



VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA PAROI DES GRENIERS EN TERRE DU NORD- OUEST DU BENIN

**Mohamed GIBIGAYE , Clément LABINTAN,
Gérard DEGAN, N'tcha Tranquilin N'TCHA**

*Laboratoire d'Énergetique et de Mécanique Appliquées (LEMA).
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC). 01BP2009
Tél:(00229)21360993/(00229)21360539 Télèx:5010; Fax :
(00229)21360199 gibigaye_mohamed@yahoo.fr*

RESUME

Au Nord-Ouest, le stockage des produits vivriers se fait dans des greniers en terre qui sont des ouvrages composés de deux coupoles paraboloides renversées l'une sur l'autre et appuyés au sol par un socle. Les greniers individuels ont une capacité volumique maximale de 3 m^3 soit 2,4 tonnes de céréales grains et sont construits à base d'un composite d'argile, de paillettes végétales, d'infusion de néré et d'eau. Mais la faible capacité de ces ouvrages oblige les producteurs à brader une grande partie de la récolte. Dans le souci d'augmenter le volume de stockage, les acteurs du secteur ont entrepris de substituer le composite d'argile naturelle par de l'argile améliorée au ciment. Les résultats ont montré qu'au-delà de 9 m^3 , la durée de vie efficace du grenier n'est que d'une saison, contre une durée de vie de 40 à 50 ans dans le cas de la solution originale. Le présent travail a pour but d'étudier la possibilité d'augmenter le volume de stockage du grenier de type Yom sans changer ni sa forme architecturale, ni le composite argile-paillettes végétales-infusion de néré. Nous avons fait l'étude structurale de la paroi du grenier en terre de contenance $7,50 \text{ m}^3$ pour apprécier l'utilisation rationnelle ou non des performances du matériau banco utilisé pour sa confection. Pour ce faire, la paroi du grenier est modélisée comme



une coque mince à double courbure de type Love-Koiter. Le composite utilisé en paroi étant un matériau fragile, l'analyse de l'état de contrainte de la paroi a été faite suivant le critère de résistance des « plus grandes contraintes normales ». Les résultats obtenus nous permettent de dire que l'état de contrainte au point le plus critique de la section dangereuse du grenier, révèle qu'il est en état d'équilibre. Cette conclusion ouvre la voie à l'étude de la possibilité d'augmentation de la capacité volumique des greniers en terre de type Yom qui serviraient de greniers communautaires ou banques de céréales à disposition des coopératives villageoises. Cette solution règlerait le problème d'insuffisance de moyens de stockage.

Mots clés : Grenier en terre, coque mince, élasticité linéaire, état de contraintes, déformations.

ABSTRACT

In the Northwest, the storage of food products is done in clay granaries which are compounds works of two dishes inverted domes on top of one another and supported on the ground by a base. Individual attics have a maximum volume capacity of 3 m³ or 2.4 tonnes of grain cereals and are constructed based on a clay composite, plant flakes, locust bean and brewing water. But the low capacity of these structures requires producers to sell off a large part of the harvest. In order to increase the storage volume, industry players have begun to substitute the composite of natural clay by clay improved cement. The results showed that in addition to 9 m³, the effective life of the attic is only one season, against a lifetime of 40 to 50 years in the case of the original solution. The present work aims to study the possibility of increasing the storage volume Yom type or attic without changing its architectural form nor the vegetable-infusion composite clay-sequin néré. We made the structural study of the attic wall of earth 7.50 m³ capacity to appreciate the rational or not banco performance material used for its making. To do this, the wall of the attic is modeled as a thin shell



with double curvature Love-type Koiter. The composite used in wall being a brittle material, the analysis of the wall stress state was made according to the criterion of resistance "greater normal load". The results allow us to say that the state of stress at the most critical point of the dangerous section of the attic, reveals that it is in balance. This finding opens the way to studying the possibility of increasing the volume capacity of the granaries in Yom type of land that serve as community granaries and grain banks available to village cooperatives. This solution would solve the problem of insufficient storage resources.

Keywords: Attic earth, thin shell, linear elasticity, state of stress, strain.

1. INTRODUCTION

La réduction de moitié de la proportion de population souffrant de faim à l'horizon 2015 reste un défi mondial majeur. Les questions de sécurité alimentaire constituent un sujet d'actualité dans les pays en développement en général, et dans ceux d'Afrique au Sud du Sahara en particulier. Le développement du Bénin exige donc l'assurance de la sécurité alimentaire. Les études ont montré que les difficultés alimentaires du Bénin dépendent moins de l'insuffisance de la production nationale dont le niveau est jugé acceptable, mais plutôt de l'archaïsme et de la précarité du système national de stockage composé majoritairement de greniers familiaux en milieu rural.

Du fait des faibles capacités de stockage individuel des paysans, les surplus de productions vivrières sont bradés à des commerçants peu scrupuleux qui en période de soudure les revendent à des coûts exorbitants aux populations.

Dans le souci de mieux conserver la production agricole en permettant aux paysans de stocker davantage les produits de la récolte, il est proposé d'étudier la possibilité de construction des greniers communautaires, de plus grande capacité de stockage sur la



base des greniers traditionnels, pour résoudre l'insuffisance d'infrastructures de stockage qui constitue une menace à la sécurité alimentaire. À cet effet, il est nécessaire de faire l'étude structurale du grenier en terre existant pour apprécier l'utilisation rationnelle ou non de la capacité portante du matériau banco utilisé pour sa confection.

2. OBJECTIF DE L'ETUDE

La présente étude vise la contribution à l'accroissement du disponible consommable pendant la période de soudure. Il s'agit donc de lutter contre l'insécurité alimentaire en milieu rural par augmentation de la capacité de stockage des greniers en terre. Tout ceci sans changer la conception architecturale traditionnelle existante. L'utilisation optimale du matériau banco en sera un atout. Spécifiquement, il s'agit d'étudier d'un point de vue purement mécanique la paroi d'un grenier en vue de son dimensionnement optimal.

3. SYNTHÈSE ARCHITECTURALE DES GRENIERS

Le bon stockage et la bonne conservation ont pour but de préserver au maximum les qualités originelles des grains et graines. Les greniers sont constitués de deux grandes parties : le socle et le corps du grenier.



Figure 1: Forme générale d'un grenier en terre

Le rapport entre la hauteur des deux coupôles de la superstructure du grenier permet de distinguer les différents types couramment rencontrés. Convenons de désigner par H_i et H_s la hauteur respectivement de la coupole inférieure et supérieure. Nous distinguons les greniers de type :

Monkolé : $H_i = H_s$

Otamari : $H_i = \frac{1}{2} H_s$

Yom : $H_i = 2 H_s$

2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Pour l'étude structurale de la paroi, nous en définissons un modèle géométrique, en la considérant comme une coque mince de type Love-Koiter sous chargement de révolution. La détermination des déplacements, sollicitations, et contraintes est conduite par utilisation de la théorie flexionnelle.

Les contraintes obtenues seront alors comparées aux contraintes de calcul liées aux caractères intrinsèques du matériau avec un coefficient de sécurité de 50 %.

3 MODELISATION DE LA PAROI DE GRENIER

Le grenier est un ouvrage de stockage traditionnel de grains qui a une forme parabolôïde à paroi mince. L'étude de sa structure fait appel à la théorie des coques de révolution.

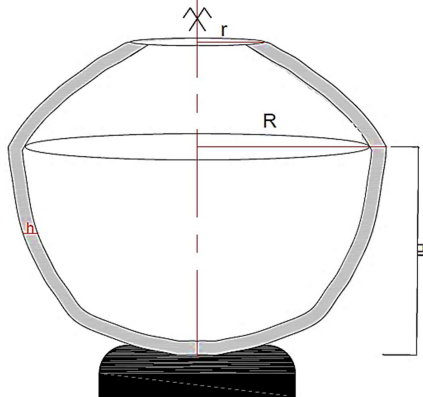


Figure 2: Vue en coupe du modèle

Une coque, c'est une structure d'épaisseur faible à modérée par rapport aux dimensions globales, dont la surface de référence n'est pas plane. Nous considérons donc la paroi du grenier comme une coque mince sous chargement.

4 MODELE DE CALCUL

Le modèle de coque retenu est le modèle bidimensionnel linéaire proposé par W. T. Koiter qui est obtenu par les équations tridimensionnelles de l'élasticité linéaire.



$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_\varphi = \frac{1}{r_\varphi} \left(\frac{du}{d\varphi} - w \right) \\ \varepsilon_\theta = \frac{1}{r_\theta} (u \operatorname{ctg}\varphi - w) \\ \theta_\varphi = \frac{1}{r_\varphi} \left(u + \frac{dw}{d\varphi} \right) \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \psi_\varphi = \frac{1}{r_\varphi} \frac{d\theta_\varphi}{d\varphi} \\ \psi_\theta = \frac{\theta_\varphi}{r_\theta} \operatorname{ctg}\varphi \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{d\varphi} (N_\varphi r) - N_\theta r_\varphi \cos \varphi - V_\varphi r + p_\varphi r r_\varphi = 0 \\ N_\varphi r + N_\theta r_\varphi \sin \varphi + \frac{d}{d\varphi} (V_\varphi r) + p_z r r_\varphi = 0 \\ \frac{d}{d\varphi} (M_\varphi r) - M_\theta r_\varphi \cos \varphi - V_\varphi r r_\varphi = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_\varphi = C (\varepsilon_\varphi - \nu \varepsilon_\theta) \\ N_\theta = C (\varepsilon_\theta - \nu \varepsilon_\varphi) \\ M_\varphi = -D (\psi_\varphi + \nu \psi_\theta) \\ M_\theta = -D (\psi_\theta + \nu \psi_\varphi) \end{array} \right.$$

$$\text{avec } \left\{ \begin{array}{l} C = \frac{E.t}{1-\nu^2} \quad \text{Rigidité extensionnelle} \\ D = \frac{E.t^3}{12(1-\nu^2)} \quad \text{Rigidité flexionnelle} \end{array} \right.$$

L'analyse combinée de la cinématique (**Equation** et), et de l'équilibre statique (**Equation**) de la paroi avec application de la loi constitutive (**Equation**) nous conduit à terme, et après élimination de toutes les autres inconnues à l'exception des inconnues déplacements u et w , à un système d'équation différentielle d'équilibre (**Equation**) fonction desdits déplacements



$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 \frac{d^3 w}{d\varphi^3} + a_2 \frac{d^2 w}{d\varphi^2} + a_3 \frac{d^2 u}{d\varphi^2} + a_4 \frac{dw}{d\varphi} + a_5 \frac{du}{d\varphi} + a_6 w + a_7 u + a_8 = 0 \\ b_1 \frac{d^4 w}{d\varphi^4} + b_2 \frac{d^3 w}{d\varphi^3} + b_3 \frac{d^3 u}{d\varphi^3} + b_4 \frac{d^2 w}{d\varphi^2} + b_5 \frac{d^2 u}{d\varphi^2} + b_6 \frac{dw}{d\varphi} + b_7 \frac{du}{d\varphi} + b_8 w + b_9 u + b_{10} = 0 \end{array} \right.$$

Avec

$$\begin{aligned} a_1 &= D \frac{r}{r_\varphi^3} & a_2 &= D \left(-\frac{3r}{r_\varphi^4} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \frac{\cos \varphi}{r_\varphi^2} \right) \\ & & & ; \\ a_3 &= D \left[-\frac{\cos \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \frac{3r}{r_\varphi^5} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^2 - \frac{r}{r_\varphi^4} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} - \frac{v \sin \varphi}{r_\varphi^2} - \frac{\cos^2 \varphi}{r r_\varphi} \right] + C \left(-\frac{r}{r_\varphi} - v \sin \varphi \right) \\ & \dots \\ a_5 &= D \frac{r}{r_\varphi^3} + C \frac{r}{r_\varphi} & & ; \\ a_6 &= D \left(-\frac{3r}{r_\varphi^4} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \frac{\cos \varphi}{r_\varphi^2} \right) + C \left(-\frac{r}{r_\varphi^2} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \cos \varphi \right) \\ a_7 &= D \left[-\frac{\cos \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \frac{3r}{r_\varphi^5} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^2 - \frac{r}{r_\varphi^4} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} - \frac{v \sin \varphi}{r_\varphi^2} - \frac{\cos^2 \varphi}{r r_\varphi} \right] + C \left(-\frac{r_\varphi \cos^2 \varphi}{r} - v \sin \varphi \right) \\ & ; \quad a_8 = P_\varphi r r_\varphi \\ b_1 &= D \left(-\frac{r}{r_\varphi^3} \right) & b_2 &= D \left(\frac{6r}{r_\varphi^4} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{2 \cos \varphi}{r_\varphi^2} \right) \\ & & & ; \\ b_3 &= D \left(-\frac{r}{r_\varphi^3} \right) \end{aligned}$$



$$b_4 = D \left[\frac{6 \cos \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{15r}{r_\varphi^5} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^2 + \frac{4r}{r_\varphi^4} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} + \frac{\cos^2 \varphi}{rr_\varphi} + \frac{\sin \varphi}{r_\varphi^2} + \frac{\nu \sin \varphi}{r_\varphi^2} \right]$$

$$b_5 = D \left(\frac{6r}{r_\varphi^4} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{2 \cos \varphi}{r_\varphi^2} \right)$$

;

$$b_6 = -\frac{\sin \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{6 \cos \varphi}{r_\varphi^4} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^2 + \frac{2 \cos \varphi}{r_\varphi^3} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} + \frac{15r}{r_\varphi^6} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^3 - \frac{10r}{r_\varphi^5} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2}$$

$$+ \frac{r}{r_\varphi^4} \frac{d^3 r_\varphi}{d\varphi^3} - \frac{\sin 2\varphi}{rr_\varphi} - \frac{\cos^3 \varphi}{r^2} - \frac{\cos^2 \varphi}{rr_\varphi^2} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{2\nu \sin \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \frac{\nu \cos \varphi}{r_\varphi^2}$$

$$b_7 = D \left[\frac{6 \cos \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{15r}{r_\varphi^5} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^2 + \frac{4r}{r_\varphi^4} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} + \frac{\cos^2 \varphi}{rr_\varphi} + \frac{\sin \varphi}{r_\varphi^2} + \frac{\nu \sin \varphi}{r_\varphi^2} \right] + C \left(\frac{r}{r_\varphi} + \nu \sin \varphi \right)$$

$$b_8 = C \left(-\frac{r}{r_\varphi} - 2\nu \sin \varphi - \frac{r_\varphi \sin^2 \varphi}{r} \right)$$

$$b_9 = \left[-\frac{\sin \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{6 \cos \varphi}{r_\varphi^4} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^2 + \frac{2 \cos \varphi}{r_\varphi^3} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} + \frac{15r}{r_\varphi^6} \left(\frac{dr_\varphi}{d\varphi} \right)^3 - \frac{10r}{r_\varphi^5} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} \frac{d^2 r_\varphi}{d\varphi^2} \right.$$

$$\left. + \frac{r}{r_\varphi^4} \frac{d^3 r_\varphi}{d\varphi^3} - \frac{\sin 2\varphi}{rr_\varphi} - \frac{\cos^3 \varphi}{r^2} - \frac{\cos^2 \varphi}{r_\varphi^2} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} - \frac{2\nu \sin \varphi}{r_\varphi^3} \frac{dr_\varphi}{d\varphi} + \frac{\nu \cos \varphi}{r_\varphi^2} \right] + C \left(\nu \cos \varphi + \frac{1}{2} \frac{r_\varphi \sin 2\varphi}{r} \right)$$

$$b_{10} = P_z r r_\varphi$$

L'ordre de grandeur du déplacement dans la direction méridienne u étant très petit, devant la déflexion, suivant le chargement appliqué, convenons d'éliminer les dérivés d'ordre supérieur à 2 de u . on obtient alors le système suivant :



$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 \frac{d^3 w}{d\varphi^3} + a_2 \frac{d^2 w}{d\varphi^2} + a_3 \frac{d^2 u}{d\varphi^2} + a_4 \frac{dw}{d\varphi} + a_5 \frac{du}{d\varphi} + a_6 w + a_7 u + a_8 = 0 \\ b_1 \frac{d^4 w}{d\varphi^4} + b_2 \frac{d^3 w}{d\varphi^3} + b_4 \frac{d^2 w}{d\varphi^2} + b_5 \frac{d^2 u}{d\varphi^2} + b_6 \frac{dw}{d\varphi} + b_7 \frac{du}{d\varphi} + b_8 w + b_9 u + b_{10} = 0 \end{array} \right.$$

4.1.1 Conditions aux limites

Fond du réservoir encasturé
Bord supérieur encasturé

$$\varphi = \varphi_{\min} = 0 \Rightarrow \begin{cases} u(\varphi) = 0 \\ w(\varphi) = w'(\varphi) = 0 \end{cases}$$

$$\varphi = \varphi_{\max} = \arctan\left(\frac{2 \times b}{a}\right) \Rightarrow u(\varphi) = w(\varphi) = w'(\varphi) = 0$$

4.1.2 Modélisation des charges appliquées

4.1.1.1 Coupole supérieure

La coupole supérieure exerce une contrainte par mètre linéaire de parement sur la coupole inférieure (**Figure 6 . 1**).

Si nous désignons par Γ_{ap} le poids volumique du banco, cette contrainte peut être calculée par :

$$F = \Gamma_{ap} \left(\frac{b^2}{4} + a^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

4.1.1.2 Coupole inférieure

Soit P_{paroi} la pression exercée par mètre linéaire de parement par la partie de la coupole inférieure se situant au-dessus d'une position quelconque z sur celle située en dessous (**Figure 6 . 1**).

$$P_{\text{paroi}} = \Gamma_{\text{ap}} \frac{a^2}{2b} \int_{\varphi}^{\varphi_{\text{max}}} \frac{1}{\cos^3 x} dx$$

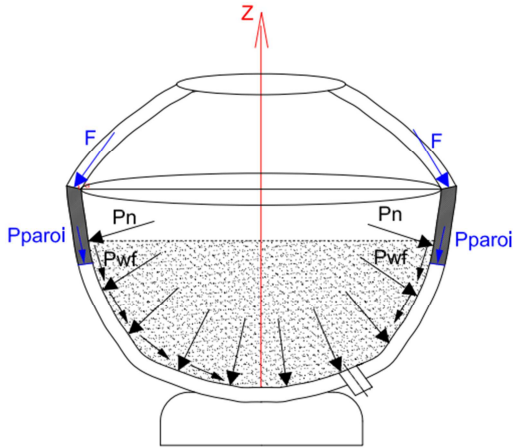


Figure 3 : Effet de pression des coupôles et Pressions exercées par la matière ensilée

4.1.2 Actions des matériaux granulaires sur la paroi du grenier[1]

Les expressions de ces actions selon l'EUROCODE 1 sont (Figure 6 . 1):

$$P_n = \gamma \frac{1}{\mu} \frac{r}{2} \left[1 - \left(2K\mu \frac{z}{r} + 1 \right)^{-(1+\tan \varphi_r)} \right]$$

$$P_{wf} = \gamma \frac{r}{2} \left[1 - \left(2K\mu \frac{z}{r} + 1 \right)^{-(1+\tan \varphi_r)} \right]$$



D'EQUATION

Pour la résolution de ce système d'équation différentielle, nous avons recours à une méthode numérique de résolution d'équations différentielles. *Le matériau de la coque est supposé continu. Le milieu environnant est aussi supposé continu et homogène. Par conséquent, nous pouvons dire que les déplacements subis par la coque sont aussi continus et ne sont pas infinis.* Nous nous proposons d'utiliser la **méthode des Tirs** pour la résolution de ce système d'équation différentielle avec conditions aux limites aux deux bornes.

Posons :

$$\begin{cases} u_1 = u \\ u_2 = u' \end{cases} \text{ et } \begin{cases} w_1 = w \\ w_2 = w' \\ w_3 = w'' \\ w_4 = w^{(3)} \end{cases}$$

Le système d'équations est transformé en système d'équations différentielles d'ordre 1 et devient :

$$\begin{cases} u_1' = u_2 \\ u_2' = \frac{-1}{a_3}(a_1 w_4 + a_2 w_3 + a_4 w_2 + a_5 u_2 + a_6 w_1 + a_7 u_1 + a_8) \\ w_1' = w_2 \\ w_2' = w_3 \\ w_3' = w_4 \\ w_4' = \frac{-1}{a_4 a_3} \left[(b_2 a_3 - b_5 a_1) w_4 + (b_4 a_3 - b_5 a_2) w_3 + (b_6 a_3 - b_5 a_4) w_2 + (b_8 a_3 - b_5 a_6) w_1 \right. \\ \left. + (b_7 a_3 - b_5 a_5) u_2 + (b_9 a_3 - b_5 a_7) u_1 + (b_{10} a_3 - b_5 a_8) \right] \end{cases}$$

Avec les conditions aux limites:



$$\left\{ \begin{array}{l} u_1(0) = 0 \\ w_1(0) = 0 \\ w_2(0) = 0 \end{array} \right. \text{ et } \left\{ \begin{array}{l} u_1(\varphi_{\max}) = 0 \\ w_1(\varphi_{\max}) = 0 \\ w_2(\varphi_{\max}) = 0 \end{array} \right.$$

L'algorithme de résolution est implémenté dans Mathcad.

6 ETUDE DE CAS

Nous appliquons le modèle analytique élaboré à un grenier type proposé par l'Institut National de Recherche Agronomique du Bénin (INRAB) [2] à travers un calcul sous charge de type silos de la paroi du grenier en vue de sa justification mécanique. Les caractéristiques géométriques du grenier et les caractéristiques des grains seront entrées au programme de résolution du système d'équations différentielles.

6.1 Caractéristiques géométriques du grenier

- Hauteur de la coupole inférieure $H_i = 2,00\text{m}$;
- Epaisseur de la paroi : $h = 10\text{ cm}$
- Rayon central : $R = 1,55\text{ m}$
- Rayon supérieur d'ouverture du grenier $r = 0,35\text{ m}$
- Volume de la coupole inférieure : $7,54\text{ m}^3$

6.2 Caractéristiques physiques des grains

Les valeurs prises sont celles fournies par l'Eurocode 1 [2] pour le maïs.

- Angle de frottement interne : $\varphi_i = 31^\circ$;
- Angle de talus naturel moyen des grains $\varphi_r = 35^\circ$;
- Valeur caractéristique du coefficient de frottement

sur une paroi : $\mu=0.53$;

- Cohésion $C=0$;
- Valeur caractéristique du coefficient de poussée latérale : $K=0.53$;
- Poids apparent moyen des grains : $\gamma_g=8 \text{ kN/m}^3$.

6.3 Déplacement de la paroi du grenier

Introduisons les paramètres liés à la géométrie de la coque et aux grains dans le programme de résolution du système d'équation différentielle. Nous obtenons les tracés suivant :

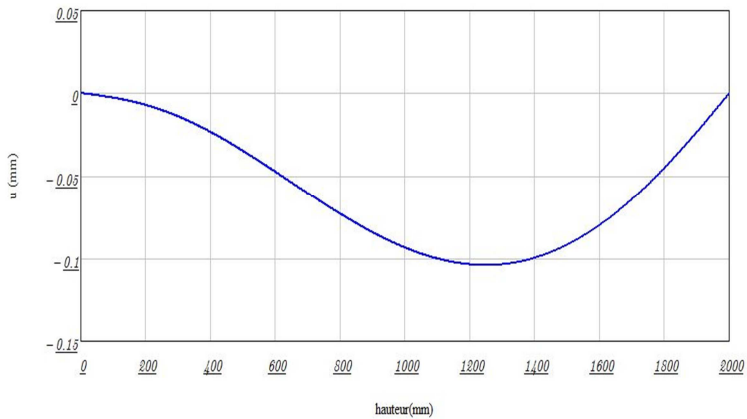


Figure 4 : Déplacements dans la direction méridienne sous charges de type silo

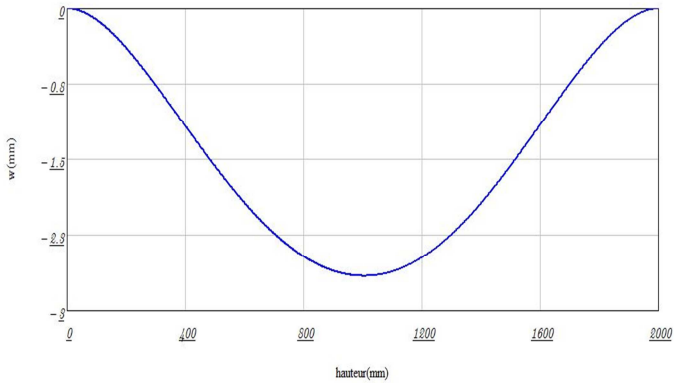


Figure 5 : Déplacements dans la direction normale sous charges de type silo

6.4 Formulation des sollicitations

Connaissant les expressions des déplacements, nous pouvons déduire celles des sollicitations. Nous avons les épures des sollicitations

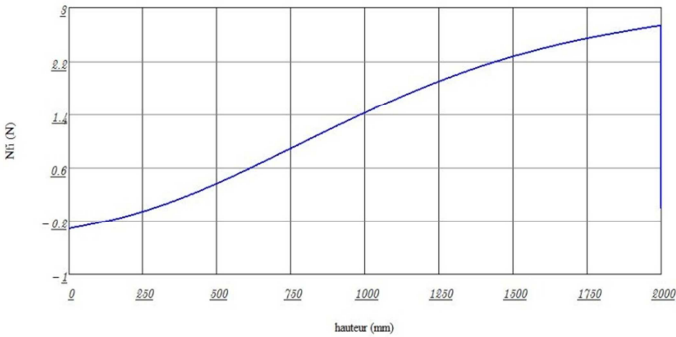


Figure 6 : Efforts normaux N_{ϕ} sous charges de type silo

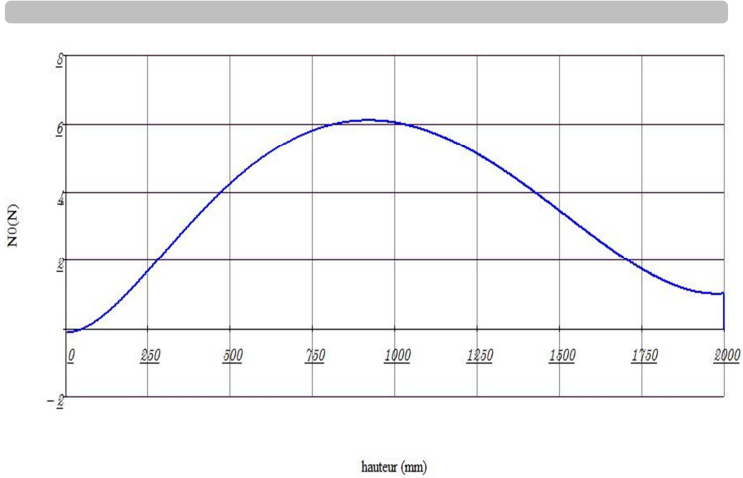


Figure 7 : Efforts normaux N_0 sous charges de type silo

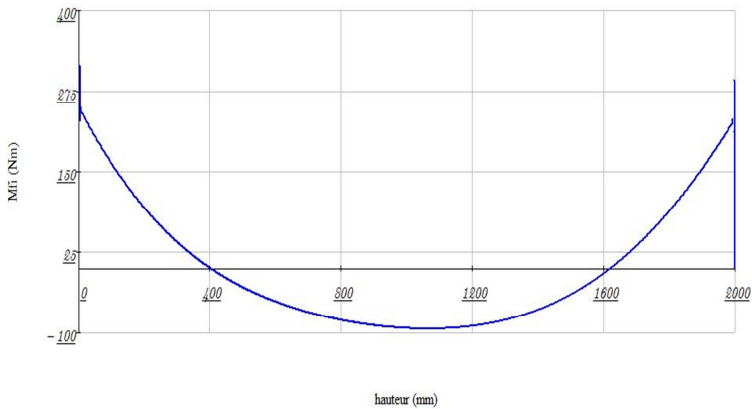


Figure 8 : Moments fléchissants M_{φ} (N.mm) sous charges de type silo

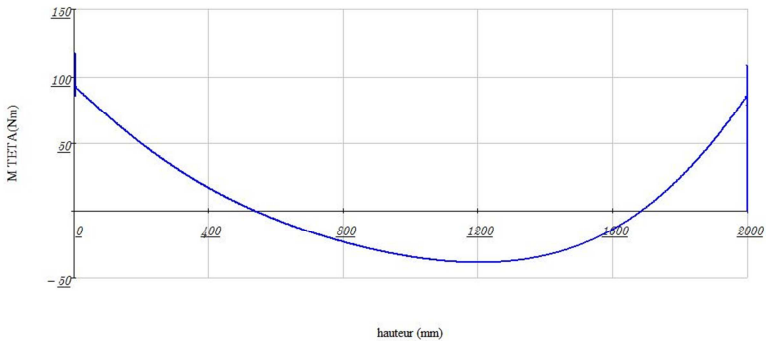


Figure 9 : Moments fléchissants M_θ (N.mm) sous charges de type silo

Les valeurs maximales des moments fléchissants sont obtenues au fond du grenier (à l'encastrement où le chargement est maximal).

$$M_{\phi\max} = 316,623 \text{ N.mm et } M_{\theta\max} = 117,397 \text{ N.mm}$$

6.5 Formulation des contraintes

Les épures des contraintes dans la section critique sont les suivantes :

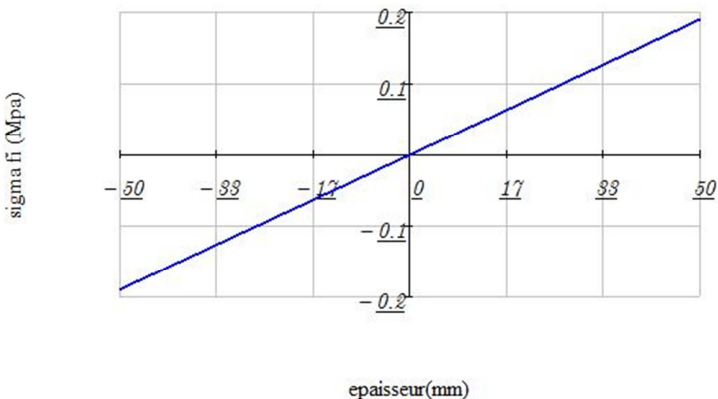


Figure 10 : Epures des contraintes σ_ϕ (MPa) dans la section critique

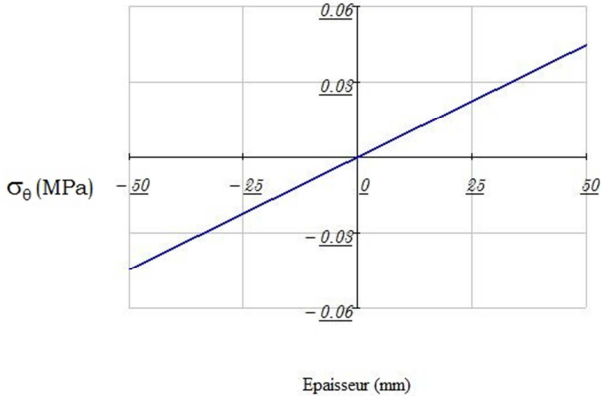


Figure 11 : Epures des contraintes σ_θ (MPa) dans la section critique.

Les valeurs maximales sont obtenues au niveau des fibres extrêmes

$$\sigma_{\varphi_{\max}} = 0,19 \text{ MPa} \text{ et } \sigma_{\theta_{\max}} = 0,053 \text{ MPa}$$

6.6 Rappel des capacités intrinsèques du matériau

Les contraintes admissibles obtenues sur le matériau « banco » sont les suivantes :

- En compression : 2,801 MPa
- En traction (par fendage) : 0,491 MPa

Les contraintes de calcul sont déterminées en appliquant un coefficient de sécurité réducteur de 50 % sur les valeurs des résistances obtenues expérimentalement. Nous avons donc :

- En compression : $\sigma_{c_{\text{cal}}} = 1,4 \text{ MPa}$

- En traction : $\sigma_{t_{\text{cal}}} = 0,245 \text{ MPa}$

Nous remarquons que

$$S_{t_{\text{cal}}} \leq S_{c_{\text{cal}}}$$

Pour des raisons de sécurité nous utiliserons la plus faible valeur des deux (02) contraintes pour les calculs ultérieurs.

6.7 Résistivité des parois du grenier communautaire

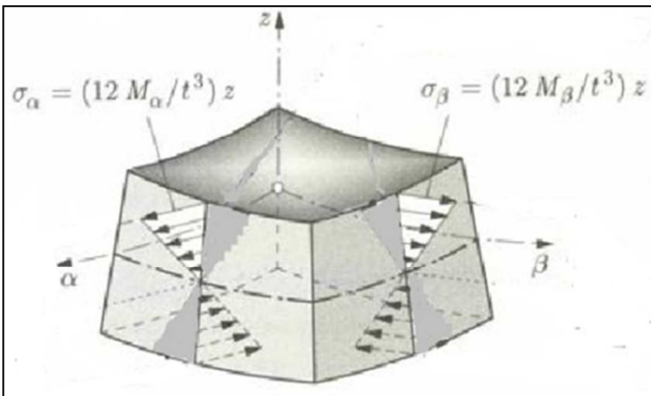
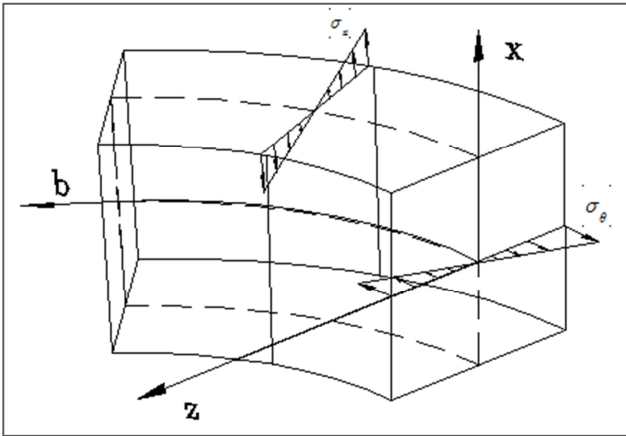


Figure 12 : Épure des contraintes dans le sens des deux courbures



L'appréciation de la résistance de la paroi se fera conformément au critère des plus grandes contraintes normales (**1^{ère} théorie de résistance**).

6.7.1 Dans le plan parallèle

La distribution des contraintes normales nous donne une valeur maximale σ_{θ} à $x= 50 \text{ mm}$ qui est de $0,053 \text{ MPa}$. Cette valeur est inférieure à la contrainte de calcul en traction du matériau qui est de 0.245 MPa .

6.7.2 Dans le plan méridien

La distribution des contraintes normales nous donne une valeur maximale σ_j à $x=50 \text{ mm}$ qui est de $0,19 \text{ MPa}$. Cette valeur est inférieure à la contrainte de calcul en traction du matériau qui est de $0,245 \text{ MPa}$.

Dans les deux directions, en compression qu'en traction les valeurs maximales de contraintes sont largement inférieures aux contraintes de calcul, nous concluons d'un équilibre surabondant.

7 DETERMINATION DE NOUVELLES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

Notre objectif étant d'augmenter la capacité de stockage des greniers en terre en optimisant la sollicitation du matériau, nous proposons de redimensionner le grenier.

Nous retenons les caractéristiques géométriques suivantes pour le grenier:

- Hauteur de la coupole inférieure **Hi = 2,5 m** ;
- Hauteur de la coupole supérieure **Hs = 1,25 m** ;
- Épaisseur de la paroi : **h = 0,10 m** ;
- Rayon central : **R = 2,00 m** ;
- Rayon supérieur d'ouverture du grenier **r = 0,35 m** (pour permettre à un bonhomme de pouvoir pénétrer dans le



grenier à l'aide d'une échelle)

- Volume de la coupole inférieure : $V = 15,70 \text{ m}^3$

Le redimensionnement nous donne un nouveau grenier communautaire dont la coupole inférieure contenant les grains a une contenance de $15,70 \text{ m}^3$ alors que le premier grenier communautaire proposé avait une contenance de $7,54 \text{ m}^3$. Nous obtenons donc un accroissement de volume de **108,22 %** par rapport au premier grenier communautaire.

8 CONCLUSION

Il résulte de nos travaux que dans l'état actuel, le banco, matériau de confection des greniers est sous-exploité et qu'on peut s'investir dans la construction des greniers communautaire de grande capacité de stockage servant de banque de céréales, pour résoudre partiellement les problèmes liés à la sécurité alimentaire en permettant aux paysans un meilleur stockage des produits de la récoltes et d'éviter le bradage.

9 REFERENCES

1. **Janin Pierre.** *La vulnérabilité alimentaire des Sahéliens.* 2008.
2. **Banque Mondiale.** Bénin-Présentation. [Enligne] Septembre 2013.[Citation : 13 Mai 2014.] <http://www.worldbank.org>.
3. **Programme Alimentaire Mondial, Service de l'Analyse de la Sécurité Alimentaire (VAM).** *Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la sécurité Alimentaire (AGVSA) République du Bénin, Janvier 2014.*
4. **Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la pêche.** *Rapport analyse de l'insécurité alimentaire et des inégalités d'accès à l'alimentation au Bénin.* 2010.
5. **Programme Alimentaire Mondial, UNICEF, FAO.** *Analyse Global de la vulnérabilité de la sécurité alimentaire et de la Nutrition.* République du Bénin : s.n., 2008.



6. **République du Bénin.** *Stratégie de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté 2011-2015.* Mars 2011.
7. **CEEMAT.** *Conservation des grains en régions chaudes.* [éd.] 2ème édition. Paris : Eyrolles, 1988.
8. **TYLER, COMPTON.** *Reducing losses in small farm grain storage in the tropics.* 1993.
9. **FAO.** *Systèmes de stockage Décentralisés.* République du Bénin: s.n., 1996.
10. **Bell A. & Mück, O.,** *L'analyse des systèmes post-récolte: le concept de la GTZ.* 1997.
11. **DOHA Éric.** *Déplacement dans une paroi de grenier de stockage de grains.* Abomey-Calavi: s.n. 2007.
12. **AMBARKA, Issakou.** *Caractéristiques physico-mécaniques du matériau banco et vérification de la résistance portante mécanique des greniers en terre dans le nord Bénin.* 2010.
13. **LABINTAN Clément.** *Déformation, sollicitations et contraintes dans une paroi de grenier de stockage de céréales du Nord-Bénin.* Abomey-Calavi: s.n., 2012. Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception en Génie Civil.
14. **Adégbola P.** *Analyse des facteurs affectant l'adoption des greniers améliorés,* P., .:s.n., 2002.
15. **Arouna A., Adégbola P.Y et Biaou G.** Aspects économiques du stockage et de la conservation du maïs au sud-Bénin: analyse des coûts. *Bulletin de la recherche agronomique du Bénin-Numéro spécial 2.* Septembre 2011.
16. **MABOUDOU Guirguissou A.** *adoption et diffusion de technologies améliorées de stockage en milieu paysan dans le centre et le nord du Bénin.* Lomé : ul, novembre 2003.
17. **KOITERW. T.** *General equations of elastic stability for thin shells. Proc. Symp. On the theory of shells to honor Loyd Hamilton Donnel.* Univ. Houston: s.n. 1967. pp.87- 227.
18. **BLIGHT G. E. et GOHNERT M.** *Effects of varying horizontal pressure in cylindrical silo. Powderhandling and processing.* November 1993. Vol. 5-4.
19. **JANSSEN, H.A.** *Versuche über Getreide druck in Silo*



-
- zellen*. Août 1895. pp. 1045-1049.
20. **REIMBERT, M.** *Recherches nouvelles sur les efforts exercés par les matières ensilées sur les parois des silos.* s. l. Annales I.T.B.T.P., Mai 1993.