



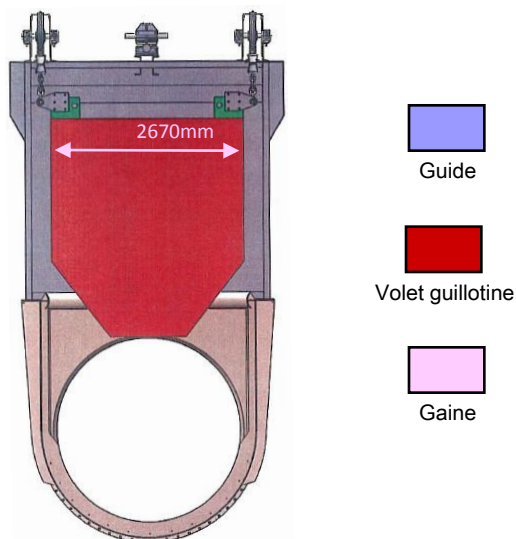
Un outil d'aide à la décision : la simulation numérique

Introduction

L'industriel, lorsque confronté à une problématique haute température, peut être amené - dans certains cas - à suspendre ses activités au sein du four incriminé. Une telle configuration étant synonyme de perte d'activité et donc de chiffre, il y a ainsi tout intérêt à minimiser le délai d'immobilisation. C'est là qu'intervient la simulation numérique, qui peut fournir des réponses rapides et non-invasives : cet outil d'aide à la décision peut orienter la solution technique, évitant du même coup le recours à des options moins adaptées, voire stériles.

Présentation – étude de cas

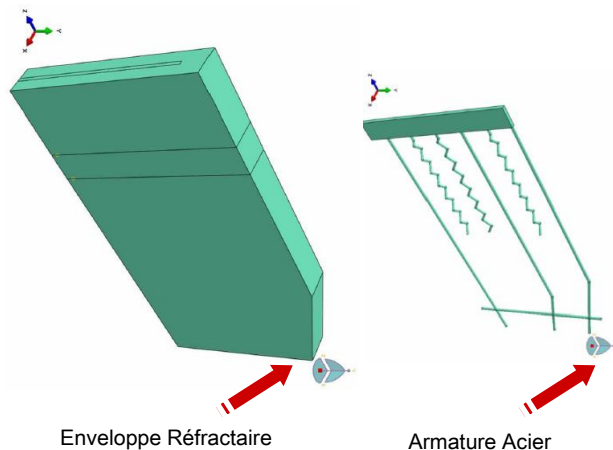
Le choix de la simulation numérique a notamment trouvé toute sa justification dans le cas d'étude d'un volet guillotine pour gaine de four de précalcination. La forte sollicitation thermique imposée par le flux de gaz chaud (jusqu'à 1100°C) requerrait une solution réfractaire pour l'élément constitutif du volet, avec une armature métallique venant renforcer le système. Les conditions d'utilisation du volet ayant été révisées, la société fabricante a dû adapter la solution technique en conséquence. Voulant limiter au maximum les tests de validation grandeur nature, le fabricant a mandaté ICAR pour une assistance technique, par le biais d'une étude numérique thermomécanique



Alimentation du modèle : la campagne de caractérisation

Le modèle de simulation a évidemment besoin de paramètres expérimentaux pour fournir les résultats attendus. Les propriétés des aciers constitutifs de l'armature sont, elles, issues de la littérature. Pour le béton réfractaire, une campagne expérimentale – menée par ICAR – est ainsi couplée à l'étude, de façon à accéder aux paramètres de l'enveloppe du volet :

- la masse volumique apparente (imbibition, NF EN 993-1)
- la conductivité thermique (méthode stationnaire, ASTM C202)
- le module d'élasticité en flexion (3 points, 1100°C)
- la dilatation thermique (1100°C, NF EN 1402-6).



La pré cuisson du matériau à 1100°C (température de service) vise à simuler l'état de stabilisation du garnissage acquis en utilisation de service. Le tableau qui suit compile les résultats obtenus sur le béton précuit.

Propriété physique	unités	20°C	1100°C
Masse volumique apparente	kg/m ³	2898	/
Conductivité thermique	W/(m.K)	1,4	2
Module d'élasticité en flexion	GPa	4,4	2,6
Module de rupture en flexion	MPa	12,1	7,8
Dilatation thermique	%	0	1,2

Résultats de la campagne expérimentale menée sur le béton réfractaire

La méthode des éléments finis – Le logiciel

La méthode des éléments finis permet de résoudre une physique en tout point du maillage d'un système préalablement discrétisé. Les logiciels de simulation numérique dont dispose ICAR reposent sur cette méthode, il s'agit de :

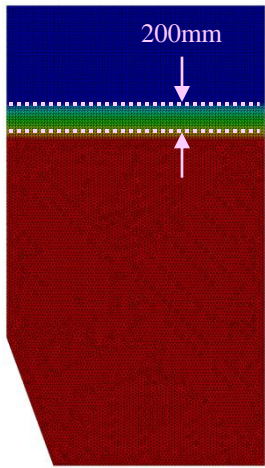
- ABAQUS CAE®, spécialisé en mécanique des structures ...
- COMSOL MULTIPHYSICS™, spécialisé dans la résolution de problèmes couplés.



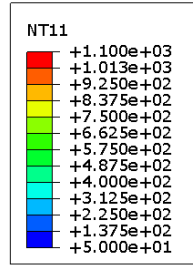


Résultats de simulation

La figure ci-dessous concerne la face « côté gaz chaud » du volet avec une carte en températures. Cette face, dite « au feu », est partout soumise à une température de 1100°C, sauf en partie haute, où la température n'est que de 50°C, le gradient s'établissant sur 200mm. La face opposée, elle, bénéficie de conditions thermiques significativement plus modérées : 300°C.

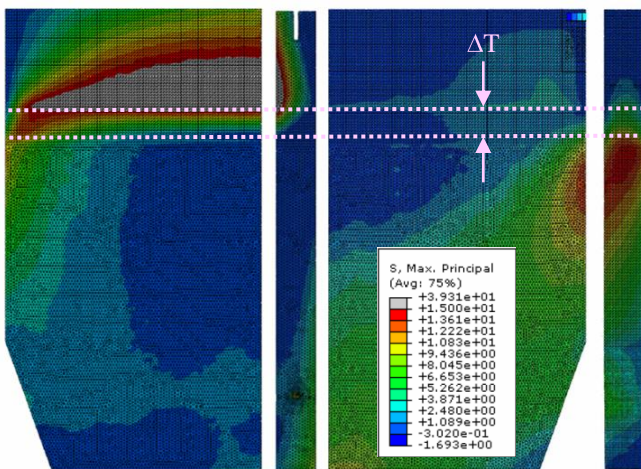


Le profil de frontière est en première approximation assimilé à une droite, alors que dans la réalité, il s'agit bel et bien du profil circulaire imposé par la gaine.

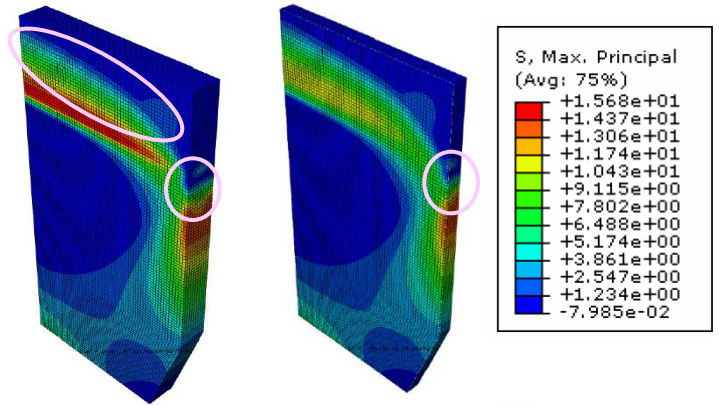


Face côté gaz chaud

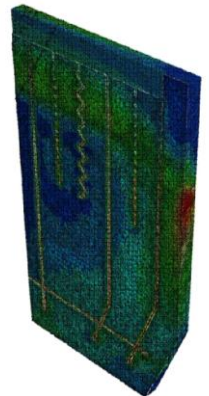
La figure ci-dessous est un développé du volet avec une carte en contraintes. On constate que le système est exclusivement sollicité en traction, la zone superficielle la plus contrainte (en gris, cliché de gauche) est située en haut de la frontière avec la gaine, zone de fort gradient thermique. Les valeurs atteintes sont de l'ordre de 17MPa. On retrouve l'effet du gradient sur les contraintes en partie latérale du système (cliché à droite).



La figure ci-après est relative au même système, mais dépourvu d'ancrages. On note encore les zones de surcontrainte superficielle déjà observées sur le système complet : en rouge sur les clichés. Ceci confirme l'unique origine dans l'établissement des contraintes critiques au sein du système, i.e. le gradient thermique.

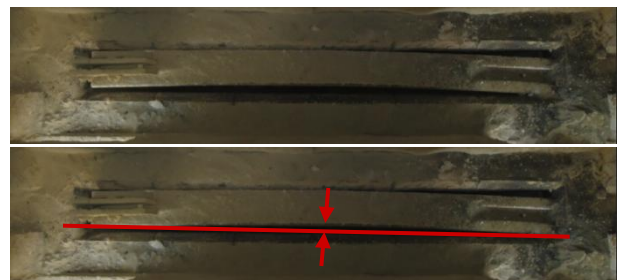
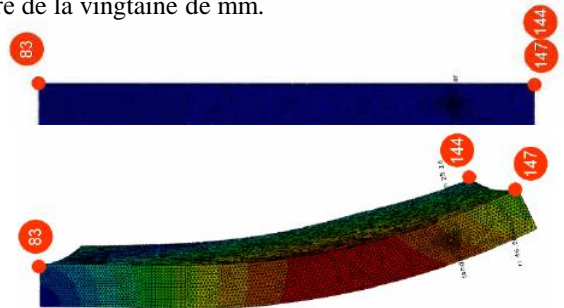


La figure ci-contre est une coupe à mi-épaisseur du système. Les zones critiques concernent l'interface avec l'armature acier. Les valeurs atteignent 40MPa, et dépassent significativement la résistance en flexion du béton (~10MPa). Ceci s'explique par le différentiel de dilatation entre le béton de l'enveloppe et l'acier de l'armature. On peut suspecter une micro-dégradation à ces interfaces, mais qui n'engage pas la tenue du système.



La réalité industrielle montre que les registres ont tendance à présenter un fléchissement double après un certain temps d'utilisation (cf. photo du bas). Quant est-il de la tendance des résultats de simulation en termes de déplacement ?

On observe effectivement une concavité en paroi froide et une convexité en paroi chaude. Pour information, les valeurs de flèche calculées sur la longueur et la largeur du système sont de l'ordre de la vingtaine de mm.





Conclusions

Généralement, les demandes traitées par le biais de la simulation numérique concernent majoritairement l'aspect thermique et dans un second temps, l'aspect mécanique. La volonté première est, très souvent, d'estimer au mieux la température de tôle des différents équipements à des fins sécuritaire, technique et financière (pertes thermiques). Pour des approches un peu plus poussées, la prise en compte des contraintes mécaniques induites par les différentes sollicitations agissant sur les matériaux réfractaires, peut permettre de prévoir des phénomènes de modifications, d'endommagements...

Dans le cas particulier traité ici, l'outil de simulation numérique a démontré tout son intérêt en dégageant la cause potentielle du comportement du volet guillotine, et notamment de sa déformation.

En fait, le recours à un tel outil numérique se justifie dans chacune des étapes de la vie industrielle d'un produit :

- conception / design (utilité de l'armature métallique, conséquences et/ou autres points néfastes vis-à-vis de la thermique ou de la mécanique, ...)
- optimisation (effet de la taille des éléments de l'armature, des propriétés du béton réfractaire, ...)
- révision ...

Cela permet d'éviter à l'utilisateur de gaspiller son temps et son argent en conduisant une campagne de validation grandeur nature. Au même titre qu'un équipement de test en laboratoire, la simulation numérique devrait être l'outil indispensable pour tout ingénieur confronté à une problématique haute température!

Vous souhaitez en savoir plus... CONTACTEZ-NOUS



CERAMITEC 2012

Ce salon international dédié aux professionnels, qui a lieu tous les trois ans, concerne des machines, appareils, installations, procédés et matières premières pour la céramique et la métallurgie des poudres.

En 2009, CERAMITEC avait vu plus de 600 exposants venant de 35 pays différents et approximativement 15000 visiteurs originaires de 84 pays.

Pour 2012, du 22 au 25 mai, tous les aspects des industries céramiques seront présents sous un seul et même toit au sein du nouveau centre d'affaires de Munich en Allemagne...

Si vous êtes présents, n'hésitez pas à venir sur le stand d'ICAR (Hall A5, stand 104) afin d'échanger sur vos demandes, besoins et autres problématiques concernant des matériaux céramiques et réfractaires...

ICAR, c'est aussi :



Des tests physiques et mécaniques à basse et haute température



De l'endoscopie à chaud



De la supervision

**Bibliographie :**

Cette sélection de publications est issue de la Veille Technologique exercée par le Service Documentation de la SFC (Société Française de Céramique). Pour plus d'information sur ces produits documentaires de Veille Scientifique, Technique ou Concurrentielle : bulletin de Veille Mensuel, Veilles spécifiques ciblées, accès à la base de données de Veille "CeramBase", contacter la SFC à l'adresse : soc.fr.ceram@ceramique.fr



-LEE W. E., GUIMARAES R., ZHANG S.

Challenges et opportunités pour l'industrie des réfractaires – Une perspective académique (Challenges and opportunities for the refractories industry – An academic perspective)

Refractories Worldforum, vol.2, n°3, 09/2010, p.23-28, 30-32, 12 fig., 4 tab., bibliographie (27 réf.), ANG.

Dans un premier temps la situation actuelle de l'industrie de l'acier, le plus gros consommateur de matériaux réfractaires, et de l'industrie des réfractaires sont présentées. Puis les opportunités et défis pour les marchés des réfractaires sont analysés comme l'utilisation de nouvelles matières premières, le recyclage des réfractaires usés et la réduction de la consommation d'énergie. Les nouveaux développements permettant à cette industrie d'être plus compétitive sont aussi discutés.

Mots Clés : Réfractaire, marché, acier, matière première, recyclage, consommation énergie.

-POIRIER J., PRIGENT P., BOUCHETOU M. L.

L'effet de particules fines et ultrafines sur la conception des céramiques réfractaires (The effect of fine and ultra-fine particles on the design of refractory ceramics)

Refractories Worldforum, vol.3, n°2, 04/2011, p.99-109, 19 fig., 6 tab., bibliographie (10 réf.), ANG.

Après un résumé des constituants des céramiques réfractaires et de leur conception, l'utilisation de poudres d'oxydes fines ou ultrafines, de carbone ou d'additifs est présentée. L'effet de ces différents matériaux sur les propriétés des réfractaires est discuté. Puis, des exemples sont commentés afin d'illustrer l'avantage d'ajouter de l'andalousite, de la magnésite, de l'aluminium et de la poudre de carbone aux réfractaires pour améliorer leur résistance à la corrosion, à l'oxydation et leurs propriétés thermo-mécaniques.

Mots Clés : Réfractaire, poudre, fines, ajout, propriétés, andalousite, magnésite, carbone.

-GEHRE P., WENZEL C., ANEZIRIS C. G.

Etude de réfractaires façonnés à base d'alumine utilisés dans les gazéificateurs (Investigation of shaped alumina based refractories used in slagging gasifiers)

Ceramics International, vol.37, n°5, 05/2011, p.1701-1704, 5 tab., bibliographie (24 réf.), ANG.

Le but de cette étude est d'évaluer le potentiel de matériaux à base d'alumine comme revêtement pour le procédé de gazéification afin de remplacer les réfractaires à base de chrome. Différents matériaux à base d'alumine ont été testés comme de l'alumine mélangée à des cendres, des spinelles ou de la β -alumine. Les propriétés mécaniques et de résistance aux chocs thermiques des échantillons frittés ont été testées ainsi que leur résistance à la corrosion par les alcalins.

Mots Clés : Réfractaire, alumine, gazéificateur, chrome, résistance choc thermique.

-MUSANTE L., MUNOZ V., LABADIE M. H., ET-AL.

Comportement mécanique à haute température de réfractaires d' Al_2O_3 -MgO-C pour la fabrication de l'acier (High temperature mechanical behavior of Al_2O_3 -MgO-C refractories for steelmaking use)

Ceramics International, vol.37, n°5, 05/2011, p.1473-1483, 6 fig., 3 tab., bibliographie (32 réf.), ANG.

Le comportement mécanique de deux sortes de briques d' Al_2O_3 -MgO-C a été étudié par la courbe de contrainte-déformation déterminée sous compression uniaxial à température ambiante et à 1000°C. Au préalable, la composition minéralogique, la densité, la porosité, la dilatation thermique sous charge et la microstructure des briques ont été déterminées. L'influence de la composition des briques, de leur microstructure et de la température sur leur comportement est discutée.

Mots Clés : Réfractaire, déformation, contraintes, microstructure, propriétés mécaniques.

Formations à venir :

-Du 19 au 22 juin 2012 à Moncel-lès-Lunéville
La mise en œuvre des matériaux réfractaires.

-Du 20 au 23 septembre 2012 à Moncel-lès-Lunéville
Les matériaux réfractaires : Généralités.

-Du 21 au 25 novembre 2012 à Moncel-lès-Lunéville
La tenue en service et l'aspect environnemental.

Vous souhaitez avoir de plus amples informations...

CONTACTEZ-NOUS ...

4/4