

## Analyse analytique et numérique du système calage du bandage four cimenterie.

<sup>a\*</sup>S.EL FAKKOUSI,<sup>b</sup>H. MOUSTABCHIR,<sup>a</sup>A.ELKHALFI.

<sup>a</sup> Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Maroc. Email :aelkhalfi@gmail.com

<sup>b</sup> Faculté des Sciences et Techniques Errachidia, Maroc. Email :hmoustabchir@hotmail.com

### Résumé :

Le four à ciment rotatif est considéré comme le cœur de la fabrication du ciment, dans toute usine de ciment largement utilisée pour convertir la matière première en clinker. Pour obtenir un produit de clinker avec la qualité souhaitée, il est noté d'étudier et d'analyser la conception paramètres du four. Le présent travail a pour objectif l'étude de la tenue mécanique du système de calage du bandage four rotatif pour la cimenterie. Cette étude entre dans le cadre des travaux de la maintenance préventive des fours. Il sera question d'effectuer une analyse de la distribution des contraintes mécaniques et thermiques sur la surface de la cale pendant le cycle de travail en utilisant à la fois la théorie de la mécanique et la simulation par éléments finis utilisant le logiciel ANSYS. Les résultats obtenus par la MEF sont comparés à ceux obtenus par les calculs théoriques.

Mots-clés : four rotatif, maintenance préventive, bandage, virole, simulation numérique, ANSYS.

### 1. Introduction

Généralement, le four se compose d'un ensemble de tubes en acier formant une entité nommée virole qui englobe une paroi en isolation faite en matériaux réfractaires. L'ensemble est entraîné en rotation grâce à trois bandages comme on le voit sur la **figure 1**.



Figure 1 : four rotatif

Le four, bien qu'il paraisse grand et solide, ne peut pas tolérer de défauts. Plus un four est grand, moins il tolère de défauts. Tout élément se trouvant entre le bandage et la virole est susceptible d'être endommagé à cause de la dilatation thermique des éléments (virole bandage), mais aussi à cause de leur poids.

En effet, la rotation du bandage cause son usure, mais aussi celle des cales et des cerces latérales (**figure 2**). Et quand l'usure des cales devient trop importante, la virole risque de s'ovaliser ce qui provoque une perte des briques [1]. Les cales sont distribuées uniformément autour de la virole et servent à tenir le bandage dans une trajectoire fixe de rotation autour du four. Elles doivent, cependant, assurer un jeu fonctionnel de 11 mm au-dessus duquel les dilatations thermiques peuvent engendrer des déformations permanentes.



Figure 2 : bandage et système de calage.

Tenant des faits, le bandage comporte, actuellement, une fissure transversale qui tient presque des deux extrémités du bandage. Les cales, quant à elles, ont tendance à se détacher de la virole et à déstabiliser la rotation du bandage. Ainsi, les dimensions des cales, leur mode de fixation et leur matériau composant doivent être étudiés avec précaution afin d'éviter la déformation de la virole ou du bandage ou, pire, leur rupture.

### 2. Caractéristiques géométriques et mécaniques

#### 2.1 Géométrie

La géométrie du four est représentée par la **figure 3** de longueur 63 mètre et de diamètre intérieure 4 mètre.

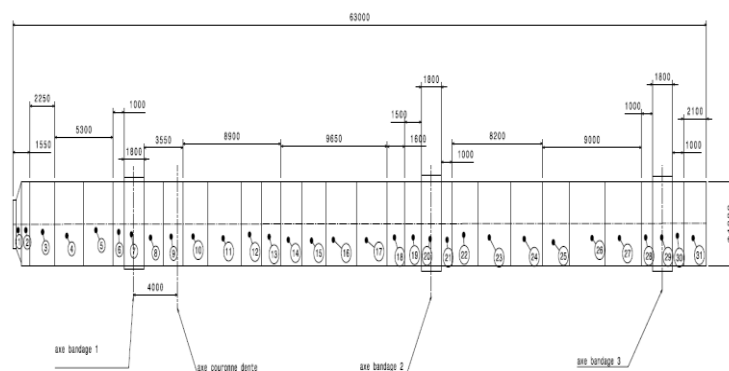


Figure 3 : schéma simplifié du four

La géométrie de la cale est représentée par la **figure 4**.

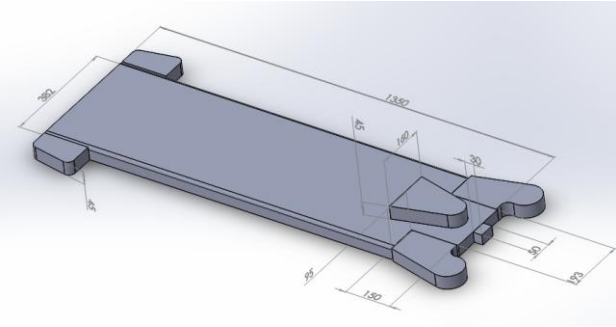


Figure 4 : les dimensions de la cale

## 2.2 Matériaux

La cale constituée d'un matériau A42CP [2] dont les caractéristiques sont données par le tableau suivant :

Propriétés du matériau	valeurs
Module d'Young	210000MPa
Coefficient du Poisson	0.3
Limite élastique	250 MPa
Charge de rupture	420 MPa
Masse volumique	7850 kg/m <sup>3</sup>

tab1 : Caractéristiques mécanique de l'acier A42CP

Pour déterminer la force appliquée sur la cale, il faut calculer les forces de réaction au niveau des appuis en utilisant la formule suivante [3] :

$$Q = \frac{F_9}{2 \cdot \cos 30^\circ}$$

Q et F9 sont respectivement la force appliquée sur la cale et la force de réaction dans appui 2 du four.

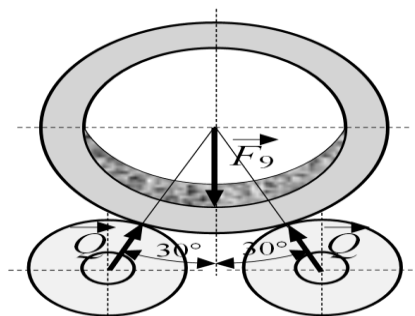


Figure 5 : Stations à rouleaux (galets) avec réactions.

## 3. Simulation numérique par MEF

La vérification des résultats obtenus par le calcul théorique est une phase importante et nécessaire pour ces derniers. D'où l'importance des simulateurs numériques qui sont de plus en plus puissantes avec la révolution

technologique des processeurs et logiciels de simulation. nous allons faire une vérification sous ANSYS afin de détecter les modifications nécessaires pour garantir le bon fonctionnement de ce système de calage, d'analyser et voir la concentration des contraintes sur les parties les plus sollicitées.

La **figure 6** montre le modèle élément fini adopté pour la résolution du problème.

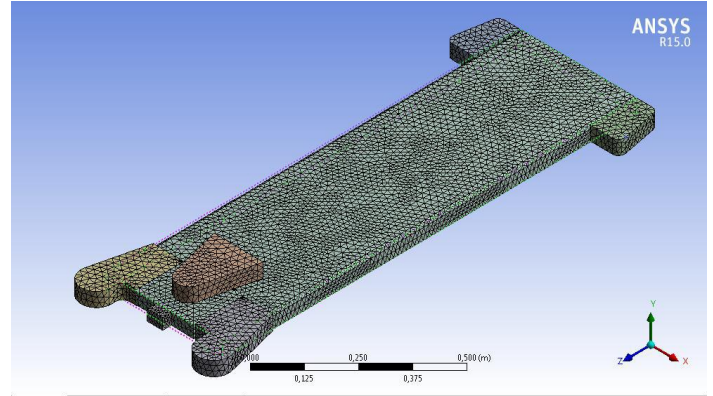


Figure 6: le maillage de la cale

## 4. Résultats

D'après avoir effectué un calcul mécanique et thermique pour déterminer les forces appliquées sur les cales (figure7), nous trouvons les résultats suivants :

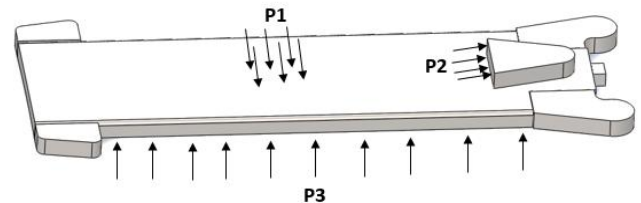


Figure 7 : les forces appliquées sur la cale.

- La contrainte appliquée sur la surface extérieure de la cale, sa valeur égale P1= 10.0714 MPa.
- La pesée du bandage appliquée une force axiale sur l'aile supérieure de la cale génère une contrainte égale P2=1.11 MPa.
- La cale est en contact avec l'air de température de 25 C° et soudée sur la virole de température de 300 C°. La différence de température générée une contrainte thermique qui égale P3=173.25 MPa.

$$\sigma_{max} < R_e \text{ Avec :}$$

$\sigma_{max} = 173.25$  MPa Contrainte maximale appliquée sur la cale.

$R_e = 250$ MP a la limite élasticité de matériau A42CP.

- La durée de vie estimée est de 15 ans.

Les simulations ont été soumises sur ANSYS qui a fourni les résultats suivants :

- La contrainte équivalente de Von mises maximale reste en dessous de la limite élastique  $R_E=250$  MPA. On le voit sur la figure 8.
- l'influence des contraintes mécaniques est faible par rapport aux contraintes thermiques.

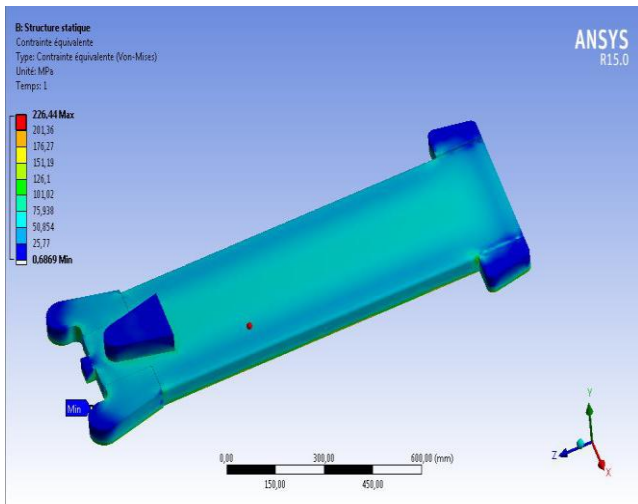


Figure 8: distribution des contraintes thermomécaniques dans la cale.

- Déplacement

La figure 9 montre que les déplacements sont faibles en bas de la cale à cause de la fixation et augmentent vers la tête où ils atteignent des valeurs importantes au niveau des points les plus hauts de la partie supérieure de la cale qui égale 0,031178 mm

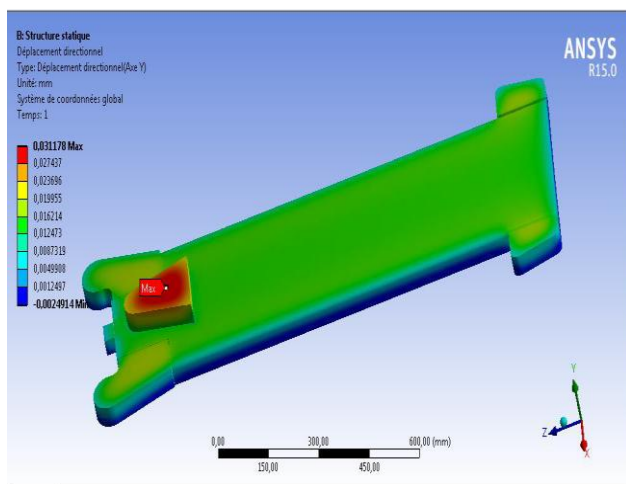


Figure 9 : les déplacements dans la cale.

## 5. Conclusion

L'analyse d'un modèle de système de calage a été faite. Les résultats obtenus sont raisonnables et reflètent la tendance à la fois documentée expérimentalement, théoriquement ingénierie du jugement et de l'expérience. L'analyse a un avantage supérieur en ce qui concerne les modèles FEA considérés en raison d'un modèle physique 3D complet qui reflète le résultat réel prévu. Comme perspective du travail effectué, on a proposé l'étude du cordon de soudure entre les cales et la virole. L'objectif est de déduire les contraintes appliquées sur la cale est de voir la résistance sur les conditions d'utilisation dans le cadre de la maintenance préventive du four cimentier.

## Référence :

- [1] K. I. JANATI, A. DIRHAR, S. RAKIZ, L. BOUSSHINE Déformabilité à chaud d'un four rotatif pour cimenteries Expérimentation et simulation numérique, 22<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique à Lyon, 24 au 28 Août 2015.
- [2] J. L. CHABOCHE et J. LEMAITRE, A. BENALLAL, R. DESMORAT, Mécanique des matériaux solides, 3<sup>ème</sup> édition DUNOD, France, Cachan, 2009.
- [3] ALMA ŽIGA, ALEKSANDAR KARAČ, DUŠAN VUKOJEVIĆ, analytical and numerical stress analysis of the rotary kiln ring. Technical Journal 20, 6 (2013), 941-946.