



Reconstruction ligne 1 Inspection ligne 2

Trisalid 2024

Rev.	Date	Description	Auteur	Approba°
0	26/09/2024	Première Publication	СР	AP

Sommaire du rapport



1. Résumé des observations et préconisations

2. Présentation d'A&C PROCESS

3. Contexte et informations générales du site

4. Cartographies des observations – Explications

4-1. Cartographie des observations – Ligne 1

4-2. Cartographie des observations – Ligne 2

5. Compilation des observations

1. Résumé des observations et préconisations



- Présence de A&C Process les 7, 13, 14, 19 et 20 mars 2024
- Réalisation des parois latérales selon le projet mené en 2023 avec Refratechnik comme fabricant
- L'exécution a été confiée à CTIO, avec la sous-traitance de Engitherm
- La réalisation des parois ligne 1 a été menée entre le 6 et le 14 mars 2024
- La qualité a été globalement bonne : réalisation selon les plans et les règles de l'art (dans la mesure de nos constats ponctuels)
- Amélioration possible : réalisation d'un plan complet incluant les parois latérales, voûtes,
 jonctions avec le parcours (piliers), et parcours réfractarisé.
- Mécanisme d'endommagement constaté dans le parcours : essentiellement d'origine thermomécanique avec fissuration et écaillage, pas de corrosion significative, à l'inverse du foyer où la corrosion et l'endommagement mécanique sont tous les 2 importants
- Ligne 2: Inspection faite les 19 et 20/03/2024. Foyer moins en souffrance que la ligne 1, mais changement important fait sur les parois au niveau grille 3

2. Présentation d'A&C Process



Bureau d'Etudes Techniques accompagnant ses clients dans l'optimisation de leurs procédés.
 Tout procédés, avec une spécialité dans les procédés Haute Température.

Objectifs:

- Pérenniser son fonctionnement
- Améliorer son efficacité
- L'adapter aux besoins et attentes de production
- Maîtriser les coûts

— Moyens:

- Compétences
 - o Physico-chimie
 - Science des matériaux
 - Génie des procédés
 - Combustion
- Logiciels de calcul, conception et dimensionnement
- Equipement de mesures
- Indépendance totale vs. fabricants et fumistes



3. Contexte et informations générales du site



- Localisation : Saran (Loiret)
- Nombre de lignes : 2 fours Volund à chaudière déportée



- Vapeur :
 - Tonnage
 - Pression
- Combustible :
 - Typologie (+ratio estimé)
 - Tonnage
 - PCI moyen : 2200-2400
 - Variabilité (soir/week-end, saisonnalité)
- Prestataires :
 - Fourniture matériaux : Refratechnik, Calderys
 - Fumisterie : CTIO
 - Chaudronnerie
 - Grille/rouleau
- Fréquence d'arrêts (actuelle (durées), souhaitée) : 1 arrêt/ligne/12 mois
- Lignes concernées par l'intervention : 1 et 2



4. Cartographie des observations - Explications

- C
- Sur base des plans initiaux des lignes, identification par zonage coloré des observations et des points de non-conformité/pistes d'amélioration
- Une page par jour de supervision, contenant :
 - Les différentes étapes de reconstruction ou réparation de la zone, le cas échéant
 - Les matériaux mis en œuvre
 - Les bonnes pratiques observées
 - Les anomalies de construction et éventuelles réserves
 - Un plan de maintenance adapté sur la base des observations

— Un code couleur :

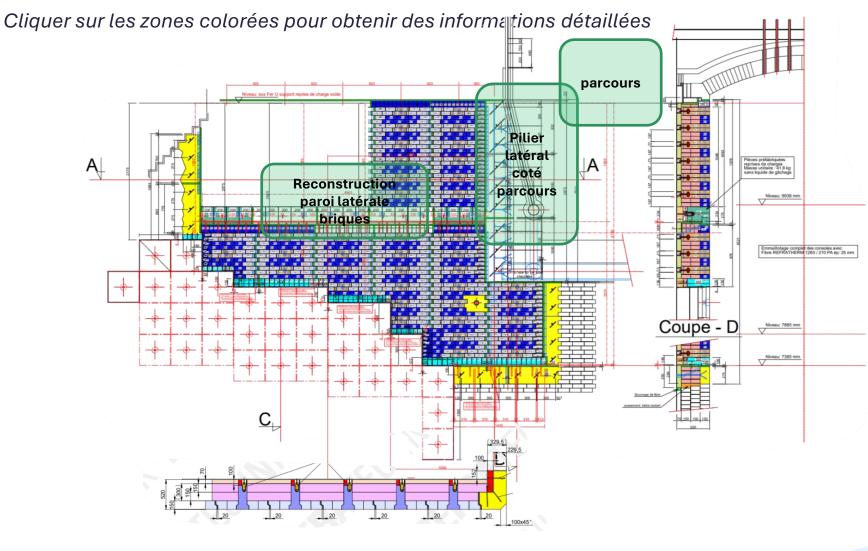
- Non-conformité majeure avec réserve pouvant induire des problématiques importantes lors de la mise en service ou l'exploitation de l'installation
- Non-conformité mineure n'impliquant pas un risque important de perte de durabilité
- Améliorable
- Réalisation complètement adaptée en termes de moyens, matériaux, méthodes. Pas d'améliorations particulières identifées.

Vers Cartographie
Ligne 1 >

Vers Cartographie Ligne 2 >

4-1. Cartographie des observations – Ligne 1



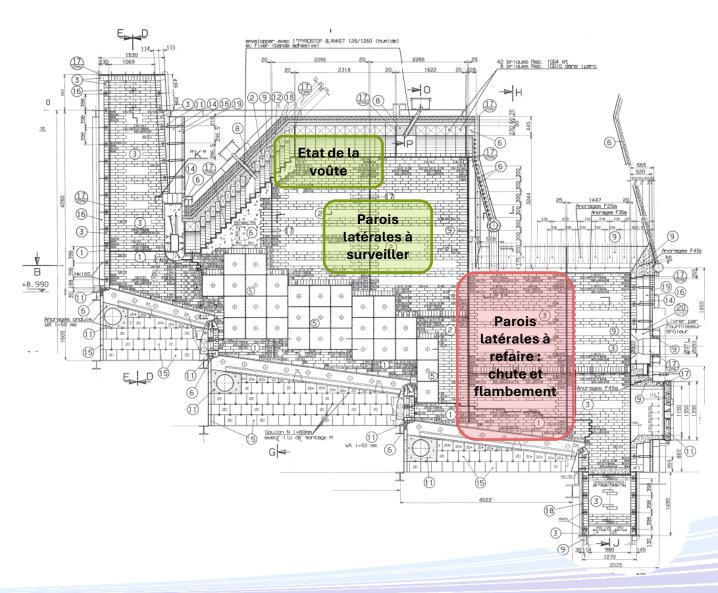


< Explications

4-1. Cartographie des observations – Ligne 2



Cliquer sur les zones colorées pour obtenir des informations détaillées



Montage des parois latérales – Ligne 1

	<u> </u>									
				Liste des matériaux : (surligner ceux qui sont considérés)	Same makes of parameter	est		11		
Describility of the	D	latifical and	. 1. 2	Brique Burton S62T – épaisseur nominale 150mm	A.				A B	
Description de la zone	Parois latérales en briques et bétons préfabriqués			Briques Burton S62T – formes spéciales ancrage et joints chicanés						Interest every
20110	Botons	prorabile	100	Briques isolantes classe 26 – 2x150mm	++++		Col	Photo Photo Photo Photo Photo Photo Photo Photo Photo		
				Blocs isolants type « Calsil » - épaisseur 70mm	c,	+ + +	+			
Résumé général	béton,	selon le pr réalisation	ojet porté en 2	solantes ; montage d'une ceinture intermédiaire de reprise des 2023 avec Refratechnik et les amendements CTIO (montage). blans, et bonne qualité de mise en œuvre : montage des briques	<u> </u>		·			ιués de
	Jour	Description de l'étape								Photo
	07/03	1.Soudage	e des consoles	e reprise de charge en géométrie et qualité de soudure						-
	07/03	2.Maçonn	2.Maçonnage des briques – dimensionnel, pose des isolants et respect du plan							Photo Photo Photo Photo
	07/03	3. Maçonnage des briques – qualité d'application du mortier de scellement								
Mode opératoire	07/03	4. Maçonnage des briques et mise en place des préfabriqués : qualité de soudure des ancrages								-
	10/03	5. Montage des blocs préfabriqués avec mise en place de la fibre isolante sous reprise de charge								
	13/03	6. Visuel e	n fin de monta	ge : allure générale et dimensionnel						
	13/03	7. En fin de	n fin de montage : joints de dilatation entre briques, blocs préfabriqués en béton et joint sous voûte							
	14/03	8.Montage pilier béton côté parcours et jonction paroi tubée								-
	14/03	9. Achèvement des jonctions avec voûte inclinée au béton gunité								Ð
< Carto Ligne 1	Précon	isations	,	bilité, la réalisation complète d'un nouveau plan intégrant les n iliers latéraux et la jonction avec la paroi tubée	nodifications	fait	es e	en p	arti	culier au

Client - 26/09/2024 CONFIDENTIEL

Montage des parois latérales Ligne 1



Console de reprise de charge



Montage des S1 sur plaques à trous



Revêtement en partie basse (S1 et isolants)



Montage des briques denses de forme et des isolants



Revêtement en partie médiane (briques de forme et blocs préfabriqués) – photo CTIO



Ancrage des blocs béton préfabriqués (photo CTIO)

< Carto Ligne 1

Retour Page de

Paroi latérales Ligne 1 – état quasi-achevé



Mur droit en état de quasi achèvement



Ceinture de blocs préfabriqués



Joint de dilatation entre briques = 20mm



Joint de dilatation sous voûte = 35mm



Allure ceinture de blocs préfabriqués

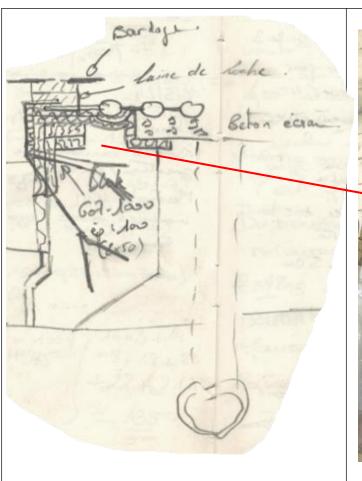


Joint de dilatation de 20mm tous les 800mm

< Carto Ligne 1

Retour Page de

Piliers et jonction béton Ligne 1







Jonction inférieure avec ses joints de dilatation



Jonction inférieure en cours de réalisation (notez les ancrages)

Schéma de réalisation pilier latéraux (discussion CTIO)

Visuel sur montage pilier (notez les ancrages et les blocs fibreux)

< Carto Ligne 1

< Retour Sommaire

Montage complexe mais qui permet d'accommoder les mouvements relatifs foyer/parcours tout en garantissant une bonne isolation thermique

Client - 26/09/2024

Parcours Ligne 1 – zones résiduelles



Endommagement

On note principalement de la fissuration plus ou moins dense, et peu de corrosion (cendres). Des zones écaillées : perte d'épaisseur de plusieurs centimètres « d'un coup ».

Causes, Nature, Origine La fissuration (photo de droite) peut provenir d'une variation thermique trop rapide : arrêt froid ou démarrage consécutif, voire séchage mal maîtrisé en 2023

L'écaillage structural provient d'un blocage local en dilatation









Ecaillage structural sur béton

< Carto Ligne 1

< Retour Sommaire

Préconisations

Adopter des pratiques 'arrêt et de redémarrage avec une évolution lente de la température pour limiter la fissuration

Conserver à l'esprit la pose de joints de dilatation de largeur suffisante (calcul à partir des données du matériau et de la température pressentie dans la zone)

Client - 26/09/2024

Parcours Ligne 1 Liste des matériaux Béton autocoulable CaldeFlow AZ2CP Parcours réfractarisé sur paroi Description de la tubée zone Il n'y a pas eu d'expertise préalable sur l parcours pour préciser les modes d'endommagement sauf examen des zones résiduelles. Mise en place de béton autocoulable sur tubes et ancrages avec réalisation de joints de dilatation de 13mm tous les mètres en Résumé général horizontal et ajout de plastique alvéolaire (6mm) tous les mètre en vertical. CTIO a noté une prise assez lente du produit, interdisant un décoffrage rapide. Il n'y a pas eu d'investigation quant à ce phénomène Description de l'étape Photo Jour \rightarrow 1. Nettoyage des écrans de tubes - constaté 2. Soudage des ancrages Non vu 07/03 3. Réalisation des coffrages : solidité et dimensionnel 19/03 4. Coulage des bétons Non vu Mode opératoire 5. Aspect après réalisation : certaines zones un peu fissurées \rightarrow 6. 8. 9. Réfléchir au meilleur choix de béton pour la zone parcours compte-tenu des quelques désordres constatés Préconisations

Client - 26/09/2024 CONFIDENTIEL 14

Réalisation du parcours Ligne 1



Nettoyage des parois tubées



Zone achevée et coffrage



Zone bétonnée sur piquage



Zone bétonnée



Zone bétonnée

< Carto Ligne 1

Photos à l'état d'achèvement Ligne 1







Bas de paroi gauche



Bas de paroi droite



Haut de paroi gauche



Pilier droit vers parcours

< Carto Ligne 1

< Retour Sommaire

Client - 26/09/2024

Bas de paroi droite

Ligne 2 – murs latéraux grille 3 – chute



Endommagement

En aval, côté machefers, la paroi est fortement flambée, avec importante chute de briques à gauche. A droite, déformation de plusieurs centimètres

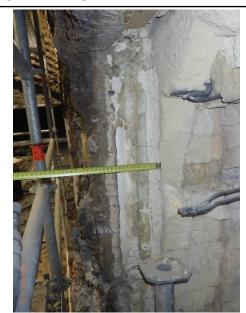
Causes, Nature, Origine La corrosion semble peu marquée (épaisseur résiduelle réfractaire importante). Le mur est flambé dans sa globalité par blocage en dilatation et déformation thermoplastique (fluage) des fers de maintien – on note des ruptures de soudures sous l'effet de la charge de flambage – effet lié à la température probablement importante :

- Insuffisance de l'accommodement de la dilatation thermique (joints de dilatation)
- Température excessive dans les fers d'ancrages à intégrer dans la conception un recul des ancrages métalliques (cf ligne 1)

Photos



Chute dee briques et flambage des briques résiduelles



Epaisseur résiduelle des bétons en limite proche de l'épaisseur d'origine



Déformation importante des fers d'ancrages des briques de forme

< Carto Ligne 2

Préconisations

A refaire intégralement – côté droit comme côté gauche. Intégrer un accommodement de dilatation suffisant (à calculer finement en fonction de la température et du produit installé

< Retour Sommaire

Client - 26/09/2024 CONFIDENTIEL 17

Ligne 2 – Parois latérales hors grille 3



Endommagement

Les parois sont globalement en place sans grande déformation apparente

Causes, Nature, Origine L'endommagement n'est pas catastrophique : le réfractaire subit une attaque par corrosion qui reste circonscrite à la surface. Le dépôt est compact et vitreux en contact du réfractaire, sur ce dépôt viennent se coller les cendres plus ou moins fondues. On constate que les joints entre damiers de bétons sont ouverts signe d'un non-blocage en dilatation.

A surveiller toutefois la paroi droite montre des signes de flambage





Paroi gauche avant décrassage : dépôt de cendres agrégées



Après décrassage : dépôt compact en contact du réfractaire



Paroi droite avec un apparent flambage à surveiller de près

< Carto Ligne 2

< Explications

< Retour Sommaire

Préconisations

Ne pas remplacer dans l'immédiat (question de priorité par rapport aux nécessaires réparations) L'option béton (à confirmer si c'est bien le béton de bauxite Bagot) reste pertinente pour des réparations limitées en quantité.

La ligne 2 semble moins impactée par l'usure des parois que la ligne 1

Ligne 2 – Etat de la voûte droite



19

Endommagement

anneaux de voûte affaissés.

La corrosion de surface est bien visible, avec toutefois une épaisseur résiduelle confortable



Corrosion de surface par les cendres fondues qui génère une couche de 2 cm s' »caillant de la surface du réfractaire. Le phénomène reste circonscrit à une épaisseur modérée.

Certains anneaux sont affaissés par rapport à la courbe moyenne. L'integrite de la voûte n'est pas atteinte de ce point de vue Une ouverture est visible côté gauche à la jonction avec la voûte inclinée (air frais de l'extérieur)





Anneaux en décalage (notez la surface latérale blanche)



Ecaillage sur 2 cm suite corrosion par les cendres

< Carto Ligne 2

< Explications

< Retour Sommaire

Préconisations

Voûte à surveiller à chaque arrêt, pour anticiper un désordre plus important. La qualité de brique peut être discuter pour :

- Limiter la corrosion
- Limiter les mouvements et descentes d'anneaux

Envisager une construction imbriquée et non en anneaux apporterait plus de stabilité

5. Conclusions Ligne 1



- La reconstruction des latéraux s'est faite selon les plans fournis par Refratechnik amendés par CTIO
- La qualité de réalisation des parois latérales a été bonne, tant du point de vue du dimensionnel que des points de design de détail :
 - Mise en œuvre des ancrages et des reprises de charges
 - Gestion et réalisation des joints de dilatation
 - Mise en œuvre des briques, respect des formats et du plan de calepinage
- Le parcours a fait également l'objet de réparations, suite à des ruptures par panneaux. L'intégralité des opérations n'a pas été suivie,
 - Bon accommodement de la dilatation
 - Néanmoins nous continuons de penser que les bétons choisis ne sont pas le meilleur compromis dans cette zone

5. Conclusions Ligne 2

< Retour Sommaire

21

- Fort endommagement des latéraux en grille 3 par blocage en dilatation,
 flambage des parois et chute de briques, sur toute la hauteur
- Reconstruction faite avec un montage proposé et mis en œuvre par CTIO :
 - Isolants : 60 mm de laine de roche; 4x25mm mm de fibreux 1300° C; 50 mm de panneaux BLOK 607-1000; 90 mm de béton réfractaire gunité CALDE CAST LW 122 C/G
 - Dense : 220 mm de béton réfractaire CALDE CAST LF 44
- Remarque : le joint du dense (béton de chamotte) est différent des dernières réalisations (béton de bauxite)
 - Avantage: moins de dilatation thermique donc potentiellement moins de blocage
 - Inconvénient : température maximale d'utilisation probablement plus faible (mais qui reste de l'ordre de 1500°C cf la VPD)
- Voûte en « état d'usage » qui est à surveiller du point de vue de la stabilité de certains anneaux mais peu de perte d'épaisseur par corrosion
- Zones restantes des parois latérales : en état d'usage avec possible flambage,
 et corrosion, mais épaisseur résiduelle probablement encore suffisante

Fiches techniques des bétons mis en oeuvre





FICHE TECHNIQUE

CALDE® CAST LF 44

TYPE DE PRODUIT

Température limite d'emploi Constituant de base Nature de la liaison Etat de la livraison Conditionnement Conservation Mode de mise en oeuvre Classe granulométrique

Rendement volumique Quantité d'eau potable à ajouter Conseils

: Produit Silice - Alumine Beton basse teneur en ciment

: 1500°C : Chamotte : Hydraulique : Sec, avec ajout d'eau

: Sacs : 6 mois : Vibrable : 6 mm

: 8.0 / 9.5 litres pour 100 kg de produit sec

: Mise en Oeuvre Nr 6

CARACTERISTIQUES	NORMES	VALEURS MOYENNES	UNITES
ANALYSE CHIMIQUE			
SiO2	EN ISO 1927-3	50.3	%
Al2O3	EN ISO 1927-3	43.0	%
CaO	EN ISO 1927-3	2.5	%
Fe2O3	EN ISO 1927-3	1.4	%
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES			
Mesurées sur éprouvettes préparées suivant la norme	EN ISO 1927-5	-	
Masse volumique apparente			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	2.15	g/cm3
Porosité ouverte			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	23	%
Résistance à l'écrasement à froid			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	50	MPa
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	55	MPa
après cuisson à 1500 °C	EN ISO 1927-6	75	MPa
Variation permanente de dimensions			
après cuisson à 800 °C	EN ISO 1927-6	-0.1	%
après cuisson à 1200 °C	EN ISO 1927-6	-0.3	%
après cuisson à 1500 °C	EN ISO 1927-6	-0.2	%
Coefficient de conductivité thermique			
à la température moyenne de 800 °C	EN ISO 1927-8	1.12	W/mK
à la température moyenne de 1000 °C	EN ISO 1927-8	1.17	W/mK
à la température moyenne de 1200 °C	EN ISO 1927-8	1.32	W/mK
Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]		0.61	%

Code Commercial: MAL40025 Date: 15/11/2013 Version: 11 Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.

calderys

FICHE TECHNIQUE

CALDE® CAST LW 122 C/G

TYPE DE PRODUIT

Température limite d'emploi Constituant de base Nature de la liaison Etat de la livraison Conditionnement Conservation Mode de mise en oeuvre Classe granulométrique Rendement volumique

projection Quantité d'eau à ajouter coulage projection

Conseils

: Produit Silice - Alumine Beton isolant

: 1220°C : Chamotte, Perlite : Hydraulique : Sec, avec ajout d'eau : Sacs : 12 mois

: Coulable (Tringlage, vibration minimale), Gunitable

: 0.83 T/m3

: 1.20 T/m3 (Rebond compris)

: 46.0 / 52.0 litres pour 100 kg de produit sec

: Mise en Oeuvre Nr 9

		VALEURS N	MOYENNES		
CARACTERISTIQUES	NORMES		Projeté	UNITES	
ANALYSE CHIMIQUE					
SiO2	EN ISO 1927-3	4	3	%	
AI2O3	EN ISO 1927-3	38	.5	96	
CaO	EN ISO 1927-3	9	5	96	
Fe2O3	EN ISO 1927-3	5.5		96	
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES					
Mesurées sur éprouvettes préparées suivant la norme		EN ISO 1927- 5	CALD010	-	
Masse volumique apparente				1	
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	
Résistance à l'écrasement à froid				1	
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	
Variation permanente de dimensions				1	
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	%	
Coefficient de conductivité thermique				1	
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	
Dilatation thermique réversible après cuisson [20-1000 °C]		0.58	0.58	96	

Code Commercial: MAI40087 Les valeurs annoncées sont des moyennes de fabrication courante. Elles ne peuvent être retenues comme limites pour une spécification.