

## RAPPORT D'INSPECTION/EXPERTISE

### Véolia – Labeuvrière – Ligne 3 – Campagne 2024

Le 15/07/2024

Rev.	Date	Description	Auteur	Approba°
0	15/07/24	Première Publication	CP	AP

# RESUME

---

La prestation concerne l'assistance technique réfractaire dans le cadre des travaux réalisés en avril 2024 sur la ligne 3 du site de Labeuvrière.

L'usine est confrontée à des problèmes récurrents sur le four rotatif de sortie de foyer. Par suite de la dernière campagne de réfection en janvier 2024, des briques sont sorties de leur logement, et d'autres se sont fracturées.

L'examen mené à l'ouverture du four le 9 avril, puis la journée du 17 avril 2024 ont permis d'identifier puis de proposer des actions correctives dans ce qui était encore possible de réaliser.

Ainsi, les désordres sur le four rotatif proviennent d'une mise en œuvre des briques peu homogène, en ce sens que certaines zones sont relâchées et d'autres bloquées :

- Certaines briques se déchaussent avec un risque de chute, et donc de contact direct de la tôle avec l'ambiance du four. Le risque est fort également de voir d'autres briques tomber en cascade suite à cette première chute
- D'autres zones sont impactées par du vrillage, symptôme classique sur les fours rotatifs de cimenterie, et lié à un briquetage trop relâché.
- Les 3 rangs proches de la sortie ont "glissé" laissant des ouvertures de plusieurs millimètres. Ceci est aussi lié à une absence de maintien des briques
- Dans le même temps, d'autres briques au contraire ont subi une compression puis relaxation de la contrainte avec pour effet une fracturation à mi-longueur.

Les remèdes à ces défauts résident dans :

- Un processus de briquetage régulier, homogène, tel qu'il peut être obtenu avec une machine à briqueter. En cas d'absence de la machine, comme cela a été le cas, mieux vaut ne rien faire que réaliser un travail irrégulier
- Effectuer une étude de l'accommodement de la dilatation. En effet, le nombre de carton semblait important pour un four utilisant des briques de bauxite et surtout opérant à température inférieure en moyenne à 1000°C. Il est probable que l'accommodement trop important ait amplifié le désordre
- Les rangs étaient tous alignés ; un quiconçage aurait probablement apporté plus de stabilité.

En marge de ces travaux, il a été décidé de traiter l'extrémité de sortie avec un concept en béton. Des discussions ont été faites pour fiabiliser au mieux cette zone, avec un rendu correct à ce jour, (même si les briques continuent de bouger).

Sur le reste de l'installation, différents constats sont faits en ce qui concerne les principales dégradations :

- Carneau : en état d'usure avancé (corrosion par les cendres et endommagement thermomécanique) bien que toujours intègre (les murs ne sont pas déformés), il nécessitera dans un proche avenir une réfection complète en intégrant une conception d'ensemble, brique + ancrages, pérenne.
- Foyer : des désordres liés à la corrosion des tuiles par les cendres de process fondues essentiellement. L'oxydation est également constatée dans le foyer. La voûte du foyer subit des dommages d'origine thermomécanique en liaison avec un manque d'accommodement de la dilatation. De même le mur de chute est complètement détruit, pour des raisons analogues.
- La façade sous carneau a subi des désordres importants constatés au deuxième jour après nettoyage : le mur est flambé du fait d'un blocage en dilatation aux 2 extrémités. En complément de ce blocage, la rupture d'ancrages a, semble-t-il, provoqué des décalages supplémentaires.

# TABLE DES MATIERES

---

<b>RESUME .....</b>	<b>2</b>
<b>Partie 1 - INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1. Société A&C Process.....	4
1.2. Contexte de la prestation .....	4
1.2.1. Déclenchement du besoin.....	4
1.2.2. Historique non-exhaustif.....	4
1.3. Objectifs et déroulement de l'expertise .....	8
<b>Partie 2 - INSPECTION/EXPERTISE REFRACTAIRES .....</b>	<b>9</b>
2.1. Description générale du processus.....	9
2.2. Description par zone .....	9
2.2.1. Four tournant.....	10
2.2.2. Façade sous carneau.....	13
2.2.3. Foyer .....	14
2.2.4. Carneau.....	17
2.2.5. Façade arrière.....	18
<b>Partie 3 - ANALYSE - Préconisations.....</b>	<b>19</b>
<b>Partie 4 - Inspection travaux sur tournant.....</b>	<b>22</b>

# Partie 1 - INTRODUCTION

## 1.1. Société A&C Process

La société A&C Process est une entreprise proposant des services d'expertise, ingénierie, maîtrise d'œuvre et formation continue à destination des entreprises industrielles productrices d'énergie ou de matériaux : aciers, ciments, industrie chimique, verre, énergies renouvelables.

La finalité de ces services est d'optimiser les coûts de production et de proposer de nouvelles solutions techniques.

Notre démarche d'experts indépendants (les actionnaires sont les seuls opérationnels de l'entreprise), s'appuie sur des outils de simulation, de fortes connaissances de terrain et applique les exigences de la gestion de projets et des processus qualité, à toutes prestations.



## 1.2. Contexte de la prestation

### 1.2.1. Déclenchement du besoin

Cette demande du site de Labeuvrière pour objectif d'apporter un œil critique quant aux :

- Mécanismes d'endommagement et de dégradation des revêtements réfractaires de la ligne d'incinération
- Modes opératoires et choix techniques des entreprises de fumisterie en charge des travaux, et tout particulièrement dans la technique réfractaire du four tournant.

Sur ce 2ème point, la motivation est clairement liée à des dégradations constatées rapidement après remaçonage complet du four tournant. Des déchaussements, fractures et chutes de briques sont constatés dès les premières semaines succédant à la réfection du four, amenant de nombreuses questions sur les produits et pratiques.

Le besoin, clairement orienté vers le four tournant, concerne également d'autres zones de l'installation, qui devraient faire l'objet d'une réfection prochaine. C'est le cas du carneau, mais aussi probablement de la façade arrière au-dessus du four tournant.

### 1.2.2. Historique non-exhaustif

Nous avons à notre disposition différents plans d'ensemble de l'installation qui datent d'avant l'installation de la chaudière (plan Didier de 1994, et le plan BEROA (entreprise devenue Dominion depuis), qui date de 2014, dont les grandes modifications viennent de l'installation du foyer-chaudière (passage en tuiles SiC).

On propose donc un aperçu des montages réfractaires tels qu'ils devraient être à la lecture de ces 2 plans.

On distinguera principalement :

- Le four tournant
- le foyer (façades latérales)
- la façade arrière, façade amont du four tournant et du carneau
- le carneau

- le 1er parcours

#### LE FOUR TOURNANT

Les dimensions du four sont de 4 mètres de diamètre sur 6 mètres de longueur. Les réfractaires utilisés à ce jour sont des briques de bauxite de type HB85 (fabrication Haasser - Soufflenheim). Les matériaux figurant sur les plans sont des briques dites "60% d'alumine". Par expérience, ces produits sont souvent des briques d'andalousite cuite. Ainsi, la référence DIDIER de 1994 est la Resistal SK60.

Il y a donc une différence entre les produits d'origine et le produit actuel. Les briques de Bauxite présentent une dilatation thermique souvent plus importante (environ 30% supérieure); ce paramètre devrait en principe être pris en considération pour les aspects montage, en incluant le cas échéant des accommodements de dilatation (cartons et leur fréquence de pose).

#### LES FAÇADES LATÉRALES DU FOYER

Depuis le passage en récupération d'énergie, les façades latérales sont montées en tuiles format ES30 à 2 ancrages avec joints fibreux, sans autres précisions de la qualité commerciale. Il existe plusieurs variantes :

- Tuiles à liaison "oxyde", les plus souvent rencontrées dans les incinérateurs français, caractérisées par une conductivité thermique élevée, favorisant le transfert vers les tubes, et une bonne résistance à l'abrasion
- Tuiles SiC à liaison "niture", d'une qualité encore supérieure (plus chères aussi) en termes de résistance mécanique, et conductivité thermique
- Tuiles alumineuses, utilisées si l'aspect échange thermique n'est pas une contrainte. Leur avantage est une résistance à l'oxydation sans équivalent chez les tuiles SiC.

Dans cette installation, l'utilisation de tuiles SiC 90% est mentionnée dans le plan T15 205/TFN 001, (et confirmé pendant la visite), sans confirmation toutefois de la qualité : tuiles liaison oxyde (plus probable) ou tuiles liaison niture.

La voûte est réalisée en béton dense de type 70% de SiC (Calde Gun S70 toujours selon le plan). Il n'est pas fait mention de quelconques joints de dilatation. Compte-tenu du comportement dilatométrique d'un tel produit, il serait préférable d'avoir une politique de joints pour éviter les éclatements de réfractaires et chute de panneaux.

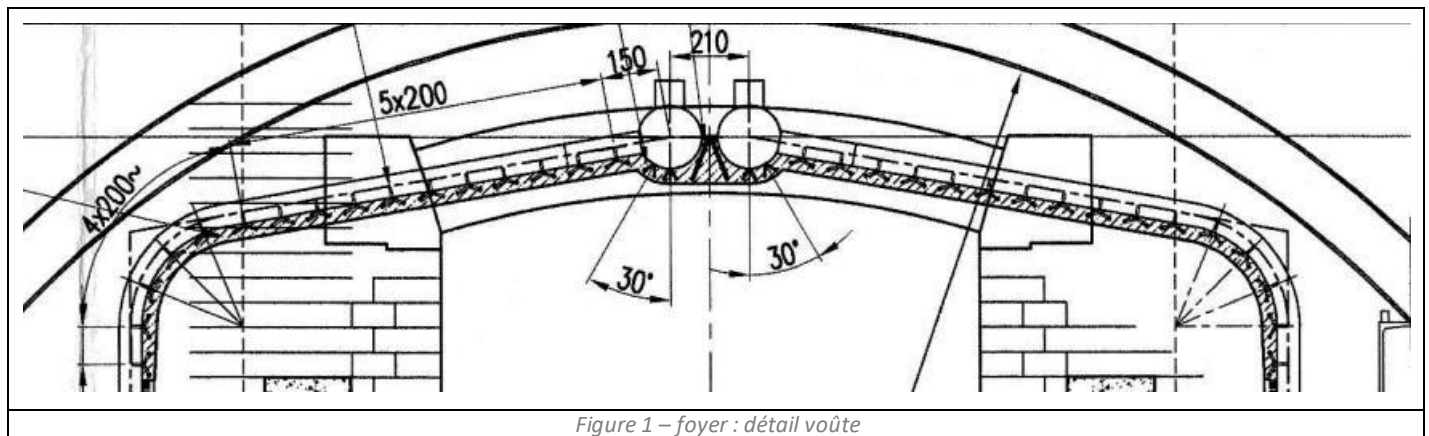


Figure 1 – foyer : détail voûte

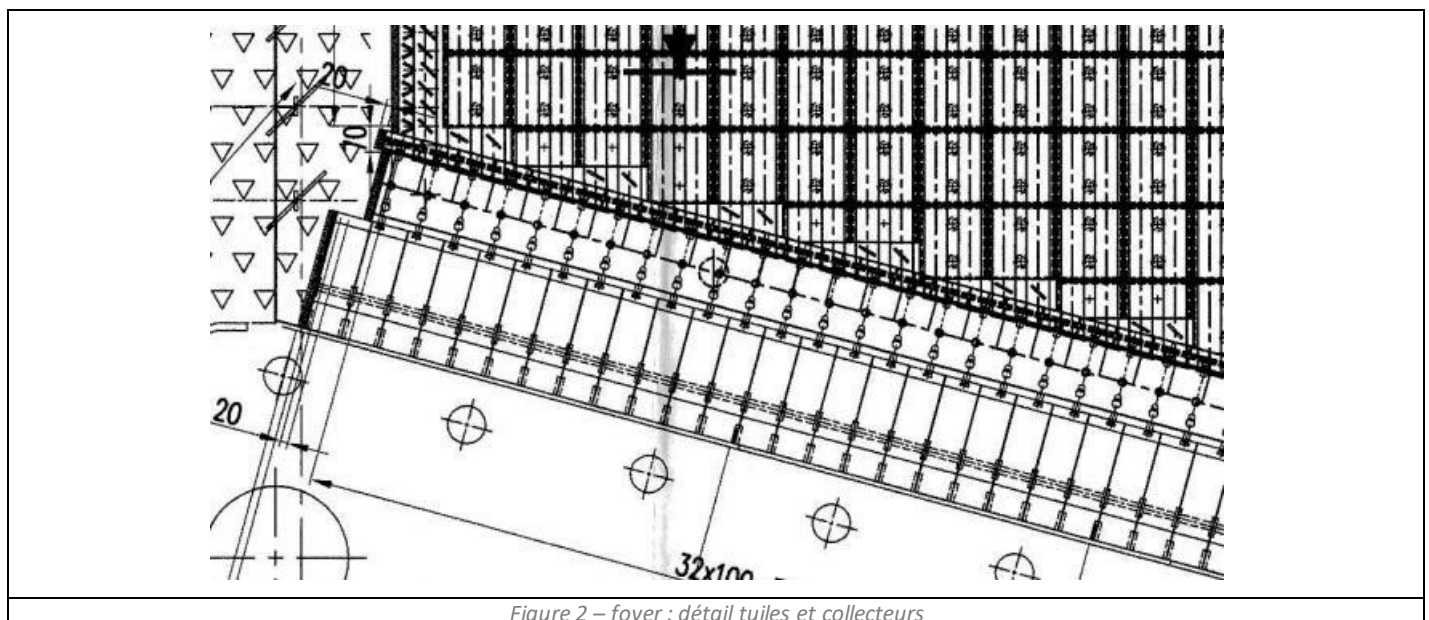


Figure 2 – foyer : détail tuiles et collecteurs

### LA FAÇADE ARRIERE

Cette façade est non pourvue de tubes; le montage réfractaire est par conséquent "isolé".

Vu sur plan 2014 (T13 384/TFN 001), la zone d'injection d'air secondaire est réalisée en béton de chamotte gunité (Calde Gun F50), tandis que le plan 1994 considérait des briques de chamotte de qualité Maxial 300 de Didier (maintenant RHIM). Sur le papier, les options sont analogues, la moins bonne qualité du béton étant apportée par la mise en œuvre souvent perfectible, et le séchage souvent difficile à mener.

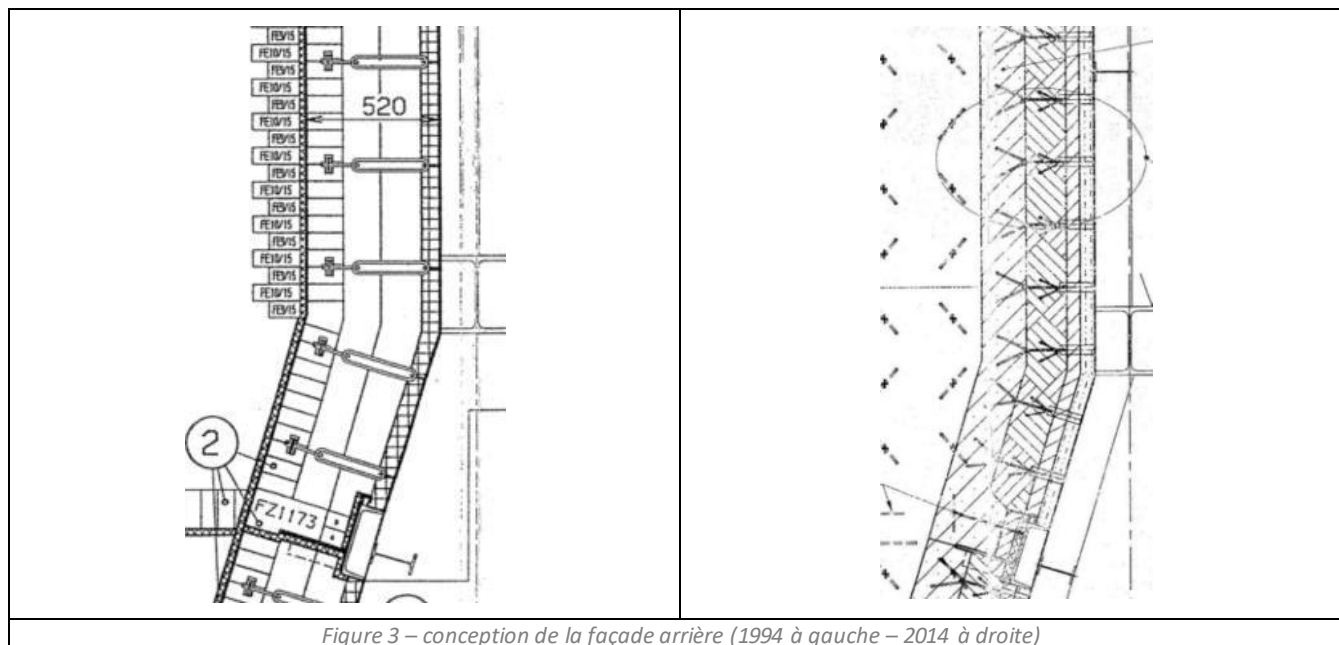


Figure 3 – conception de la façade arrière (1994 à gauche – 2014 à droite)

### FAÇADE AVANT SOUS CARNEAU

Cette zone est montée d'origine en briques Maxial 300 (chamotte) avec ancrages et formats spéciaux pour plus de robustesse. Cette conception reste valable depuis 1994, en témoignent les différents plans. La différence tient dans la nature des ancrages :

- Métalliques sur la première version de 1994, avec des briques de formats adaptés
- Céramiques sur les versions ultérieures, avec selon les versions 2 qualités de béton autour des ancrages céramiques
  - Béton coulé-vibré de chamotte assez haute performance (Calde Cast LF 46 G3) sur le plan de 2014 (T13 384/TFN 001)
  - Béton gunité de chamotte plus quelconque (Gunec 505) sur le plan de 2015 (T15 205/TFN 001).

La différence de produit interpelle, tant il est vrai qu'on recherche souvent la performance dans le béton d'entourage des ancrages céramiques, et qu'un béton gunité sera toujours moins bon qu'un béton analogue coulé.

Cette différence se retrouve sur le béton d'entourage des buses d'air secondaire. La seule explication réside dans le gain de temps à l'application de produits gunité, souvent au détriment de la qualité du produit.



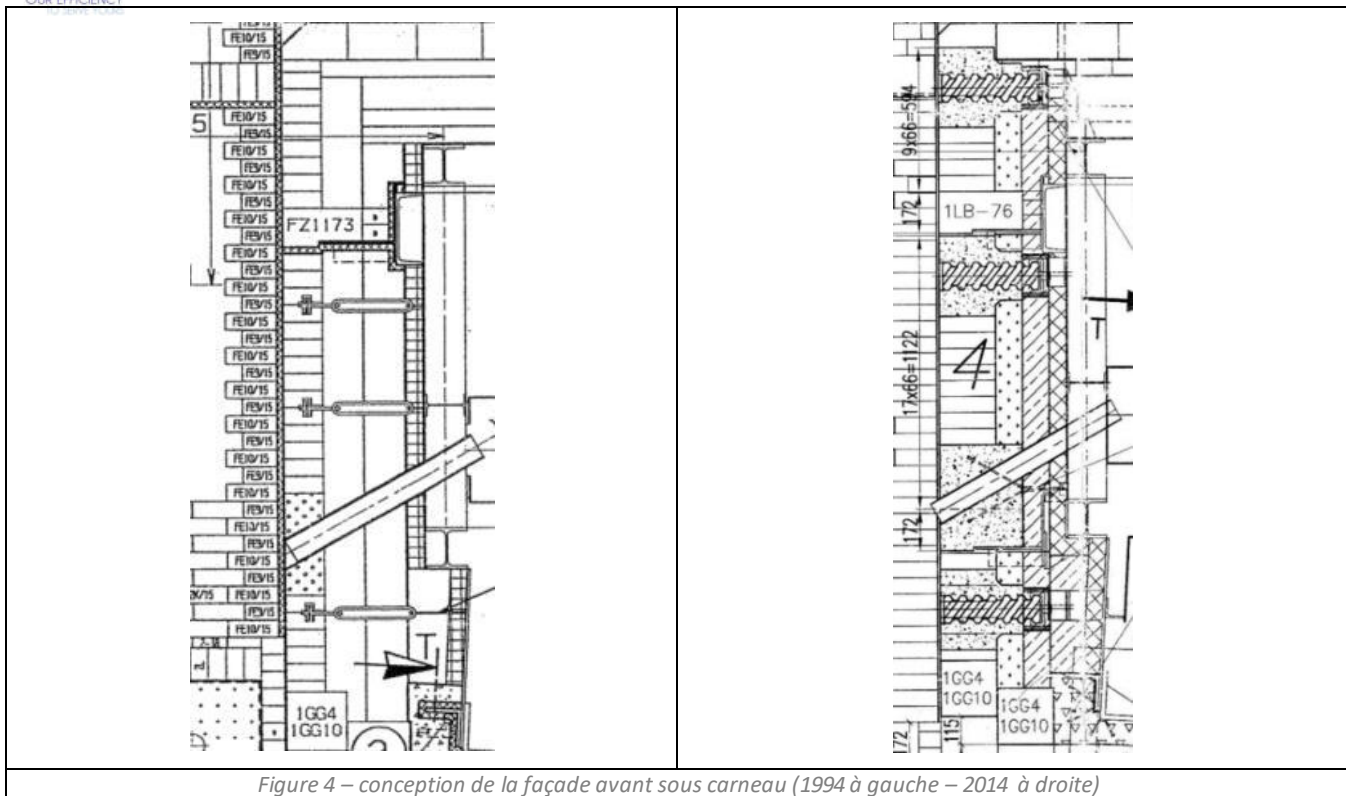


Figure 4 – conception de la façade avant sous carneau (1994 à gauche – 2014 à droite)

#### LE CARNEAU

Les montages réfractaires sont décrits dans les plans de 1994 et 2014. A l'instar de la façade avant sous carneau, le montage en briques est privilégié avec les différences notées précédemment, ancrages métalliques (briques de formats spéciaux) ou céramiques (béton d'entourage coulé vibré). On note la présence de joints de dilatation de 10 mm par mètre, avec un large joint pour accompagner les mouvements relatifs entre foyer et parcours.

La sole est réalisée également en briques de chamotte d'argile.

Sur le plan de 2014, un soin tout particulier est apporté aux extrémités pour plus de stabilité avec, côté parcours, un montage comprenant des ancrages métalliques dans le sens de la longueur du carneau. A l'origine en 1994, le carneau était plus court

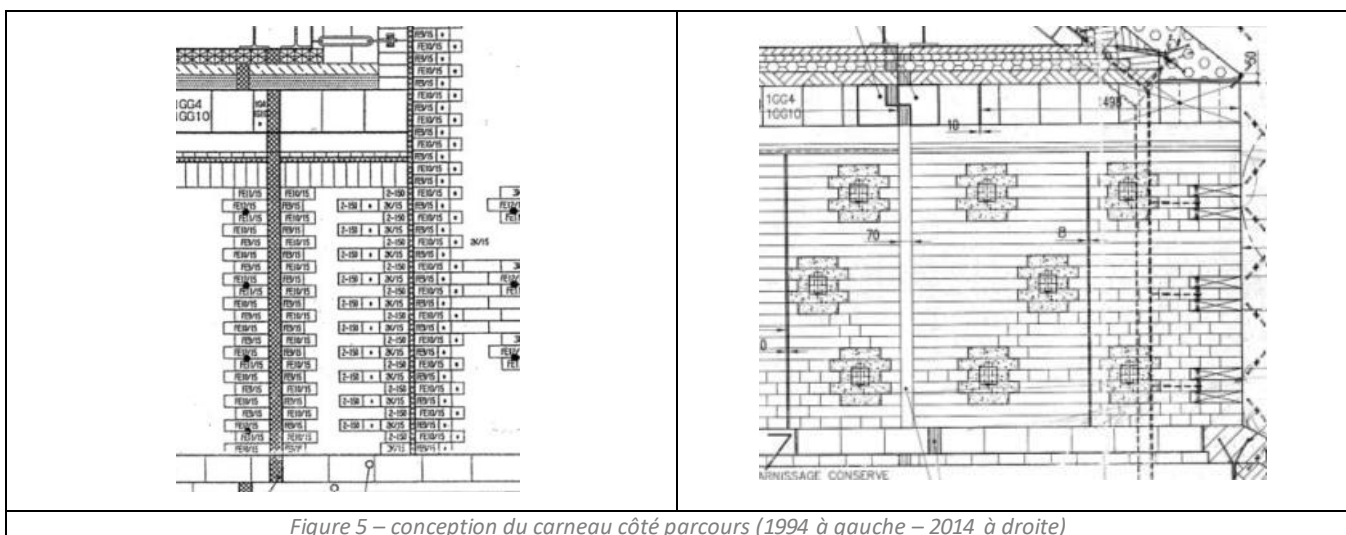


Figure 5 – conception du carneau côté parcours (1994 à gauche – 2014 à droite)

#### LE 1ER PARCOURS

Les tubes sont protégés par une couche de 50 mm de béton gunité de chamotte type Calde Gun C28HR.

### 1.3. Objectifs et déroulement de l'expertise

Parce que les matériaux en jeu ont une tenue en service fortement dépendante de leur environnement, il s'agit d'appliquer une démarche globale dans laquelle le comportement du réfractaire n'est qu'un des éléments d'un tout.

Ainsi, l'expertise de l'installation est réalisée selon une approche intégrée, c'est-à-dire que la réflexion menée est faite dans le contexte spécifique de ladite installation, en effectuant si nécessaire des parallèles avec d'autres cas directement ou indirectement représentatifs, mais en conservant toujours à l'esprit que les phénomènes ne sont jamais directement transposables.

Il est donc essentiel d'évaluer les performances et comportements de matériaux réfractaires dans leur milieu et donc d'évaluer également l'historique opérationnel de l'installation. L'objectif principal pour nous est d'agir pour que les problématiques rencontrées ayant déclenché le besoin d'expertise soient correctement identifiées, leurs origines complètement estimées et que des solutions réalistes soient apportées.

De manière quasi-systématique, nos expertises se déroulent selon trois phases :

- Inspection in situ des matériaux et de leur mode de dégradation – Y sont associées en général des préconisations à chaud en termes de réparations et d'adaptation des solutions de réparations avec les moyens du site. La défectologie appliquée permet une représentation simple des endommagements et de leur mode de dégradation, et d'ainsi potentiellement déceler des schémas caractéristiques reliés à l'exploitation de l'installation
- Analyse des causes – L'inspection seule n'a que très peu d'intérêt si l'analyse des causes à l'origine des endommagements n'est pas complètement identifiée. Cette phase passe entre autres par une analyse des paramètres process de l'installation et une discussion ouverte avec les équipes d'exploitation et de maintenance
- Préconisations techniques – Après l'investigation réalisée, il s'agira d'apporter des solutions rapides et efficaces pour réduire ou supprimer les causes racines des endommagements observés en inspection.

De cette manière seulement, il est possible d'optimiser durablement la marche et les performances de l'installation.



## Partie 2 - INSPECTION/EXPERTISE REFRACTAIRES

### 2.1. Description générale du processus

Dans la suite du document, nous évaluons le degré de désordre des principales zones dans le but d'identifier les causes des endommagements, puis les actions correctives à mener.

Les causes sont analysées, pour faire simple, selon la méthode des 5M : Main d'œuvre, Mise en œuvre, Milieu (conditions environnantes process), Matériaux, Méthodes (conception).

Cette partie ne mentionne que l'expertise, les aspects "suivi de la mise en œuvre" faisant l'objet d'une partie spécifique du rapport, le cas échéant.

La demande était initialement focalisée sur le four tournant. Nous avons toutefois étendu notre action aux autres zones accessibles en sécurité.

### 2.2. Description par zone





La suite de cette partie reprend la description de chaque zone, en suivant un déroulement simplifié et synthétique permettant une compréhension précise :


#### EXPERTISE :



Une page contenant :


- Des informations principales de la zone et d'une photo d'ensemble
- Pour chaque type d'endommagement observé :
  - **End.** = Le nature de l'endommagement
  - **Desc.** = un descriptif de l'endommagement
  - Des photos spécifiques
  - **Cau.** = Les causes probables identifiées le cas échéant
  - **Nat.** = La nature de ces causes (mécanique, thermique, corrosion ou une combinaison)
  - **Orig.** = L'origine de ces causes (matériaux, design, mise en œuvre, exploitation, ...)
  - **Préco.** = Les préconisations associées qui permettront d'agir favorablement sur l'endommagement

Un code couleur est également mis en place pour tenter une évaluation de la criticité d'un endommagement, et repris dans le tableau ci-dessous :

Couleur	Signification
	Endommagement faible voire inexistant
	Endommagement acceptable permettant le redémarrage sans action particulière ou ne nécessitant pas de planification sur l'arrêt suivant, mais dont l'évolution doit être suivie
	Endommagement nécessitant une réparation rapide immédiate ou une planification pour l'arrêt technique suivant
	Endommagement ayant causé une situation à régler impérativement avant redémarrage pour la pérennité de la zone

2.2.1. <u>Four tournant</u>	Briquetage de briques denses	
EXPERTISE		
<p>Zone entièrement revêtue de briques haute teneur en alumine (Bauxite ou andalousite) sans autre éléments historique; aujourd'hui, des briques de bauxite HB85</p> <p>On constate une grande instabilité du revêtement de brique avec (sortie du four sur la gauche de la photo) un desserrement des 3 premiers rangs, et des mouvements fréquents inter-briques.</p> <p>Il n'y a pas de corrosion visible sur les briques.</p>		
		Ph. 1 – aspect général du tournant

End.	Déchaussement de briques	Mouvements relatifs et ruptures de briques
Desc.	Défaut très localisé. Certaines briques quittent leur plan de pose laissant un risque important de chute avec mise à nu du casing métallique	Les rangs de briques sont désalignés, avec ouvertures de larges joints. Certaines briques sont étêtées avec une rupture fragile
		
	Ph. 2 – déchaussement de briques	Ph. 3 – Mouvements relatifs et ruptures de briques
Cau.	Manque de maintien des briques dans le revêtement	Manque de maintien des rangs et vrillage
Nat.	<b>Thermomécanique</b>	<b>Montage et thermomécanique</b>
Orig.	Un probable montage très relâché : manque de maintien malgré la montée en température et la mise en compression (théorique) du revêtement	Une autre manifestation du montage très relâché amplifié par les rangs non montés en quinconce
Préco.	Adopter un schéma de montage incluant un bon calcul de dilatation : connaissance de la température et de la caractéristique des briques (coefficient de dilatation notamment)	

End.	Fractures nombreuses des briques
Desc.	Certaines zones dans le four affichent des briques avec des fractures fines souvent à mi-longueur, ainsi que des casses en angles dans les coins et les arêtes.
	
	<i>Ph. 4 – ruptures au niveau des briques individuelles</i>
Cau.	Les ruptures sont le résultat de blocages en dilatation, et de variations thermiques rapides (type chocs thermiques)
Nat.	<b>Thermomécanique</b>
Orig.	Variations thermiques plus ou moins rapide, associées à un montage par endroit assez serré, et relâché par ailleurs
Préco.	Avoir une uniformisation du critère de montage, et un contrôle accru de la thermique du four pour limiter les variations thermiques responsables de ces ruptures

Fracture des briques sur cerce métallique
En sortie du four, les briques découpées pour épouser la cerce sont souvent fracturées et/ou érodées au contact du renfort métallique.


<i>Ph. 5 – endommagement des briques sur cerce métallique en sortie de four</i>
Les ruptures sont le résultat de friction et d'appui sur les parties métalliques sans accommodement de dilatation
<b>Thermomécanique suite blocage</b>
Absence d'accommodement entre cerce et brique découpées
Pose d'une nappe de fibre autour de la cerce, et modification du design en utilisant des briques entières et en faisant l'épaulement sur le nose-ring en béton

**En conclusion sur le four tournant :** les ruptures et déchaussements sont le résultat d'un montage plutôt hétérogène occasionnant des zones relâchées et des zones plus contraintes.

L'absence de machine à briqueter et la différence de mise en œuvre entre haut et bas (impossibilité de tourner le four après briquetage de la partie basse) a probablement accentué le phénomène.

Un calcul de dilatation serait à faire pour préciser les règles de mise en place. Ce calcul doit prendre en compte :

- Comportement dilatométrique des briques
- Température réelle dans le four (en fonction de la longueur)

Connaissant cela, il est possible d'adapter le nombre ou la fréquence des intercalaires en carton, pour permettre la compression du revêtement à un niveau suffisant pour limiter les mouvements relatifs de briques.

Tout ceci va conjointement avec une mise en œuvre de qualité en intégrant

- Une bonne application des mortiers de scellement
- L'utilisation de la machine à briqueter
- La pose des briques en quinconce.

En ce qui concerne le design en sortie de four, la pose d'un anneau en béton avec ancrages (nose-ring) à l'instar de ce qui est pratiqué dans la plupart des fours rotatifs est une pratique à adopter, mais en intégrant la cerce dans la partie béton, et repartir sur des briques entières à partir de la cerce.



## 2.2.2. Façade sous carneau


Briquetage de briques denses et ancrages


### EXPERTISE


Façade construite avec briques et ancrages. L'entourage des buses d'air secondaire est réalisé en béton dense.

On constate une usure générale des joints de briques et un pan de mur sous buses en décalage avec le reste de la façade, et un décalage plus important côté droit


Le béton des buses d'air est également en souffrance et devra être refait prochainement.



End.	Décalage d'un pan de mur sous buses d'air secondaire	
Desc.	La portion de briques denses sous les buses flambe sur une épaisseur de 10 cm. En outre, le côté droit semble encore plus en décalage.	
		
	Ph. 6 – Déstabilisation du mur de briques	
Cau.	Le flambage est probablement provoqué par le blocage en dilatation du mur contre les parois latérales. La déformation a provoqué la rupture des ancrages de briques	
Nat.	<b>Thermomécanique (éventuellement amplifié par la corrosion)</b>	
Orig.	Blocage en dilatation contre les parois latérales, suite à un manque d'accommodement de la dilatation. Environnement des ancrages possiblement en cause	
Préco.	Reconstruction nécessaire avec une conception intégrant des ancrages posés dans les règles de la profession, et un joint de 25 mm tout autour de la façade au contact des faces latérales	

2.2.3. <u>Foyer</u>	Réfractaire en tuiles ES30 en paroi et voûte en béton	
<i>EXPERTISE</i>		
<p>Les parois latérales sont recouvertes de tuiles ES30 à 2 ancrages. L'usure est importante et relativement hétérogène en fonction de la date de pose de ces tuiles.</p> <p>La voûte est réalisée en béton projeté.</p> <p>Les collecteurs en position basse sont recouverts de tuiles de forme ES34</p> <p>Les désordres occasionnent la mise à nu des tubes et nécessitent intervention immédiate sur l'arrêt</p>		<i>Ph. 7 – Façade latérale droite</i>

End.	Fractures et usure des tuiles	Découverte des tubes en extrémité d'écran
Desc.	<p>Les tubes sont mis à nu à la suite de l'endommagement des tuiles par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte d'épaisseur</li> <li>• Fracturation avec chute de gros fragments</li> </ul>	<p>Cette zone extrême est recouverte de béton initialement. On assiste à la rupture du béton et la mise à nu du tube sur une grande longueur et une forte épaisseur</p>
		
	Ph. 8 – Usure et fractures des tuiles – mise à nu du tube d'extrémité d'écran	
Cau.	Perte d'épaisseur et fragilisation de la tuile au droit d'un des 2 ancrages	Perte de l'épaisseur totale de béton, avec présence de grosses fractures
Nat.	<b>Corrosion essentiellement</b>	<b>Thermomécanique</b>
Orig.	La corrosion ne s'accompagne pas de gonflement : c'est donc préférentiellement une corrosion par les cendres fondues de process	Probable blocage en dilatation dans la jonction entre tuile et béton. Y a-t-il eu pose d'un joint de dilatation ?
Préco.	<p>Changement de tuile impératif ; traçabilité des changements (pour évaluer la durée de vie des tuiles)</p> <p>Eventuellement mettre en place une politique de validation de la qualité des tuiles en liaison avec un cahier des charges pour lutter face à la corrosion.</p>	<p>Concevoir cette zone en respectant un bon accommodement de dilatation : prise en considération des caractéristiques des matériaux et de la géométrie</p> <p>Effectuer une surveillance à chaque arrêt et reconditionner le joint le cas échéant</p>


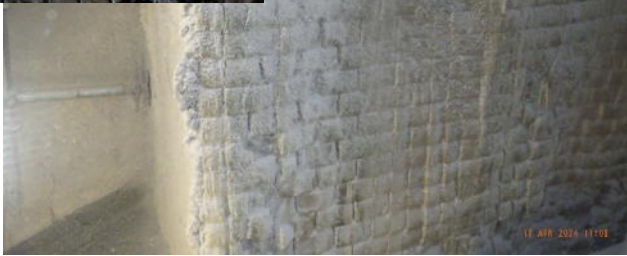


End.	Collecteur inférieur avec tuiles ES34 endommagées	Perte totale de réfractaire sur mur de chute
Desc.	De nombreuses tuiles avec perte d'épaisseur et certaines ayant chuté, mettant le collecteur à nu	La tôle support du mur de chute est entièrement découverte. Seuls quelques fragments réfractaires demeurent en place avec cassure assez nette
		
	<i>Ph. 9 – Allure face latérale gauche, avec collecteur et allure du mur de chute – notez également l'usure des tuiles (traitée précédemment)</i>	
Cau.	Probable effet de frottement par les charges à incinérer	Perte totale du réfractaire par fracturation et chute de fragments. Pas de corrosion constatée
Nat.	<b>Erosion et thermomécanique</b>	<b>Thermomécanique</b>
Orig.	Haute température, air primaire (effet chalumeau) et frottement par les matières incinérées	Montée en charge mécanique suite au blocage en dilatation - Probable absence d'accommodement de la dilatation
Préco.	Changement des tuiles endommagées. Si le problème est pénalisant, envisager une évolution vers des tuiles plus performantes (après établissement d'un cahier des charges)	Amélioration de la durabilité de la zone par : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un bon choix de matériau</li> <li>• La mise en place de joint au contact des latéraux</li> <li>• Revoir la politique d'ancrage</li> </ul>

End.	perte de béton sur voûte	
Desc.	De Larges zones bétonnées sont endommagées voire disparues. Les tubes sont souvent mis à nu de façon localisée. La surface mise à nu du réfractaire est propre, montrant un désordre soudain sans corrosion apparente	
		
	Ph. 10 – Voûte (vue vers l'enfournement)	
		
	Ph. 11 – Voûte (vue vers carneau)	
Cau.	Perte partielle ou totale de l'épaisseur par panneaux. Présence d'accrochages mais pas de corrosion visible sur les surfaces blanches mises à nu	
Nat.	<b>Thermomécanique principalement</b>	
Orig.	Les variations thermiques occasionnent des contraintes mécaniques dans l'épaisseur des réfractaires : rupture par écaillage structural. Il est possible que cet écaillage se soit manifesté au dernier refroidissement	
Préco.	Toujours l'accommodement de la dilatation thermique : mettre en place des joints (plastique alvéolaire par exemple) à une fréquence qui sera le résultat du calcul de la dilatation (fonction du produit réfractaire, de la géométrie et de la température)	





2.2.4. <u>Carneau</u>	Montage de briques et ancrages	
EXPERTISE		
<p>Constitution du revêtement en briques denses ancrées avec des ancrages céramiques en paroi.</p> <p>Voûte en arc sur sommiers</p> <p>Sole en briques denses</p>		
		Ph. 12 – Aspect général

End.	Parois latérales et extrémités
Desc.	Les briques formant les parois sont toutes fracturées à mi-longueur avec un creusement des joints entre briques. Il ne semble pas y avoir de déformation à l'échelle du mur. Ouverture entre briques plus larges à la sortie du carneau
	 
	Ph. 13 – façade latérale du carneau
Cau.	La fissuration est liée à la respiration thermique de la zone : variations de température et des contraintes mécaniques engendrées - corrosion par les cendres
Nat.	<b>Thermomécanique et corrosion thermochimique</b>
Orig.	Effacement dans le temps des joints de dilatation (joints non visibles pendant l'inspection)
Préco.	A envisager une réfection des parois latérales avec une conception en extrémité pour conserver la stabilité dimensionnelle

Voûte du carneau
Pas de macro-déformation visible. L'épaisseur des briques reste assez uniforme et importante

Ph. 14 – voûte du carneau
<p>Pas d'action nécessaire à ce stade. Attention toutefois au démontage des parois latérales. Il y a une reprise de charge sous la voûte qui ne devrait pas être endommagée, mais prudence de mise.</p>

2.2.5. <u>Façade arrière</u>	Bétons denses et isolants	
<b>EXPERTISE</b>		
Epaisseur de béton dense sur un béton isolant, le tout soutenu par des ancrages en "V". 3 isolants superposés : béton gunité, panneau de fibres et laine de roche.		

End.	<b>Fracturation des bétons denses</b>	
Desc.	Très localisé, le béton dense et très fortement endommagé comparativement aux zones environnantes. L'épaisseur résiduelle reste élevée (supérieure à 10 cm). Fractures nombreuses occasionnant chute de fragments	
		
	<i>Ph. 15 – Latéral gauche à l'arrière, sortie du tournant</i>	<i>Ph. 16 – épaisseur résiduelle de bétons dense et isolant après démolition de la zone</i>
Cau.	Dommages très localisés alors que les panneaux contigus sont en bon état. Fractures du béton dense d'origine mécanique : impact ?	
Nat.	<b>Thermomécanique</b>	
Orig.	A déterminer. Difficile de concevoir un endommagement localisé de ce type avec une origine globale ; mise en œuvre ratée du panneau ? Impact mécanique, mais de quel type ?	
Préco.	Zone à refaire	

## Partie 3 - ANALYSE - Préconisations

Par suite de cette inspection/expertise, des défauts et désordres ont été constatés, qui nécessitent des mesures correctives.

Le Tableau 1 présente le code couleur utilisé pour la pondération des préconisations, et les effets pouvant advenir dans le cas d'une non-application.

Tableau 1 – Code couleur pour les préconisations

Signification	Code couleur
Effet faible, préconisation permettant une pérennisation à long terme	
Effet sur les performances générales et l'amélioration des grands indicateurs technico-économiques	
Effet significatif ou latent mais n'impliquant pas un risque d'incident de production prononcé	
Effet critique et sévère, préconisation à considérer à court terme	

Nous ne traitons ci-dessous que les cas les plus importants. Les autres sont évoqués dans les chapitres précédents.

**Attention : Ces désordres sont souvent liés à la température et sa maîtrise : niveau de température potentiellement très élevé ET variations de température très (trop) rapide. Il est donc à noter que le process et sa maîtrise ont aussi une part importante à jouer dans la résolution de la plupart de ces défauts.**

### #1 – PRECONISATION 1

Four tournant : qualité du briquetage occasionnant le déchaussement, la dégradation de la géométrie globale et l'endommagement des briques

Les désordres constatés dans le four tournant ne semblent pas en relation avec une température excessive, encore que la mise en chauffe puisse avoir un effet.

Si on fait le parallèle avec d'autres industries utilisant les fours rotatifs (recyclage des métaux et surtout les cimenteries) les désordres trouvent souvent leur origine dans :

- La qualité du maçonnerage puisqu'une grande régularité de serrage des briques est recherchée pour éviter certaines zones trop serrées et d'autres trop relâchées
- La géométrie de la virole, l'ovalisation en particulier, qui déstabilise en permanence le réfractaire. L'ovalisation est souvent liée au maintien et aux paliers soutenant le cylindre
- La déformation du casing en liaison avec d'anciens points chauds qui rend difficile un briquetage régulier

Ces désordres provoquent souvent du vrillage, défaut constaté ici, avec les ruptures en angles et en arêtes des briques.

Il nous semble que les défauts constatés soient bien en liaison avec la pose des briques. Apparemment, la machine à briquer n'a pas pu être utilisée, ce qui a provoqué une série de problèmes : imposition de briquetage des briques en fond, impossibilité de tourner le four en raison du balourd provoqué, etc...

Par ailleurs, on a pu constater que les extrémités étaient encore plus relâchées du fait d'un mouvement des rangs contre les plats-bords. Aussi, la pose d'un béton ancré en extrémité est une bonne pratique à reproduire sur les réfections prochaines. Cette pratique est fréquente en cimenterie et constitue un point d'attention particulière.

De même, il faut avoir une politique claire sur l'accommodement de la dilatation, concrètement l'usage des cartons faisant office de joint et dont la fréquence doit être le résultat d'un calcul précis prenant en compte :

- La courbe de température au long du four (par exemple entrée à 1000°C, sortie à 400°C) où on voit bien que la fréquence des cartons devrait passer d'une valeur x à quasiment 0
- La connaissance de la dilatation thermique des briques utilisées : des briques d'andalousite (type SK60 de Didier - RHIM) dilatent à environ 0.5% à 1000°C, tandis que des briques de bauxite type HB85, sont plutôt à 0.8% à 1000°C.

Décalage du mur sous entrée carneau	
-------------------------------------	--

Dans ce désordre, 2 phénomènes sont intervenus :

- Le blocage aux 2 extrémités du mur ayant provoqué son flambage vers l'intérieur
- La rupture des ancrages ayant apporté un surcroît de déformation sur le côté droit.

Le blocage/flambage trouve son origine dans la dilatation bloquée du mur. Un mur de 3 m de long à 1000°C monté en brique type SK60 va dilater de 15 mm environ. Au fil des années les joints entre briques se remplissent de cendres et accroissent le blocage. On pense raisonnable de ménager 1 joint de 13mm aux extrémités et éventuellement un joint central. L'entretien des joints à chaque arrêt permet de maintenir l'efficacité du dispositif.

Si une autre qualité de brique est utilisée (HB85 par exemple) les joints doivent être plus nombreux et/ou plus épais.

La rupture des ancrages peut résulter du flambage, car les ancrages céramiques sont des matériaux sans déformation admise. Compte-tenu de la vétusté de la zone, c'est l'hypothèse qui est privilégiée. On rappelle néanmoins que la pose des ancrages céramique est un processus qui demande des règles bien précises : ne pas bloquer la griffe métallique de maintien, entourage de la griffe d'un matériau isolant souple (fibre), etc, sans quoi la rupture des ancrages peut être prématurée.

S'il s'agit d'ancrages métalliques, la déformation possible est plus importante, mais la soudure reste fragile.

### #3 – PRECONISATION 3

Foyer : Fractures et usure des tuiles	
---------------------------------------	--

Dans cet incinérateur (comme dans d'autres) 2 effets majeurs sont responsables de la dégradation des tuiles de SiC :

- Corrosion face aux scories, cendres, lave, etc : ces composés provoquent des attaques chimiques du réfractaire se matérialisant par des pertes d'épaisseur, allant jusqu'à une fragilisation importante de la structure. Cette attaque se voit dans le foyer et semble l'effet principal.
- Oxydation du SiC par l'atmosphère gazeuse (oxygène, vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>), se traduisant par un gonflement de la structure, puis le blocage entre tuiles, le flambage du mur et la chute des tuiles. Ce phénomène pourrait expliquer certaines fissurations sans usure de surface, sur des tuiles posées récemment.

Ces 2 effets sont très pénalisants et demandent le changement de tout ou partie des zones impactées.

Or, on sait que certains matériaux sont plus adaptés face à l'un ou à l'autre des effets. Les tuiles disponibles dans le commerce sont en générale adaptées, mais des nuances existent et surtout de grandes différences de prix. Aussi il semblerait pertinent de lancer (peut-être au niveau Groupe) une consultation auprès des principaux fabricants de ces produits, pour mieux les connaître. Dans un second temps, le placement de certaines qualités à des endroits bien choisis en fonction de leur résistance chimique permettrait d'améliorer sensiblement la durée de vie des réfractaires et le coût de la maintenance.

En première approche il semble que les tuiles à liaison nitrure soient intéressantes partout y compris dans le foyer, à partir du moment où la température n'est pas excessive. Il reste qu'elles sont très chères et demandent à durer 3 fois plus que d'autres pour être rentables, et leur utilisation est plafonnée à 1150°C en atmosphère oxydante.

Le faciès d'endommagement évoque plutôt une attaque chimique par les cendres fondues de process. Ce phénomène corrode la surface, et provoque l'amincissement de la tuile. On constate ensuite la vision des ancrages, et la fragilisation de la tuile qui a perdu de son épaisseur.

La réponse à ce phénomène réside dans la qualité microstructurale de la tuile : maîtrise de la porosité notamment. Pour améliorer ce fait, une vigie des qualités existantes précédée d'un cahier des charges plus exigeant serait une réponse.

En termes de pose, le scellement est important : il doit être à prise rapide pour éviter les mouvements.

Quel que soit le type de tuiles, il est indispensable de refaire le joint entre briques à chaque arrêt avec du mastic fibreux.



Voûte du foyer, collecteur, extrémité d'écran : fracturation des bétons avec mise à nu des tubes - mur de chute : perte intégrale de réfractaire

Le mode de dégradation semble basé sur l'endommagement thermomécanique.

**Principe** : le matériau est soumis à des variations thermiques induites par le procédé. Ces variations provoquent des différences dilatométriques entre les différents points au même instant, ou dans le temps. Ces différences dilatométriques sont responsables d'un état de contraintes mécaniques complexe allant souvent jusqu'à la rupture du matériau.

En effet, les réfractaires sont par essence fragiles, c'est-à-dire qu'ils encaissent mal des variations dilatométriques, qui génèrent une déformation. Ce faisant, il y a souvent rupture mécanique, d'où le réseau de fissures et fractures.

Pour tenter d'y remédier :

1. Adopter un matériau plus résistant mécaniquement dans l'absolu, mais l'exercice montre rapidement des limites
2. Adopter un matériau ayant moins de dilatation thermique ; des solutions existent, mais les possibilités restent limitées
3. Adopter un design avec des joints de dilatation en nombre suffisant pour éviter le blocage.

Concrètement on combine les points 2 et 3, ce qui impose de connaître le matériau et d'effectuer un calcul de l'épaisseur des joints nécessaire sur la longueur de la zone réfractaire.

Ainsi pour la voûte, la minceur du béton impose une mise en place de joints en plastique alvéolaire par exemple, selon une fréquence qui dépend de la température et du produit mis en place.

Pour le tube en extrémité d'écran, un joint entre le béton et les tuiles est indispensable car on sait la fragilité de ce genre de montage.

Pour le collecteur en bas de foyer, cette zone est soumise à des conditions thermiques sévères : gradient thermique élevé entre collecteur et foyer et des variations thermiques en surface du réfractaire. De plus, la courbure du collecteur complexifie encore un peu le système.

Par conséquent, le réfractaire subit des contraintes mécaniques variables et importantes qui sont difficiles à contrôler. Il doit présenter des caractéristiques assurant sa durabilité maximale :

1. Utiliser un matériau dont la dilatation thermique est maîtrisée
2. Avoir une politique d'ancrage cohérente
3. Présence de joints de dilatation le long du collecteur

Pour un collecteur recouvert de tuiles de forme (ES34), les studs d'ancrages doivent être parfaitement soudés, et le ciment de scellement adapté (prise rapide) et bien posé. Les joints sont garantis par le pas des ancrages.

#### #5 – PRECONISATION 5

Carneau : conception générale en vu de la réfection à venir

L'usure du carneau se résume comme suit :

1. Endommagement des briques : usure de surface par corrosion par les cendres fondues, creusement des joints entre briques, et rupture quasi-systématique dans à mi-longueur des briques
2. Extrémité du carneau côté parcours : les ouvertures entre briques semblent plus importantes.

Pour le premier point, il faut choisir un type de briques permettant une résistance acceptable face aux cendres fondues, et une bonne résistance thermomécanique, affaire de compromis. Parmi les matériaux existants, les briques d'andalousite (silicate d'alumine naturel) forme probablement le meilleur compromis. Ce sont les qualités utilisées dans les premières versions de l'installation.

La stabilité des murs est apportée par la conception des ancrages en particulier. Ce point est essentiel, et tout particulièrement dans les zones d'extrémité. Un design basé sur des briques avec ancrages spécifiques peut être envisagé, tout comme l'utilisation d'un béton dense analogue aux briques, mais peut-être plus facile en termes de conception qu'un montage briqueté.

## Partie 4 - Inspection travaux sur tournant

INSPECTION – SUIVI TRAVAUX

Journée du 17/04/2024

Faire un état des lieux de la mise en œuvre des réfractaires.

Discussions autour du design du nose-ring (zone de sortie du four)

Principaux constats		Emplacement	Criticité - Photos			
1	Reconditionnement des zones briques endommagées		Ph. 20-21			
2	Pose béton sur anneau d'entrée du four			Ph. 18		
3	nose-ring sortie : soudage des ancrages	Ph. 17				
4	Nose ring sortie : pose de fibreux contre cerce métallique	Pas vu - pas réalisé ?				
5	Nose ring sortie : mise en œuvre béton					
6	Nose ring sortie : aspect béton après coulage	Ph. 19				

RESUMES DES CONSTATS

1

Description : Remise en place de briques en lieu et place des briques fracturées/déplacées. Sur une zone limitée, difficile d’effectuer un travail de qualité parfaite

Préconisation : Aucune dans le moment, sans refaire le four complètement à neuf

2

Description : le béton a été gunité d'un seul tenant, sans pose de joint sec.

Préconisation : Effectuer une pose en 6 ou 8 secteurs avec joints secs ou de dilatation après une estimation de la dilatation totale du matériau (tenant compte de la dilatation thermique et de la température)

3

Description : Soudage de 2 lignes d'ancrages avec orientation alternée et double cordon de soudure pour une plus grande robustesse

Préconisation : Pose des bouchons plastiques après soudage et avant mise en œuvre du béton

4

Description/préconisation : la pose de 10-13mm de fibreux sur la cerce permet de protéger le réfractaire des effets de la dilatation différentielle acier/réfractaire. La pratique a été évoquée, mais le résultat n'a pas été constaté

5

Description : mise en œuvre du Refucast COR F avec 5 %

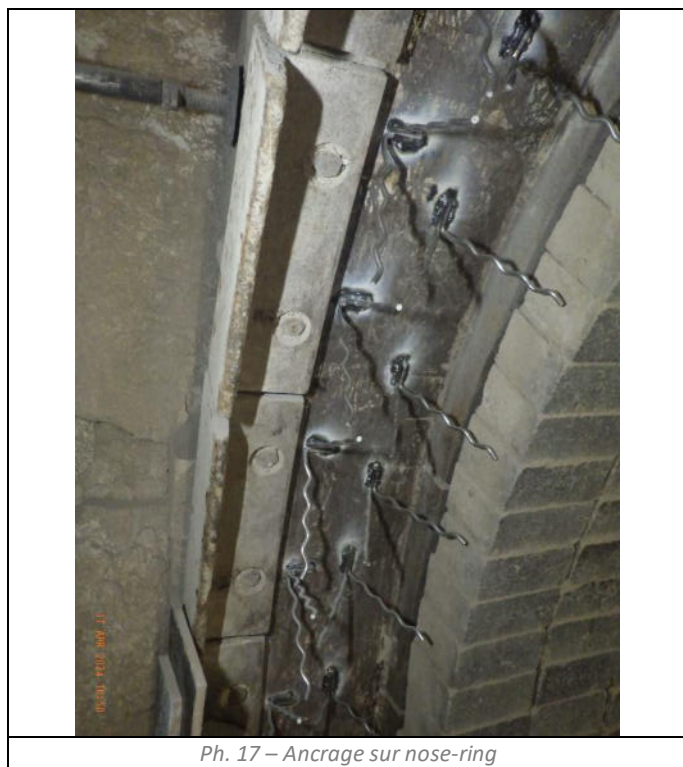
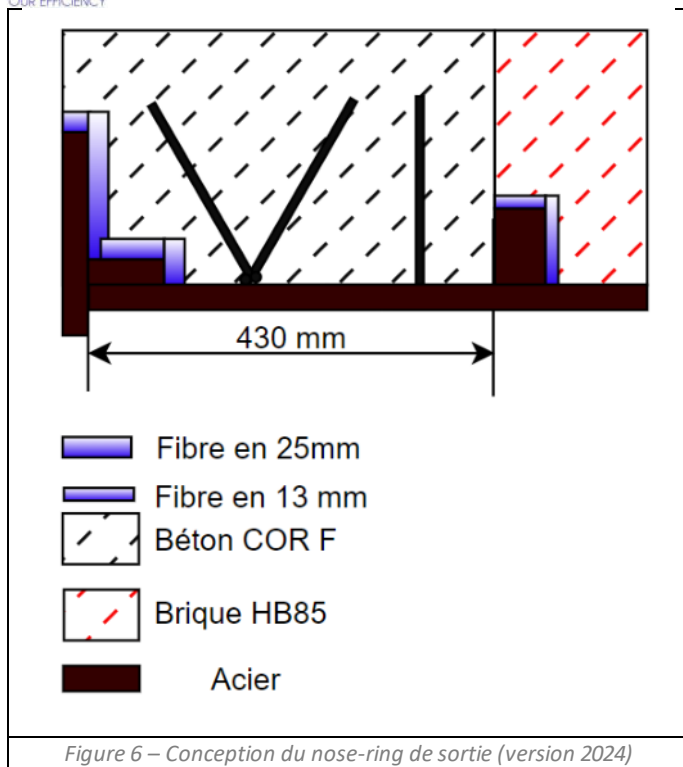
Préconisation : 5% d'eau : correct - en limite haute de spécification (4 à 5%)

### Conception du Nose ring

- 25 mm de fibreux sur les plats-bords
- 6 mm de papier fibreux tous les 90° sur le périmètre ; joint sec en dehors
- 2 lignes d'ancrages avec un espacement entre lignes et ancrages d'environ 30cm.

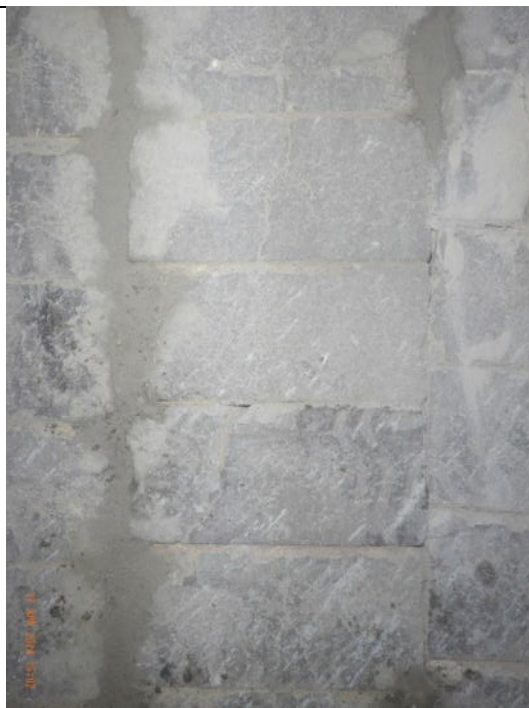
Pour une version ultérieure, nous proposons d'englober la cerce dans le béton (toujours avec un joint de fibre), et de démarrer avec une brique entière à droite et en contact de la cerce (avec un papier fibreux entre réfractaire et métal).

Remarque générale : le travail a été respecté, mais "laborieux".





*Ph. 20 – surface des briques remaniées*



*Ph. 21 – surface des briques remaniées*

REFRACTAIRES FACONNES DENSES SURCOMPRIMES <i>Refractories dense shaped dry pressing</i> <i>Trocken geformte Erzeugnisse</i> <div data-bbox="287 228 617 327" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Base / Based / Basis  BAUXITE </div>	<b>HAUTE TENEUR EN ALUMINE GROUPE 1</b> <i>High alumina group 1 Tonerdreiche Steine</i>
	Date : JANVIER 2006

NORMES : NF		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 56 %	
Qualité/grade/Qualität .....		<b>HB85</b>	<b>HBI85 ou HB85S</b>
Analyse chimique ..... Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>Chemical analysis</i> TiO <sub>2</sub> <i>Chemische Analyse</i> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	81 3,3 1,8 -	83 3,5 1,6 -
Masse volumique apparente ..... <i>Bulk density</i> <i>Rohdichte</i>	To/m <sup>3</sup>	2,82	2,85
Porosité ouverte..... <i>Apparent porosity</i> <i>Offene Porosität</i>	%	19	19
Résistance à l'écrasement à froid..... <i>Cold crushing strength</i> <i>Kaltdruckfestigkeit</i>	N/mm <sup>2</sup>	60	65
Affaissement sous charge : 0,5 % à ..... <i>Refractoriness under load : 0,5 % at</i> <i>Druckerweichung</i>	°C	1470	1480
Conductivité thermique à ..... 400°C <i>Thermal conductivity at</i> 700°C (ASTM C202) 1100°C <i>Wärmeleitfähigkeit</i>	W/m.k	1,90 1,85 1,98	1,93 1,86 2,15
Dilatation thermique ..... <i>Thermal expansion</i> <i>Wärme Ausdehnung</i>	10 <sup>-6</sup> .k <sup>-1</sup>	8	8
Chaleur spécifique moyenne : 20-1100°C ..... <i>Mean specific heat : 20-1100°C</i> <i>Mittlere spezifische Wärme</i>	KJ/kg.k	1,10	1,10
Produits de jointoiement ..... COULIS ( <i>Mortar/Mörtel</i> ) <i>Jointing products</i> CIMENT ( <i>Cement/Zement</i> ): <i>Vermauerungsmasse</i> - REFRAPATE ( <i>Mastic/Kitt</i> )		CB-85	CB-85

Nota : les caractéristiques physiques des briques de forme peuvent être, dans certains cas, inférieures à celles indiquées par cette fiche.

## BETON REFRACTAIRE DENSE



## REFUCAST COR F

A COULER / VIBRER

<b>Classification</b>	: PRE : ASTM F	CLASSE : A	GROUP : 160
<i>Classification</i>			
<b>Nature de liaison</b>	: Hydraulique		
<i>Binding</i>	<i>Hydraulic</i>		
<b>Température limite d'emploi</b>	: 1650°C		
<i>Maximum service temperature</i>			
<b>Consituant de base</b>	: CORINDON BRUN		
<i>Main Component</i>	<i>Brown fused silica</i>		
<b>Classe granulométrique</b>	: 5 mm		
<i>Particule Size</i>			
<b>Etat de livraison</b>	: Sec, Pulvérulant		
<i>State at delivery</i>	<i>Dry, Powdered</i>		
<b>Mode de Mise en œuvre</b>	: COULER / VIBRER		
<i>Application</i>	<i>Cast / Vibrate</i>		
<b>Conditionnement</b>	: Sacs de 25 kg (ou Big Bag) sur palette de 1600kg net		
<i>Packaging</i>	<i>25 kg bag (or big bag) on 1600kg palet</i>		
<b>Durée de Conservation</b>	: 6 mois (Conditions normales de stockage)		
<i>Conserving lifetime</i>	<i>6 months under normal storing conditions</i>		
<b>Rendement Volumique</b>	: 3,0 T/ m³		
<i>Volumetric Efficiency</i>			
<b>Eau de gachage</b>	: 4 à 5% eau potable		
<i>Mixing water</i>	<i>4 to 5% drinking water</i>		

	Normes Norms	Valeurs Moyennes Average Value	Unités Units
<b>Analyse Chimique - Chemical Analysis</b> <i>(Determination on fired substance)</i>			
Al2O3	EN 1402-3	84-86	%
SiO2		9-11	
CaO		1,2-1,5	
Fe2O3		0,90	
<b>Caractéristiques Physiques - Physical Characteristics</b> <i>Physical Characteristics</i>			
<b>Masse Volumique apparente</b> <i>Bulk density</i>	EN 1402-6	3,1	g/cm³
<i>Après Séchage à 110 °C - After drying at 110°C</i>			
<b>Résistance à l'écrasement à froid - Cold Crushing Strength</b> <i>Après Séchage à 110°C - After drying at 110 °C</i>	EN 1402-6	140,00	N/mm²
<i>Après Cuisson à 1200°C - After firing at 1000 °C</i>		220,00	
<i>Après Cuisson à 1500°C - After firing at 1500 °C</i>		240,00	
<b>Variation Permanente de Dimension - Permanent linear change</b> <i>Après cuisson à 1000°C - After firing at 1000 °C</i>	EN 1402-6	+0,2	%
<i>Après cuisson à 1500°C - After firing at 1500 °C</i>		+0,3	
<b>Coefficient de Conductibilité thermique moyenne à 1000 °C</b> <i>Average Thermal Conductivity at 1000 °C</i>	ASTM C 417	1,62	W.m-1 K-1

Ces caractéristiques étant des valeurs moyennes observées lors des contrôles de notre fournisseur, elles ne peuvent être retenues sans notre accord pour l'élaboration d'un cahier des charges

This above datas are subject to reasonable variations and, therefore, should not be taken as a specification

Rue du Parc Industriel, 1 - 4540 AMAY - BELGIQUE  
Tél : 0032 (0) 85 31 15 13 - Fax : 0032 (0) 85 31 32 74 - info@idfr-br.fr



# CALDE® CAST F 50

TYPE DE PRODUIT	: Produit Slice - Alumine Béton conventionnel
Température limite d'emploi	: 1450°C
Constituant de base	: Chamotte
Nature de la liaison	: Hydraulique
Etat de la livraison	: Sec, avec ajout d'eau
Conditionnement	: Sacs
Conservation	: 12 mois
Mode de mise en oeuvre	: Vibrable
Classe granulométrique	: 6 mm
Rendement volumique	: 2.10 T/m³
Quantité d'eau potable à ajouter	: 11.0 / 12.0 litres pour 100 kg de produit sec
Conseils	: Mise en Oeuvre Nr 5

CARACTERISTIQUES	NORMES	VALEURS MOYENNES	UNITES
<u>ANALYSE CHIMIQUE</u>			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	51.0	%
SiO <sub>2</sub>	EN ISO 1927-3	39.0	%
CaO	EN ISO 1927-3	6.2	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	1.3	%
<u>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</u>			
<u>Mesurées sur éprouvettes préparées suivant la norme</u>	EN ISO 1927-5	-	-
<u>Masse volumique apparente</u>			
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	2.14	g/cm <sup>3</sup>
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	2.06	g/cm <sup>3</sup>
<u>Résistance à l'écrasement à froid</u>			
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	40	MPa
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	25	MPa
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	15	MPa
après cuisson à 1400 °C	EN ISO 1927-6	25	MPa
<u>Variation permanente de dimensions</u>			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	-0.1	%
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	-0.2	%
après cuisson à 1400 °C	EN ISO 1927-6	+ 1.4	%
<u>Coefficient de conductivité thermique</u>			
à la température moyenne de 800 °C	EN ISO 1927-8	1.01	W/mK
à la température moyenne de 1000 °C	EN ISO 1927-8	1.06	W/mK
à la température moyenne de 1200 °C	EN ISO 1927-8	1.27	W/mK
<u>Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]</u>		0.63	%

Code Commercial : MAC50085

Version : 11

Date : 29/10/2013

Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.

# CALDE® CAST LF 46 G3

TYPE DE PRODUIT	: Produit Slice - Alumine Béton basse teneur en ciment
Température limite d'emploi	: 1500°C
Constituant de base	: Chamotte
Nature de la liaison	: Hydraulique
Etat de la livraison	: Sec, avec ajout d'eau
Conditionnement	: Sacs
Conservation	: 6 Mois (le liant séparé permet d'augmenter cette période de 12 mois)
Mode de mise en oeuvre	: Vibrable
Classe granulométrique	: 3 mm
Rendement volumique	: 2.25 T/m³
Quantité d'eau potable à ajouter	: 6.5 / 8.0 litres pour 100 kg de produit sec
Conseils	: Mise en Oeuvre Nr 6

CARACTERISTIQUES	NORMES	VALEURS MOYENNES	UNITES
<b>ANALYSE CHIMIQUE</b>			
SiO <sub>2</sub>	EN ISO 1927-3	48.5	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	46.5	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	1.4	%
CaO	EN ISO 1927-3	1.3	%
<b>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</b>			
<u>Mesurées sur éprouvettes préparées suivant la norme</u>	EN ISO 1927-5		-
<u>Masse volumique apparente</u>			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	2.20	g/cm <sup>3</sup>
<u>Résistance à l'écrasement à froid</u>			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	55	MPa
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	110	MPa
après cuisson à 1400 °C	EN ISO 1927-6	120	MPa
<u>Variation permanente de dimensions</u>			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	-0.1	%
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	-0.5	%
après cuisson à 1400 °C	EN ISO 1927-6	-0.4	%
<u>Coefficient de conductivité thermique</u>			
à la température moyenne de 800 °C	EN ISO 1927-8	1.19	W/mK
à la température moyenne de 1000 °C	EN ISO 1927-8	1.24	W/mK
à la température moyenne de 1200 °C	EN ISO 1927-8	1.38	W/mK
<u>Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]</u>		0.63	%

Code Commercial : MAL40036

Version : 12

Date : 13/09/2017

Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.

# CALDE® CAST LW 122 C/G

TYPE DE PRODUIT	: Produit Slice - Alumine Béton isolant
Température limite d'emploi	: 1220°C
Constituant de base	: Chamotte, Perlite
Nature de la liaison	: Hydraulique
Etat de la livraison	: Sec, avec ajout d'eau
Conditionnement	: Sacs
Conservation	: 12 mois
Mode de mise en oeuvre	: Coulable ( Tringlage, vibration minimale ), Gunitable
Classe granulométrique	: 5 mm
Rendement volumique	
coulage	: 0.83 T/m³
projection	: 1.20 T/m³ (Rebond compris)
Quantité d'eau à ajouter	
coulage	: 46.0 / 52.0 litres pour 100 kg de produit sec
projection	: A la buse
Conseils	: Mise en Oeuvre Nr 9

CARACTERISTIQUES	NORMES	VALEURS MOYENNES		UNITES
		Coulé	Projeté	
<u>ANALYSE CHIMIQUE</u>				
SiO2	EN ISO 1927-3	43		%
Al2O3	EN ISO 1927-3	38.5		%
CaO	EN ISO 1927-3	9.5		%
Fe2O3	EN ISO 1927-3	5.5		%
<u>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</u>				
<u>Mesurées sur éprouvettes préparées suivant la norme</u>	-	EN ISO 1927-5	CALD010	-
<u>Masse volumique apparente</u>				
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	0.85	1.15	g/cm3
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	0.80	1.05	g/cm3
<u>Résistance à l'écrasement à froid</u>				
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	1.5	4.0	MPa
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	1.5	3.0	MPa
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	0.7	2.0	MPa
<u>Variation permanente de dimensions</u>				
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	-0.4	-0.5	%
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	-1.3	-1.2	%
<u>Coefficient de conductivité thermique</u>				
à la température moyenne de 800 °C	EN ISO 1927-8	0.23	0.30	W/mK
à la température moyenne de 1000 °C	EN ISO 1927-8	0.29	0.36	W/mK
à la température moyenne de 1200 °C	EN ISO 1927-8	0.43	0.51	W/mK
<u>Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]</u>		0.58	0.58	%

Code Commercial : MAI40087

Version : 13

Date : 06/03/2017

Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.

# CALDE® GUN C 28 HR

TYPE DE PRODUIT	: Produit Slice - Alumine Béton conventionnel
Température limite d'emploi	: 1500°C
Constituant de base	: Chamotte
Nature de la liaison	: Hydraulique
Etat de la livraison	: Sec, avec ajout d'eau
Conditionnement	: Sacs
Conservation	: 12 mois
Mode de mise en oeuvre	: Gunitable
Classe granulométrique	: 6 mm
Rendement volumique	: 2.30 T/m <sup>3</sup> (Rebond compris)
Quantité d'eau potable à ajouter	: A la buse
Conseils	: Mise en oeuvre Nr 23

CARACTERISTIQUES	NORMES	VALEURS MOYENNES	UNITES
<b>ANALYSE CHIMIQUE</b>			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	51.0	%
SiO <sub>2</sub>	EN ISO 1927-3	39.0	%
CaO	EN ISO 1927-3	6.9	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	1.1	%
<b>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</b>			
Mesurées sur éprouvettes préparées par projection	CALD 010		-
Masse volumique apparente			
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	2.15	g/cm <sup>3</sup>
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	2.00	g/cm <sup>3</sup>
Résistance à l'écrasement à froid			
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	70	MPa
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	50	MPa
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	30	MPa
après cuisson à 1500 °C	EN ISO 1927-6	40	MPa
Variation permanente de dimensions			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	-0.2	%
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	-0.3	%
après cuisson à 1500 °C	EN ISO 1927-6	-1.0	%
Coefficient de conductivité thermique			
à la température moyenne de 800 °C	EN ISO 1927-8	0.94	W/mK
à la température moyenne de 1000 °C	EN ISO 1927-8	1.00	W/mK
à la température moyenne de 1200 °C	EN ISO 1927-8	1.16	W/mK
Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]		0.63	%

Code Commercial : MAG50094

Version : 11

Date : 31/10/2013

Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.

TYPE DE PRODUIT	: Produit special Beton conventionel
Température limite d'emploi	: 1500°C
Constituant de base	: Carbure de silicium
Nature de la liaison	: Hydraulique
Etat de la livraison	: Sec, avec ajout d'eau
Conditionnement	: Sacs
Conservation	: 12 mois
Mode de mise en oeuvre	: Gunitable
Classe granulométrique	: 3 mm
Rendement volumique	: 2.55 T/m <sup>3</sup> (Rebond compris)
Quantité d'eau potable à ajouter	: A la buse
Conseils	: Mise en oeuvre Nr 23

CARACTERISTIQUES	NORMES	VALEURS MOYENNES	UNITES
<b>ANALYSE CHIMIQUE</b>			
SiC	EN ISO 1927-3	68.5	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	16.5	%
SiO <sub>2</sub>	EN ISO 1927-3	11.8	%
CaO	EN ISO 1927-3	2.5	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EN ISO 1927-3	0.2	%
<b>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</b>			
<u>Mesurées sur éprouvettes préparées par projection</u>	CALD 010		-
<u>Masse volumique apparente</u>			
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	2.30	g/cm <sup>3</sup>
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	2.25	g/cm <sup>3</sup>
<u>Résistance à l'écrasement à froid</u>			
après séchage à 110 °C	EN ISO 1927-6	50	MPa
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	40	MPa
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	30	MPa
après cuisson à 1500 °C	EN ISO 1927-6	40	MPa
<u>Variation permanente de dimensions</u>			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	-0.1	%
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	-0.2	%
après cuisson à 1500 °C	EN ISO 1927-6	-0.2	%
<u>Coefficient de conductivité thermique</u>			
à la température moyenne de 800 °C	EN ISO 1927-8	4.14	W/mK
à la température moyenne de 1000 °C	EN ISO 1927-8	4.27	W/mK
à la température moyenne de 1200 °C	EN ISO 1927-8	4.71	W/mK
<u>Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]</u>		0.58	%

Code Commercial : MSG60016

Version : 11

Date : 24/01/2014

Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.



# G U N E C 5 0 5 F

## BETON REFRACTAIRE DENSE A PROJETER

### DENSE REFRACTORY SPRAYING CONCRETE

<b>Classe - Class</b>	:	PRE : <b>R42</b>	CLASSE : <b>A</b>	GROUP : <b>150</b>
<b>Nature de la liaison - Binding</b>	:	Hydraulique – <i>Hydraulic</i>		
<b>Température limite d'emploi</b> <i>Maximum service temperature</i>	:	1500°C		
<b>Constituant de base – Main Component</b>	:	Chamotte – <i>Chamot</i>		
<b>Classe granulométrique – Particule Size</b>	:	5 mm		
<b>Etat de livraison – State at delivery</b>	:	Sec, pulvérulent – <i>dry, powdery</i>		
<b>Mode de mise en œuvre – Application</b>	:	Projection - <i>spraying</i>		
<b>Conditionnement - Packaging</b>	:	sacs de 20 kg (ou big bag) - <i>20 kg bag (or big bag)</i> sur palette de 1280 kg net – <i>on 1280 kg palet</i>		
<b>Durée de conservation</b> <i>Conserving lifetime</i>	:	6 mois min. (conditions normales de stockage) <i>6 months min under normal storing conditions</i>		
<b>Rendement volumique</b> <i>volumetric efficiency</i>	:	2,05 T/m <sup>3</sup> hors rebond - <i>rebound excluded</i>		
<b>Eau de gachage - Mixing water</b>	:	à la buse - <i>at the nozzle</i>		

	Normes Norms	Valeurs moyennes Average value	Unités Units
<b>Analyse Chimique - Chemical Analysis</b> (après calcination - <i>after calcination</i> ) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO	PRE R25	<b>50</b> <b>38.5</b> <b>1.1</b> <b>7.6</b>	%
<b>Caractéristiques Physiques - Physical Characteristics</b>			
<b>Masse volumique apparente</b> (après séchage à 110°C) <i>Bulk Density (after drying at 110°C)</i>	PRE R9	<b>2,18</b>	g/cm <sup>3</sup>
<b>Résistance à l'écrasement à froid- Cold Crushing Strength</b> Après séchage à 110°C ( <i>after drying at 110°C</i> ) Après cuisson à 1500°C ( <i>after firing at 1500°C</i> )	PRE R27	<b>75</b> <b>47</b>	N/mm <sup>2</sup>
<b>Variation permanente de dimension</b> (après cuisson à 1500°C) <i>Permanent linear change (after firing at 1500°C)</i>	PRE R28	<b>- 0.9</b>	%
<b>Coefficient de conductibilité thermique moyenne à 1000°C</b> <i>Average thermal Conductivity at 1000°C</i>	ASTM C 417	<b>1</b>	W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

Ces caractéristiques étant des valeurs moyennes observées lors de nos contrôles, elles ne peuvent être retenues sans notre accord pour l'élaboration d'un cahier des charges-The above datas are subject to reasonable variations and, therefore, should not be taken as a specification.