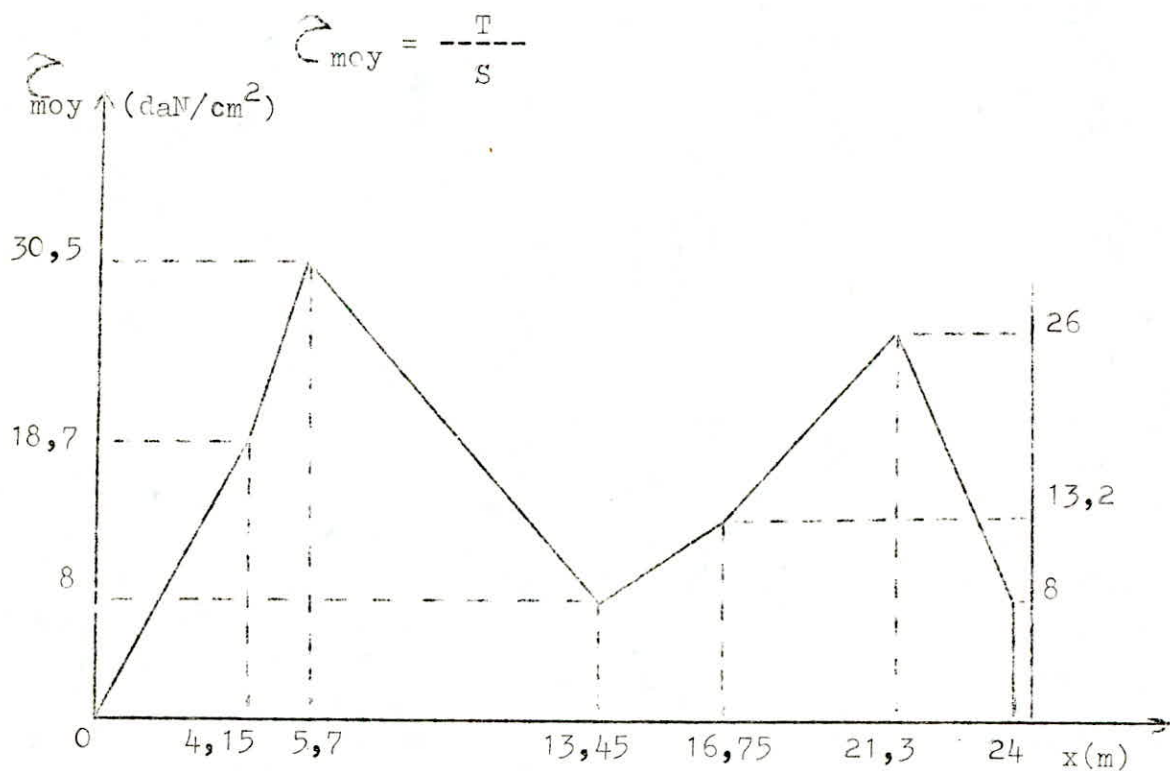
$$e(z) = 2,4 \text{ cm}$$

$$\tau_{xz} = 72,67 \text{ daN/cm}^2 < 450 \text{ daN/cm}^2$$

le point 3 étant le plus sollicité au cisaillement, nous reproduisons un diagramme donnant les différentes contraintes le long de la poutre pour ce point et qui correspond à l'axe neutre de la poutre.



Pour le calcul des contraintes composées, on utilise la contrainte de cisaillement moyenne donné par la formule suivante :



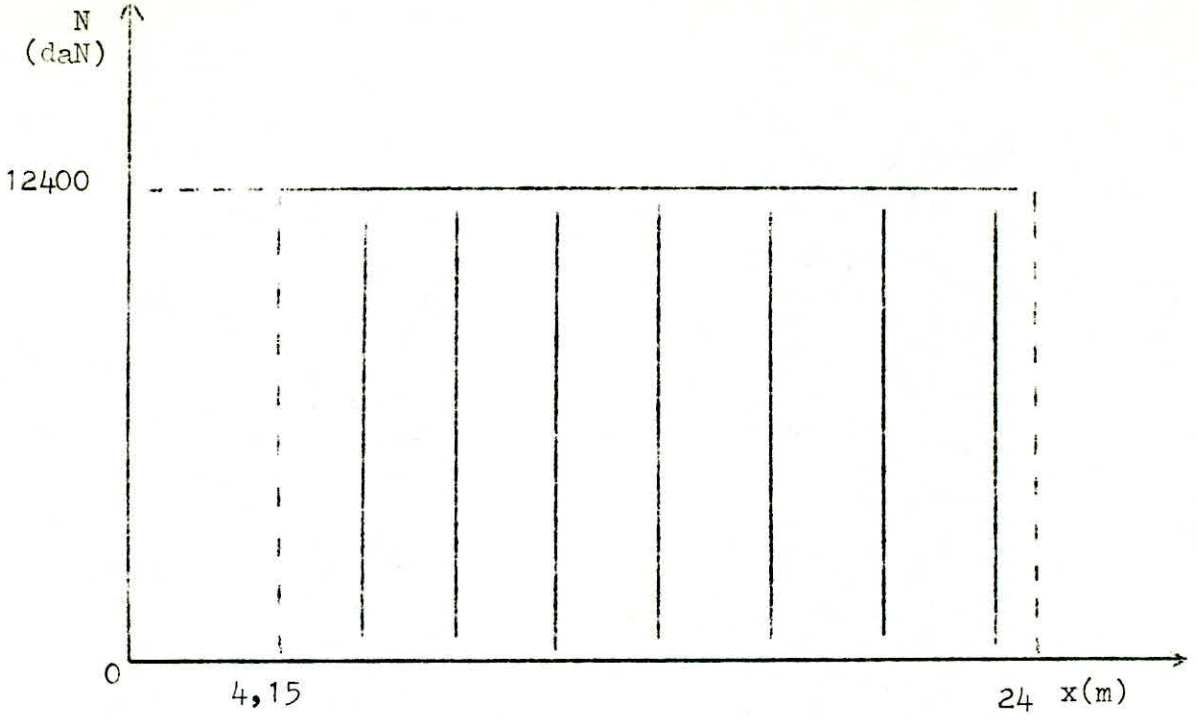
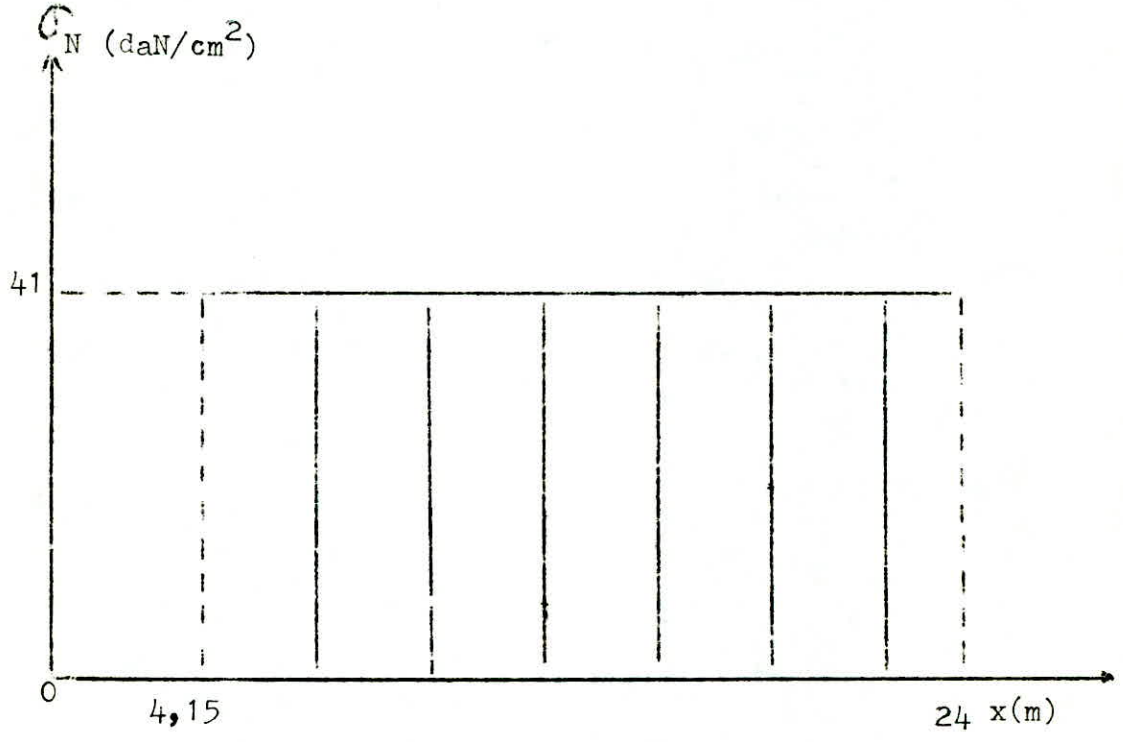


Diagramme de la contrainte normale



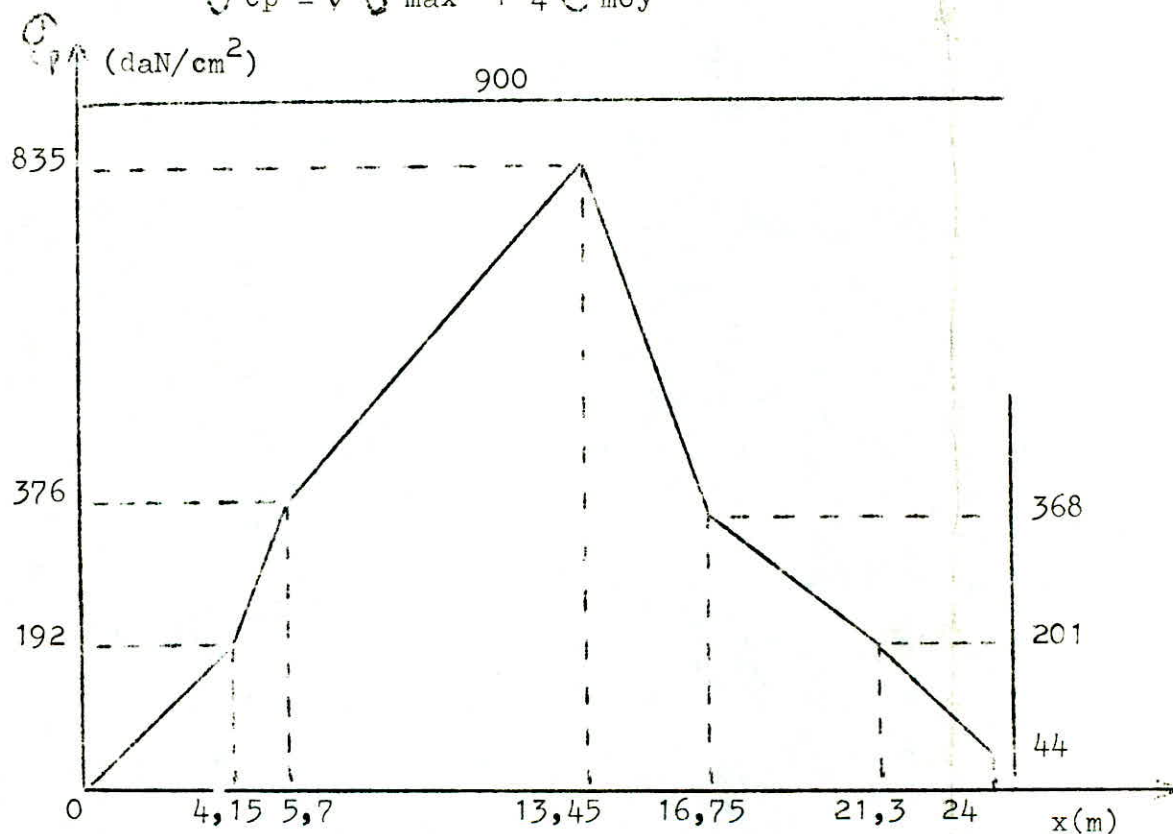
11.4 Diagramme de la contrainte composé :

Dans notre cas nous faisons une verification pour les differentes contraintes composées

compression + flexion $\sigma_{\max} = \sigma + \sigma' = \frac{Mf}{I/v} + \frac{F}{S}$

compression + flexion + cisaillement

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 4\tau_{\text{moy}}^2}$$



En conclusion , nous constatons que $\sigma_{cp} < \sigma_w$, donc qu'il existe une securité suffisante par rapport aux contraintes critiques .

III CALCUL DES ELEMENTS LIES A L'ELEVATEUR .

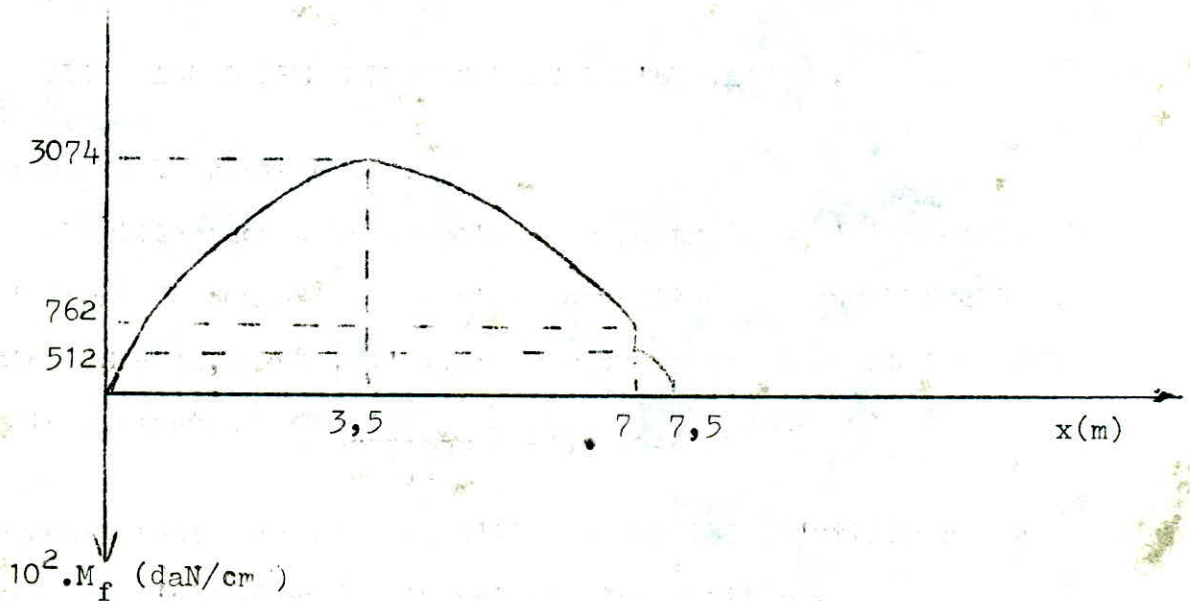
1. Calcul de la plateforme :

Verification à la traction des poutrelles d'attaches de la plateforme de commande électrique constitué de deux UPN 200 de section $S = 32,2 \text{ cm}^2$, l'effort sur une poutrelle est 1565 daN d'ou la contrainte $\sigma = \frac{1565}{32,2} = 48,6 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_w$

nous constatons dans ce cas qu'il est possible d'utiliser des poutrelles d'attaches de dimensions plus petites .

Nous verifions à la flexion la plateforme de commande électrique , nous considerons que la plateforme est supporté principalement par deux UPN 300 .

Diagramme pour une poutrelle



la contrainte de flexion est

$$\sigma = \frac{M_{f \max}}{I/v} = \frac{3074 \cdot 10^2}{535} = 574,6 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_w$$

2- Verification au flambage des pieds d'appuis de l'elevateur sur le chassis principal , nous choisissons des tubes de diametre exterieur 324 mm et d'epaisseur 10 mm , et de longueur 3000 mm

1^{ere} verification :

calcul de l'elancement λ

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

l_0 : longueur de flambement

i : rayon de giration

$l_0 = l$ nous considerons le pied articulé aux deux extremités

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}}$$

I : moment quadratique minimal de la section

S : section du pied

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (32,4^4 - 30,4^4) = 12169,95 \text{ cm}^4$$

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = 98,64 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{12169,95}{98,64}} = 11,1 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{300}{11,1} = 27$$

pour $\lambda > 105$, on applique la formule d'EULER

dans notre cas $\lambda < 105$, on calcul la charge critique en

appliquant la formule de Tetmayer suivante :

$$\sigma_c = \sigma_{BC} - \frac{\lambda}{\lambda_p} (\sigma_{BC} - \sigma_p) \quad \text{ou} \quad \sigma_{BC} \text{ est la}$$

resistance à la traction

et en admettant qu'elle

est egale à celle de la compression .

$$\sigma_p = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_p^2}$$

σ_p : limite de proportionnalité

$$\lambda_p = 105 \text{ d'ou}$$

$$\sigma_p = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{105^2} = 1880 \text{ daN/cm}^2$$

pour l'acier A 42 utilisé $\sigma_{BC} = 4800 \text{ daN/cm}^2$

$$\sigma_c = 4800 - \frac{27}{105} (4800 - 1880) = 4049 \text{ daN/cm}^2$$

d'ou la charge critique

$$N_c = \sigma_c \cdot S = 4049 \cdot 98,64 = 399407,5 \text{ daN}$$

2^{eme} verification :

$$k \cdot \frac{N}{S} \leq \sigma_e$$

k : coefficient de flambement

σ_e : contrainte de limite elastique

pour $\lambda = 27$ $k = 1,028$

$$1,028 \cdot \frac{6284}{98,64} = 65,5 \text{ daN/cm}^2$$

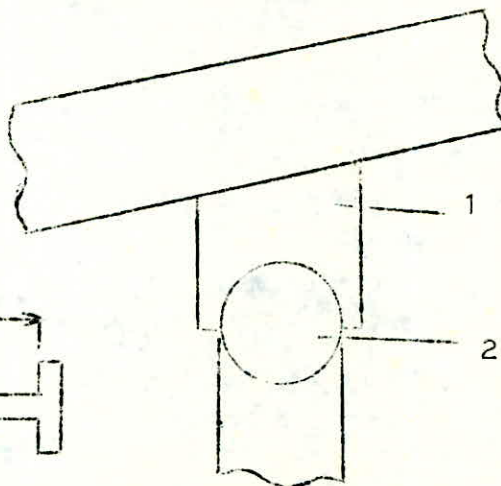
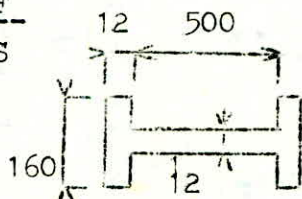
3- Verification de l'element intermediaire entre les pieds et l'elevateur :

resistance des pieces reliant les poutres principales de l'elevateur aux pieds reposant sur le chassis principal du chariot
shema des pieces adoptés :

la piece 1 est sollicité à la compression d'ou la contrainte $\sigma = \frac{F}{S}$

la section adopté

$$S = 98,4 \text{ cm}^2$$



$$F = 6284 \text{ daN} \quad \text{d'où} \quad \sigma = 63,86 \text{ daN/cm}^2$$

la pièce 2 est un tube qu'on a choisit de dimensions identiques aux pieds . La surface de contact entre la pièce 1 et 2 est

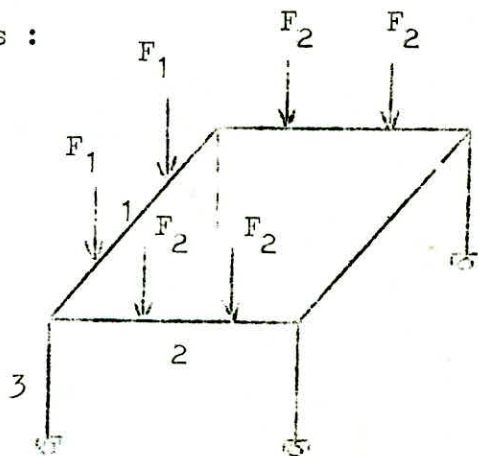
$$S = 61 \text{ cm}^2 \quad \text{d'où la contrainte d'écrasement est}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{6284}{61} = 103 \text{ daN/cm}^2 \leq 2400 \text{ daN/cm}^2$$

IV . CALCUL DE RESISTANCE DU CHASSIS PRINCIPAL .

Pour simplifier l'etude , nous adoptons une construction assez rigide qui nous permettra de faire les calculs , les resultats permettront de conclure s'il y a lieu de faire des modifications ou de faire un autre choix . Les poutres principales pour le chassis du chariot sont choisies en caisson , construction simple rigide et resistente . Les poutres horizontales de meme longueur , sont en caisson de 500.700 mm et de 10 mm d'epaisseur , les poutres verticales ou pieds en 500.500 mm et de 12 mm d'epaisseur . L'equilibre de l'ensemble fleche a été calculé de facon que le centre de masse de l'ensemble soit confondu avec le centre de gravité du chassis , ce qui nous permet de repartir la charge totale sur le chassis en quatre forces egales et symetriques

shema du chassis :



$$F_1 = 6284 \text{ daN}$$

$$F_2 = 17250 \text{ daN}$$

$$q_1 = 184 \text{ KG/ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

F_1 : charge due à l'elevateur

F_2 : charge due à l'ensemble fleche

q_1 : poids des poutres en caisson

l : longueur des poutres horizontales

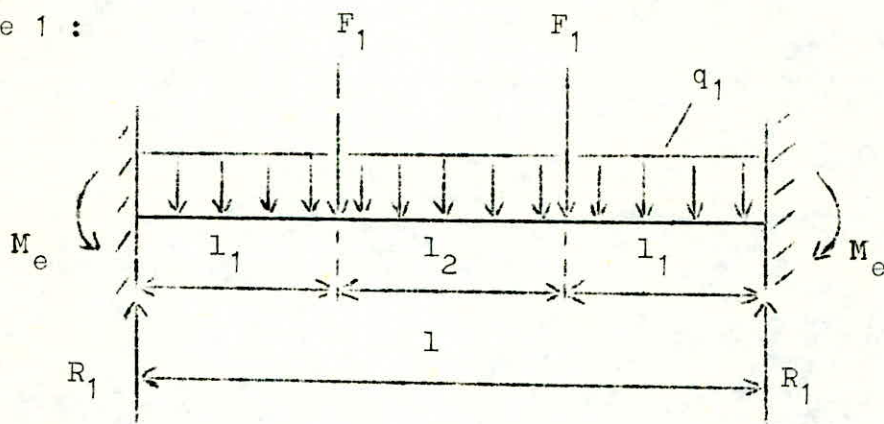
Pour le calcul , nous divisons le systeme en elements simple et nous considerons la poutre 1 , 2 et 3 , la poutre 1 et 2 encastree aux extremités . Pour le calcul des reactions et des moments , nous ecrivons que la rotation du systeme aux points d'encastremets est nulle .

$$\alpha = \int_0^l \frac{1}{E \cdot I} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M^t} \cdot dx = 0$$

$M(x)$: moment le long de
la poutre

M^t : moment d'encastrement
provoquant la rotation

Poutre 1 :

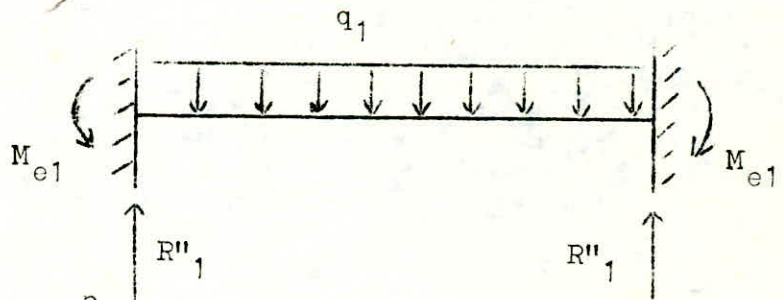


le systeme est symetrique par rapport au milieu de la poutre
d'ou $R_1 = F_1 + \frac{q_1 \cdot l}{2} = 6284 + \frac{184 \cdot 5}{2} = 6744 \text{ daN}$

1^{er} systeme :

$$R''_1 = \frac{q_1 \cdot l}{2} = \frac{184 \cdot 5}{2}$$

$$R''_1 = 460 \text{ daN}$$



$$M(x) = R''_1 \cdot x - M_{e1} - q_1 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$\frac{\partial M(x)}{\partial M_{e1}} = -1$$

$$M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e1}} = M_{e1} + q_1 \cdot \frac{x^2}{2} - R''_1 \cdot x$$

$$\int_0^1 M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e1}} \cdot dx = M_{e1} \cdot x + q_1 \cdot \frac{x^3}{6} - R''_1 \cdot \frac{x^2}{2} \Big|_0^1 = 0$$

$$M_{e1} \cdot 1 + q_1 \cdot \frac{1^3}{6} - R''_1 \cdot \frac{1^2}{2} = 0$$

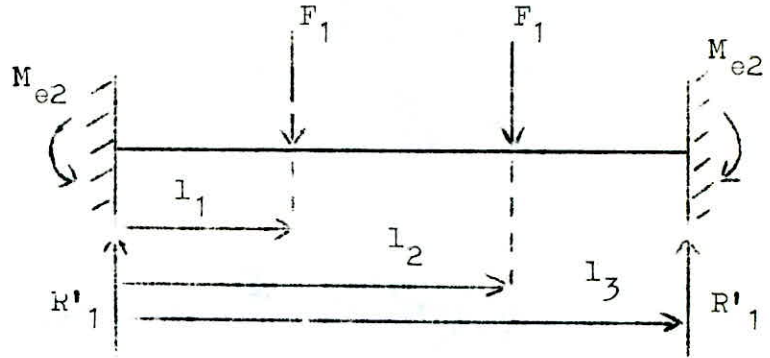
$$\text{d'ou } M_{e1} = R''_1 \cdot \frac{1}{2} - q_1 \cdot \frac{1^2}{6} = 460 \cdot \frac{5}{2} - 184 \cdot \frac{5^2}{6} = 383,33 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

2^{eme} systeme :

$$R'_1 = F_1 = 6284 \text{ daN}$$

$$l_1 = 1,65 \text{ m}$$

$$l_2 = 3,35 \text{ m}, l_3 = 5 \text{ m}$$



$$0 \text{-----} l_1$$

$$M(x) = R'_1 \cdot x - M_{e2}$$

$$\frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} = -1$$

$$M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} = M_{e2} - R'_1 \cdot x$$

$$\int_0^{l_1} M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} \cdot dx = M_{e2} \cdot l_1 - R'_1 \cdot \frac{l_1^2}{2}$$

$$l_1 \text{-----} l_2$$

$$M(x) = R'_1 \cdot x - M_{e2} - F_1 \cdot (x - l_1)$$

$$\frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} = -1$$

$$\int_{l_1}^{l_2} M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} \cdot dx = M_{e2} \cdot (l_2 - l_1) - F_1 \cdot l_1 \cdot (l_2 - l_1)$$

$$l_2 \text{-----} l_3$$

$$M(x) = R'_1 \cdot x - M_{e2} - F_1 \cdot (x - l_1) - F_1 \cdot (x - l_2)$$

$$\frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} = -1$$

$$\int_{l_2}^{l_3} M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} \cdot dx = (M_{e2} \cdot - F_1 \cdot l_1 - F_1 \cdot l_2) \cdot (l_3 - l_2) + \frac{F_1}{2} \cdot (l_3^2 - l_2^2)$$

en écrivant que la rotation au point d'encastrement est nulle

$$\int_{l_1}^{l_2} \frac{M(x)}{E \cdot I} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} \cdot dx + \int_{l_1}^{l_2} \frac{M(x)}{E \cdot I} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} \cdot dx + \int_{l_2}^{l_3} \frac{M(x)}{E \cdot I} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M_{e2}} \cdot dx = 0$$

nous en déduisons la valeur de M_{e2}

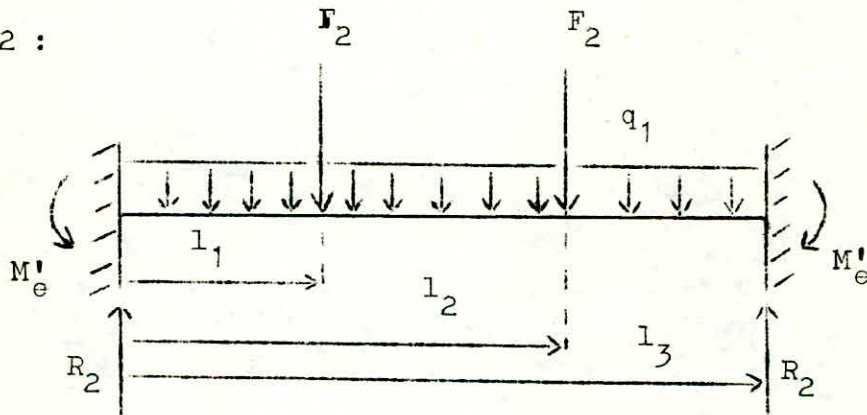
$$M_{e2} = 6946,96 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

en superposant les deux systèmes

$$M_e = M_{e1} + M_{e2} = 383,33 + 6946,96 = 7330,29 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

$$R_1 = R'_1 + R''_1 = 460 + 6284 = 6744 \text{ daN}$$

poutre 2 :



Le calcul est analogue à celui de la poutre 1, nous divisons en deux systèmes que nous superposons ensuite

$$F_2 = 17250 \text{ daN}$$

$$q_1 = 184 \text{ KE/m}$$

$$l_1 = 1,21 \text{ m}$$

$$l_2 = 3,79 \text{ m}$$

$$l_3 = 5 \text{ m}$$

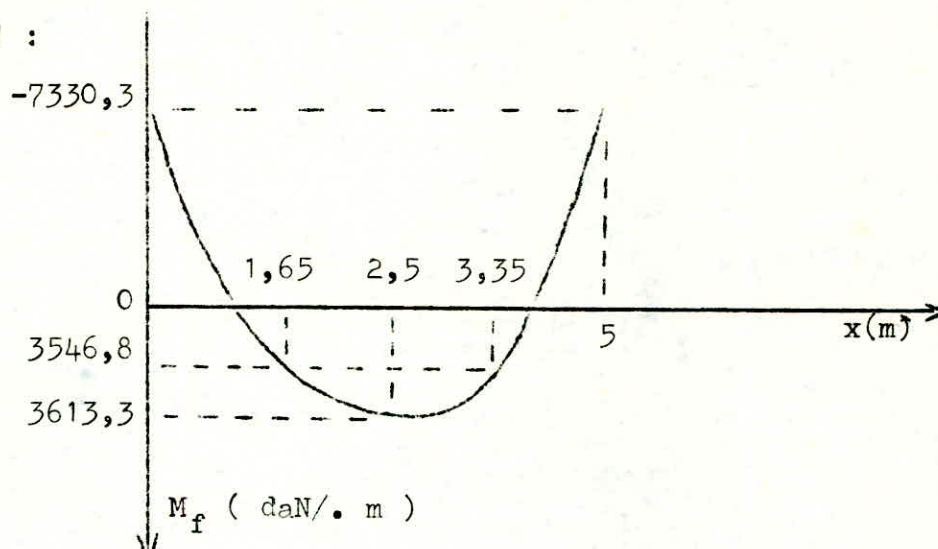
nous obtenons les resultats suivants :

$$M'_e = 16204,68 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

$$R_2 = 17710 \text{ daN}$$

Diagramme des moments :

poutre 1 :



$$\begin{aligned} \sigma_{\text{flexion}} &= \frac{M'_f \cdot \max}{I/v} & I &= 171438,67 \text{ cm}^4 \\ &= \frac{7330,29 \cdot 10^2}{4898,25} & v &= 35 \text{ vcm} \\ &= 149,65 \text{ daN/cm}^2 < 900 \end{aligned}$$

poutre 2 :

pour la poutre 2 , on introduit aux extremités , le moment du à la resistance au mouvement

Charges sur les appuis du portique :

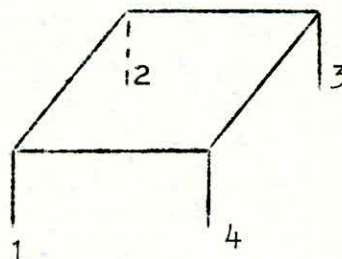
appuis 1 et 2 : 37959,5 daN

appuis 3 et 4 : 22416 daN

resistance au mouvement :

$$\begin{aligned} W_1 &= 37959,5 (0,019 \pm 0,001) \\ &= 759 \text{ daN} \end{aligned}$$

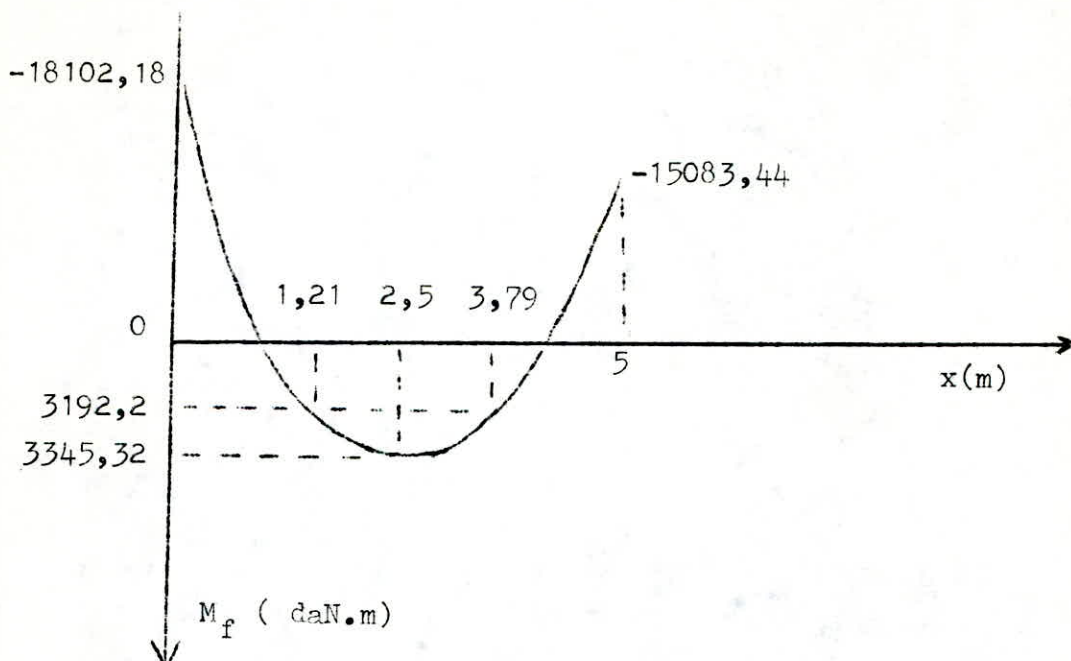
$$W_4 = 22416 (0,019 + 0,001) = 448,5 \text{ daN}$$



moments :

$$M_{W1} = 759 \cdot 2,5 = 1897,5 \text{ daN.m}$$

$$M_{W4} = 448,5 \cdot 2,5 = 1121,25 \text{ daN.m}$$



$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M_f \cdot \max}{I/v} = \frac{18102,18 \cdot 10^2}{4898,25} = 396,56 \text{ daN/cm}^2 < 900$$

Pied 3 :

verification à la flexion et compression

$$\sigma = \frac{R}{S} + \frac{M'_e + M_{W1} + M_e}{I/v}$$

R est la somme des charges
verticales sur la poutre 3

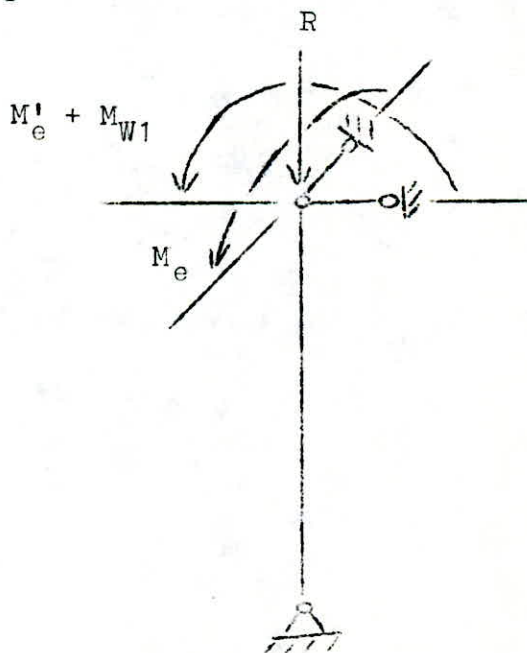
$$R = 17710 + 6744 + 56,57 + 1601$$

$$R = 26112 \text{ daN}$$

$$I = 93027,6 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{I}{v} = 3721,1 \text{ cm}^3$$

$$S = 234,24 \text{ cm}^2$$



$$\sigma = \frac{26112}{234,24} + \frac{(18102,18 + 7330,29) \cdot 10^2}{3721,1} = 794,9 \text{ daN/cm}^2 < 900$$

verification au flambement :

elancement λ

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I}{S}}} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{93027,6}{234,24}}} = 6,52$$

d'ou $k = 1,002$

$$k \frac{N}{S} = 1,002 \cdot \frac{26112}{234,24} = 111,69 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_e = 2400 \text{ daN/cm}^2$$

V . CALCUL DU MECANISME DE TRANSLATION .

1- Poids approximatif de l'ensemble de la machine :

Ensemble fleche	69029 Kg
Elevateur	22602 Kg
Matiere sur elevateur	6653 Kg
Cabine de controle	1500 Kg
Mecanique pour bogie	6500 Kg
Bogie 2 galets	2500 Kg
Bogie 1 galet	500 Kg
Support pour cabine de controle	3000 Kg
Plateforme de commande electrique	6332 Kg
Chassis du chariot	4648 Kg

	123 264 Kg

2- Calcul de la resistance totale au mouvement :

$$W = W_h + W_p \pm W_e$$

W_e : somme des projections horizontales
des forces exterieures (dues à la
bande) en tenant compte de sa
direction

$$W_h = Q \cdot w$$

$$= 123264 \cdot 0,019$$

$$= 2342 \text{ daN}$$

+ / contre le mouvement

$$W_p = Q \cdot \alpha$$

$$= 123264 \cdot 0,001$$

$$= 123,5 \text{ daN}$$

- / dans le sens du mouvement

W_h : resistance due au mouvement sur un
chemin horizontal

$$W_e = T_c + T_1 \cdot \cos 15$$

$$- (T_4 + T_5) \cdot \cos 15$$

Q : poids total de la machine

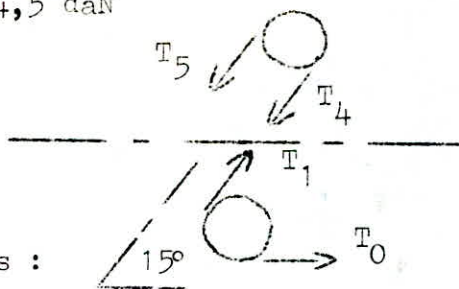
w : coefficient de resistance specifique

W_p : resistance due à la pente du chemin

$$W_e = 6389 + (6315,5 - 6400 - 6335) \cdot \cos 15 = 189 \text{ daN}$$

$$W_{\max} = 2342 + 123,5 + 189 = 2654,5 \text{ daN}$$

$$W_{\min} = 2342 + 123,5 - 189 = \\ = 2276,5 \text{ daN}$$



3- Puissance statique des moteurs :

$$P = \frac{W_{\max} \cdot V_c}{1000 \cdot \eta}$$

$$W_{\max} = 2654,5 \text{ daN}$$

$$V_c = 0,3 \text{ m/s} = 18 \text{ m/mn}$$

pour les calculs preliminaires on adopte $\eta = 0,8$

$$P = \frac{2654,5 \cdot 0,3}{1000 \cdot 0,8} = 9,95 \text{ KW}$$

nous choisissons deux moteurs totalisant 1,5 fois la puissance necessaire

$$P_M = \frac{9,95 \cdot 1,5}{2} = 7,46 \text{ KW}$$

donc deux moteurs de 7,5 KW chacun

vitesse du galet :

$$N_{\epsilon} = \frac{V_c}{\pi \cdot D_{\epsilon}} = \frac{18}{\pi \cdot 0,6} = 9,549 \text{ tr/mn}$$

nous choisissons sur le catalogue BAUER deux moto-reducteurs plats triphasés à engrenages coniques ayant les caracteristiques suivantes

Type : D5AKFG15/379 L

Puissance : 7,5 KW

Vitesse arbre sortie : 9,6 tr/mn

Couple de demarrage = 2,4

Couple nominal

Couple de freinage : 10 Kg.m

Vitesse de rotation moteur : $N_m = 750 \text{ tr/mn}$

Avantages : moteur compacte , montage rapide dans n'importe quelle position , etanche aux poussières et jets d'eau , couple de démarrage élevé .

4- Verification du moment de freinage d'un des moteurs :

$$C = \frac{I_t \cdot N}{375 \cdot t}$$

I_t : moment d'inertie total

N : vitesse de rotation du moteur

t : temps de freinage

$$I_t = \Delta \cdot I_m + I_M$$

$$\Delta = 1,2$$

$$I_m = 0,644 \text{ Kg.m}^2$$

$$I_M = \frac{M' \cdot V_c^2 \cdot \eta}{\omega_m^2}$$

Δ : coefficients exprimants les

d'inertie de tous les autres

elements tournants (autre que le

moteur : $\Delta = 1,01$ à $1,25$

I_m : moment d'inertie du moteur-frein

I_M : moment d'inertie de la masse de

la machine ramenée à un des moteurs

$$M' = 61632 \text{ Kg}$$

$$\omega_m = \frac{750}{30} = 78,54 \text{ rd/s}$$

M' = masse de la machine/2

ω_m : vitesse angulaire du moteur

$$I_M = \frac{61632 \cdot 0,3^2 \cdot 0,8}{78,54^2}$$

$$I_M = 0,719 \text{ Kg.m}^2$$

$$I_t = 1,2 \cdot 0,644 + 0,719 = 1,49 \text{ Kg.m}^2$$

$$t = 2 \text{ s}$$

$$C = \frac{1,49 \cdot 750}{375 \cdot 2} = 1,49 \text{ Kg.m}$$

Le couple de freinage total necessaire pour la machine est

$2 \cdot 1,49 = 2,98 \text{ Kg.m}$, les deux moteurs sont adaptés de facon à avoir le couple de freinage necessaire .

5- Vitesse reelle du galet :

$$V_c = \pi \cdot D_g \cdot N_g = \pi \cdot 0,6 \cdot 9,6 = 18,09 \text{ m/mn} = 0,301 \text{ m/s}$$

verification sur l'erreur permise

$$\Delta_i = 100 \cdot \left| \frac{N_g - N_2}{N_g} \right| = \left| \frac{9,6 - 9,549}{9,549} \right| \times 100 = 0,534 \% < 10 \%$$

6- Verification sur les galets et choix du materiau : (GOST)

ayant choisi des galets de diametre $D = 600$ mm , nous choisissons le rail correspondant KR 70

dimensions :

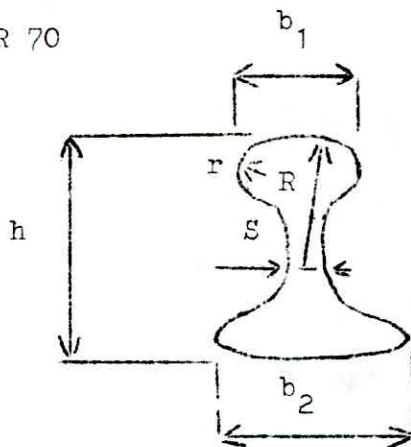
$$R = 400 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$s = 28 \text{ mm}$$

$$b_2 = 120 \text{ mm}$$

$$r = 6 \text{ mm}$$



pour faire le choix du materiau du galet , on doit calculer les contraintes de contact comme suit :

$$\sigma_c = k \cdot \sqrt{\frac{F \cdot E_e^2}{R_{\max}^2}}$$

$$\frac{R_{\text{galet}}}{R_{\text{rail}}} = \frac{300}{400} = 0,75$$

$$\text{d'ou } k = 0,43$$

$$F = k_1 \cdot F_{\max}$$

$$k_1 = 1,4$$

$$F_{\max} = 142765 \text{ N}$$

$$F = 199871 \text{ N}$$

$$E_e = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$$

k : coefficient dependant du rapport des rayons de contact

k_1 : coefficient dependant du regime de fonctionnement , dans notre cas regime IV (tres lourd)

F_{\max} : force maximale chargeant un galet

E_e : module d'elasticite equivalent

E_1 : module d'elasticite du galet

E_2 : module d'elasticite du rail

on choisit le rail et le galet en acier

$$\text{d'ou } E_e = E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

R_{\max} rayon de contact maximal (soit R_E ou R_{rail})

$$R_{\max} = 0,4 \text{ m}$$

$$\sigma_c = 0,43 \cdot \sqrt{\frac{199871 \{2,1 \cdot 10^{11}\}^2}{0,4^2}}$$

$$\sigma_c = 1,636 \cdot 10^9 \text{ Pa} = 1636 \text{ MPa}$$

on choisit l'acier A.50.M donnant une contrainte de contact de 2200 MPa et une dureté $H_B = 350$ à 450

CONCLUSION

L'etude de cette machine , qui etait pour nous inconnue , nous a permis de connaitre des problemes nouveaux qui se posent dans l'industrie . Grace à cette etude , nous nous sommes rendus compte de l'importance de la manutention qui a une place preponderante dans toutes les branches du secteur industriel .

Cette etude de par sa complexite necessite une equipe d'ingenieurs et beaucoup de temps pour sa realisation complete .

Des machines analogues plus complexes existent dans l'industrie et donnant de meilleures performances telle par exemple la machine d'El-hadjar dont la fleche peut subir une rotation et realise ainsi deux tas de part et d'autre , certaines peuvent atteindre 3000 tonnes .

B I B L I O G R A P H I E

- | | | |
|--|--|------|
| C.NACHTERGAL | Aide memoire de resistance des
materiaux | 1966 |
| MIROLIUBOV | Problemes de resistances des materiaux | 1977 |
| F.BERNARD | Elements de construction à l'usage
de l'ingenieur | 1965 |
| I.S.O . 5049 (F) | | 1981 |
| I.S.O . 5048 (F) | | 1979 |
| P.BIAGGI | Les convoyeurs à courroies
caoutchoutées | 1958 |
| Centre technique industriel
de la construction metallique | Regles de calcul des constructions
en acier | 1966 |
| Catalogue BAUER | Moto-reducteur | |

