

Choix optimal des réfractaires dans les incinérations de déchets industriels traités en fours rotatifs

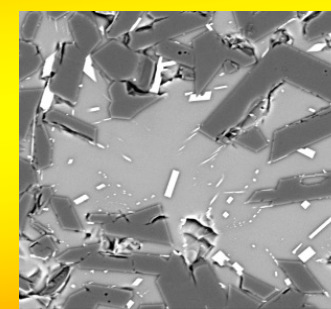
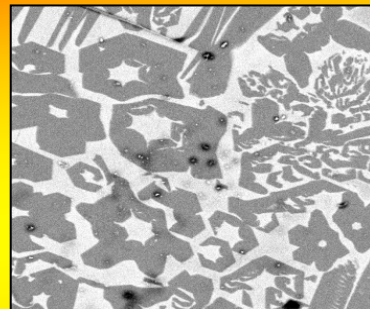
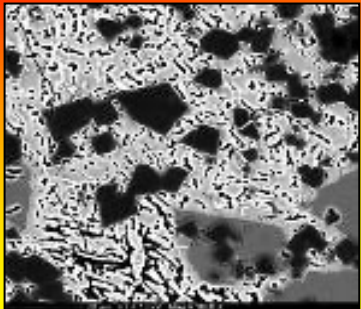
Jacques POIRIER , Adrian VILLALBA WEINBERG

CEMHTI-CNRS, Université d'Orléans

Imerys Villach GmbH



Déchets



The background image shows an industrial facility, likely an incineration plant, with a large cylindrical structure and extensive scaffolding. A large plume of white smoke or steam rises from the left side of the frame against a bright, hazy sky. The scene is captured in a low-angle, slightly tilted perspective.

Partie I. Le contexte

Incinération de déchets industriels

I. Incinération de déchets industriels :

Une technologie pour protéger l'environnement



Déchets industriels
+
Déchets hospitaliers



Températures > 1000°C
nécessaires pour détruire
tous les déchets toxiques

Incinération

Gaz (CO₂, H₂O, N₂)

+

cendres

+

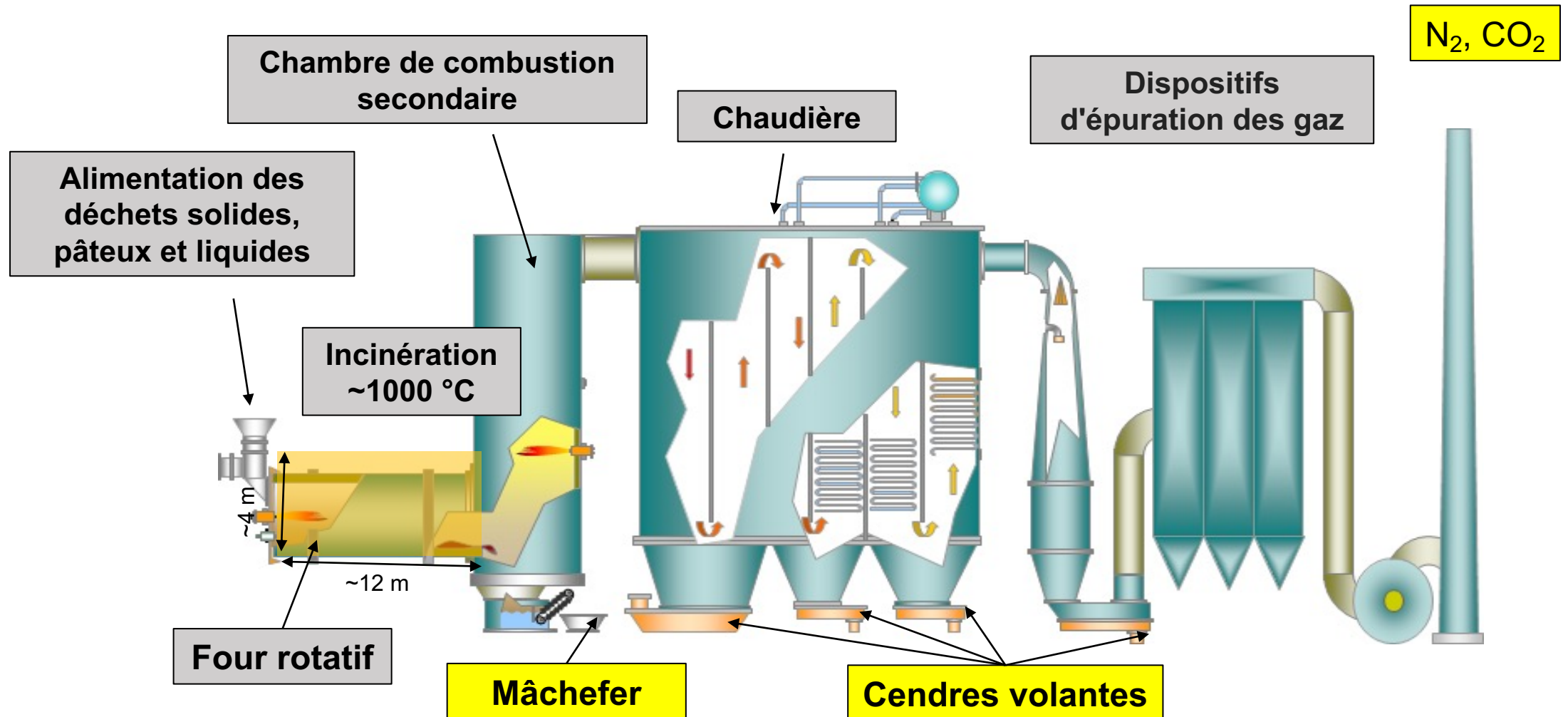
Mâchefers



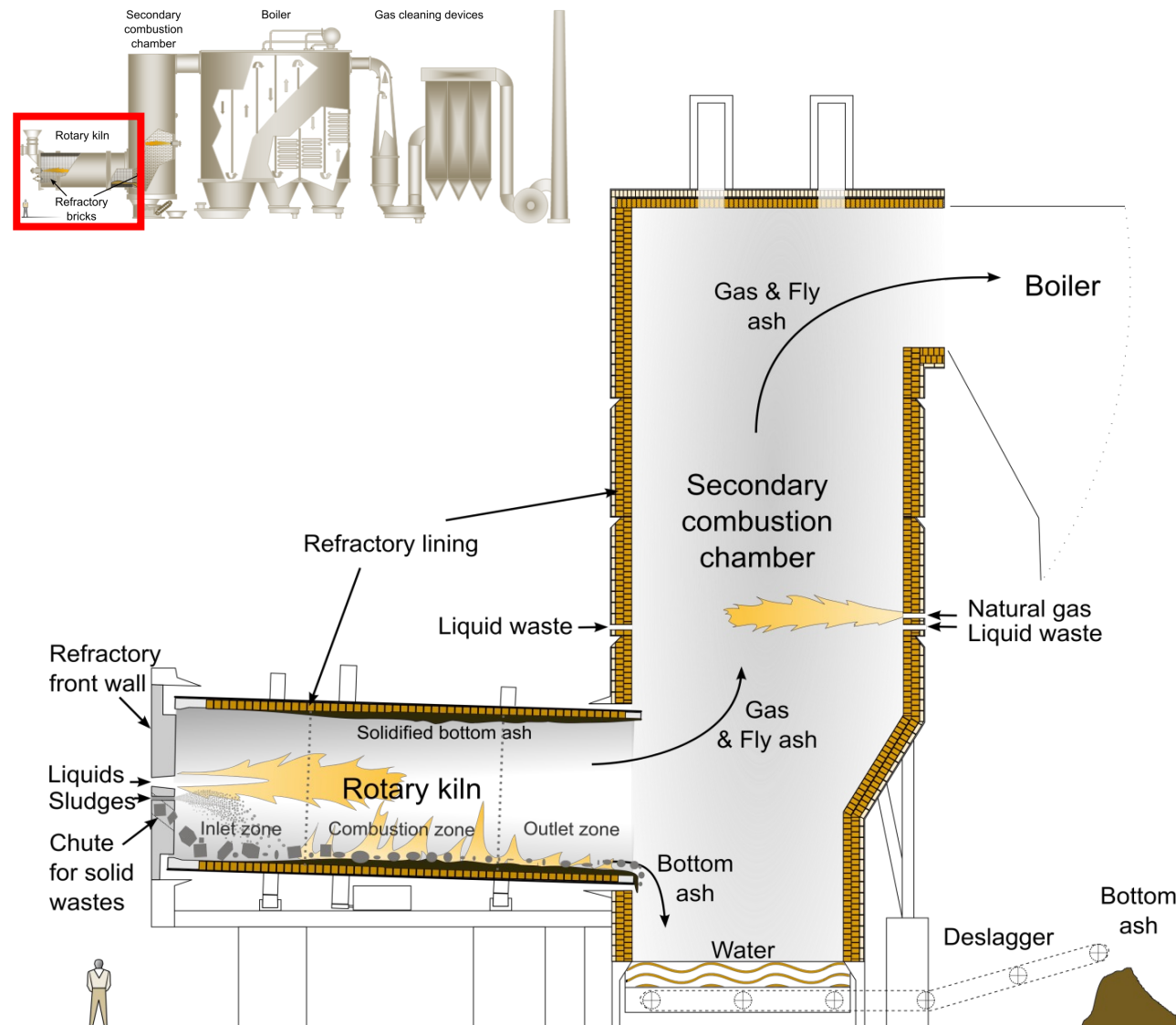
- Moins toxique
- Réduction de volume
- Réduction du poids
- Facilite la mise en décharge /recyclage

Site typique d'incinération de déchets industriels

➤ Le four tournant est la technologie la plus répandue



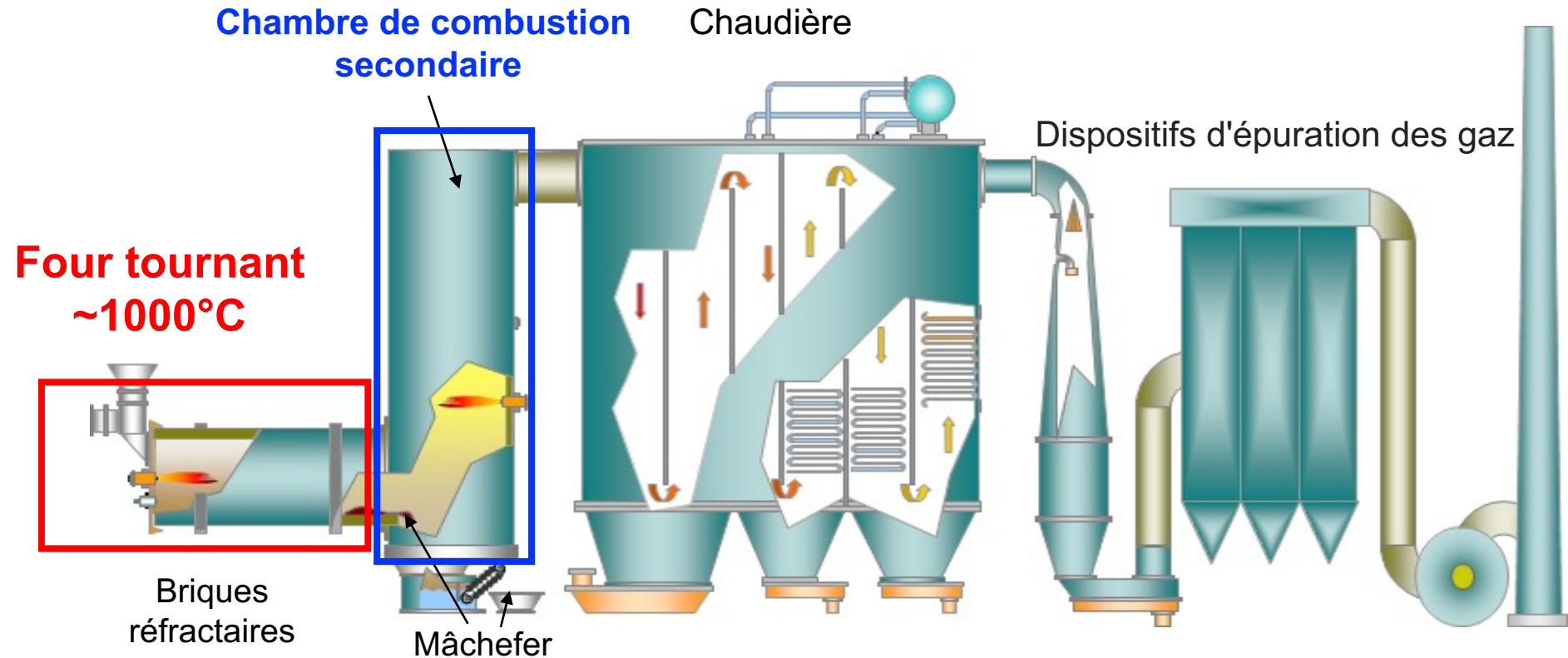
Four tournant d'incinération de déchets industriels



Longueur : 5 à 15 m
Diamètre 3 à 5 m

Inclinaison 3%
Rotation 0.05 à 0.7 tr/min
Temps de résidence 30-90 min

Four tournant d'incinération de déchets industriels

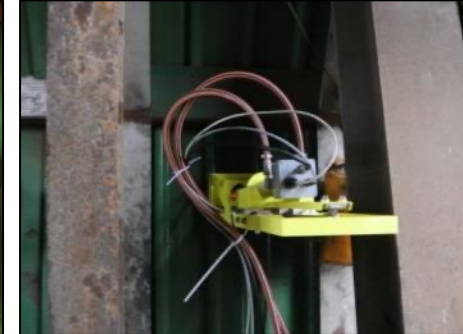
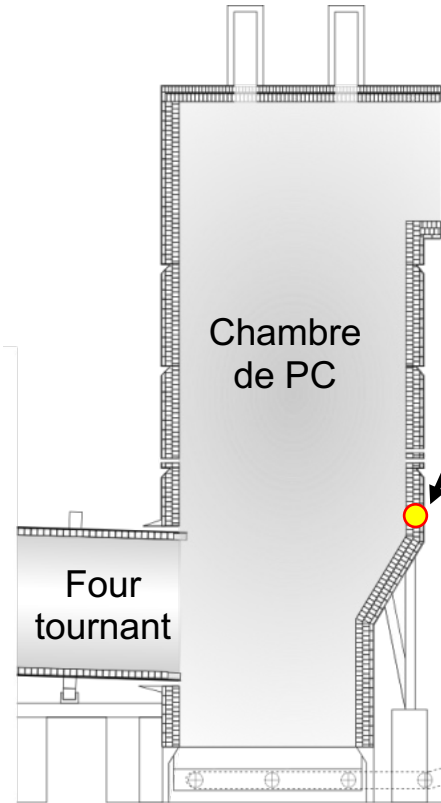


Problèmes :

- **Durée de vie relativement courte des réfractaires (en moyenne 17 mois)**
- **Mécanisme de dégradation peu connu**
- **Les sollicitations sont variées : choc thermique, corrosion, abrasion**

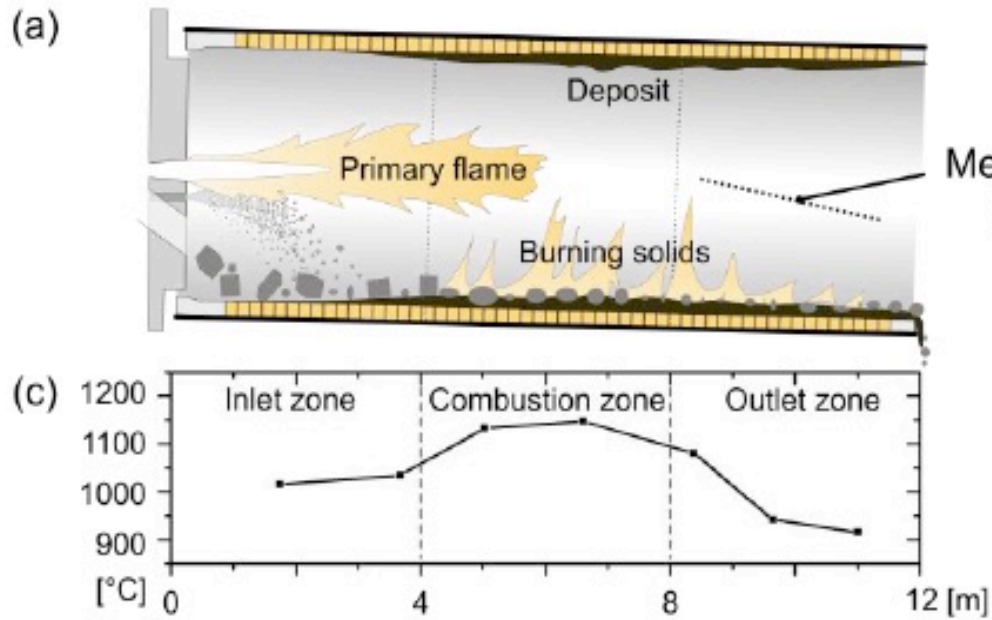
Quelle est la température de paroi des fours ?

Mesure en temps réel dans un four industriel de SARPI-VEOLIA

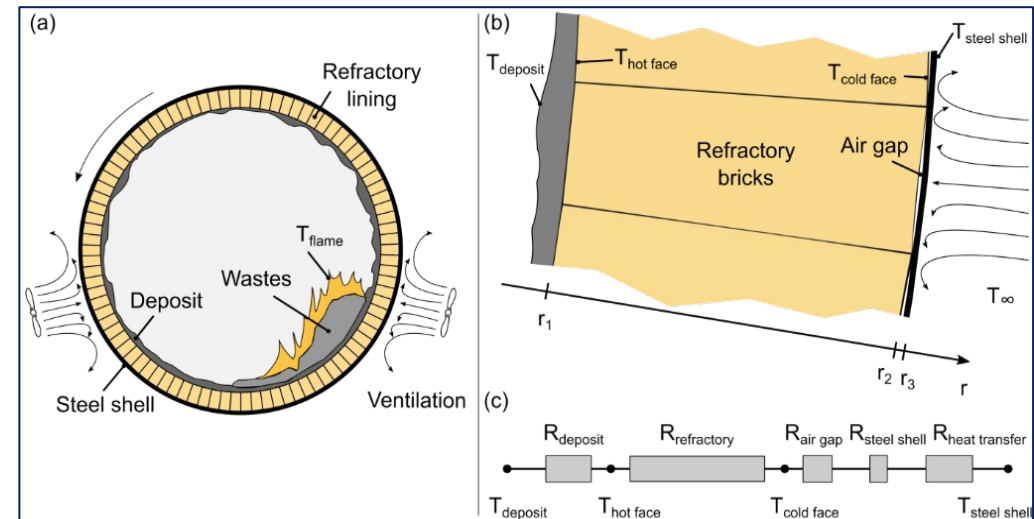


Installation d'une caméra pyrométrique dans la chambre de post-combustion pour pouvoir observer et mesurer la température à l'intérieur du four tournant

Quelle est la température de paroi des fours ?

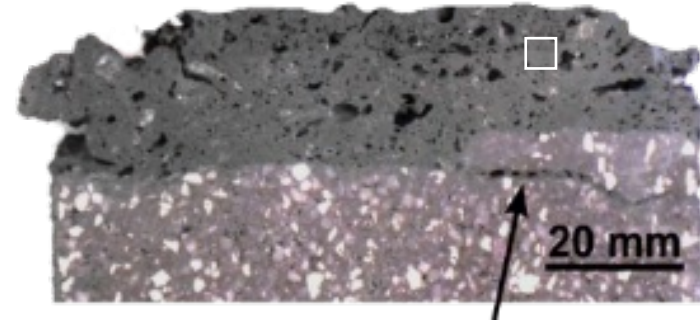
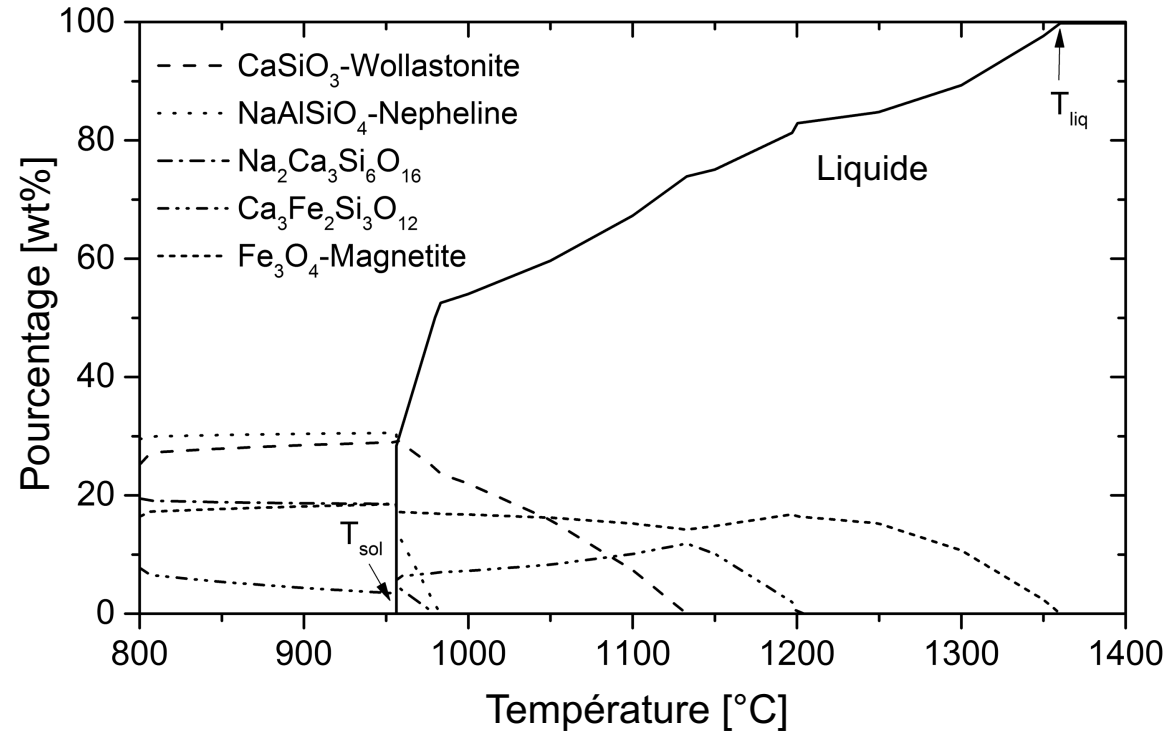


- Face froide du réfractaire : **350°C**
- Face chaude du réfractaire
< 1200°C zone de combustion
> 1000°C entrée du four



Caractéristiques physico chimiques du « croûtage » des réfractaires

Calculs thermodynamiques avec FactSage®

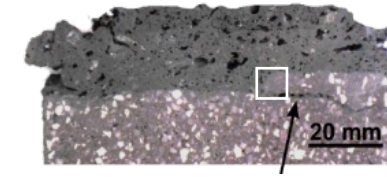
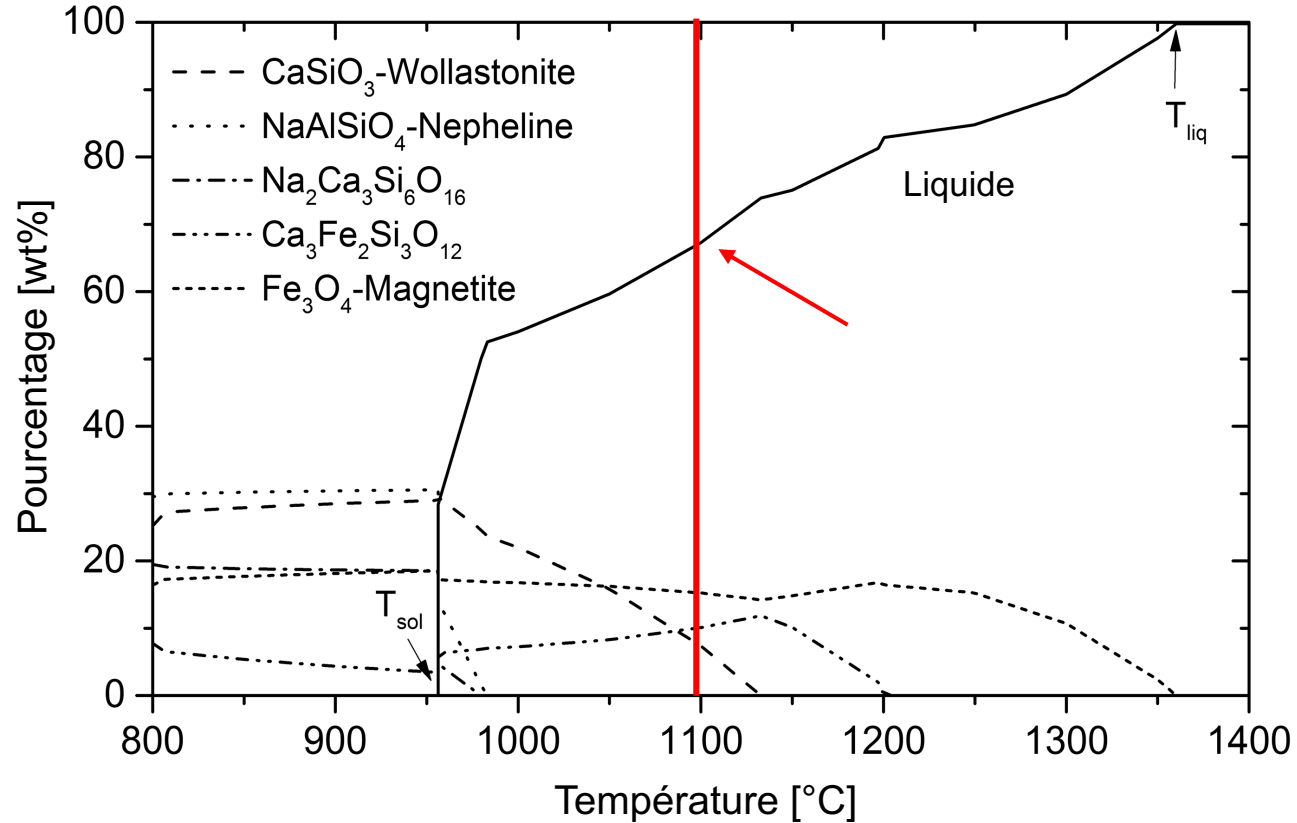


Croûtage

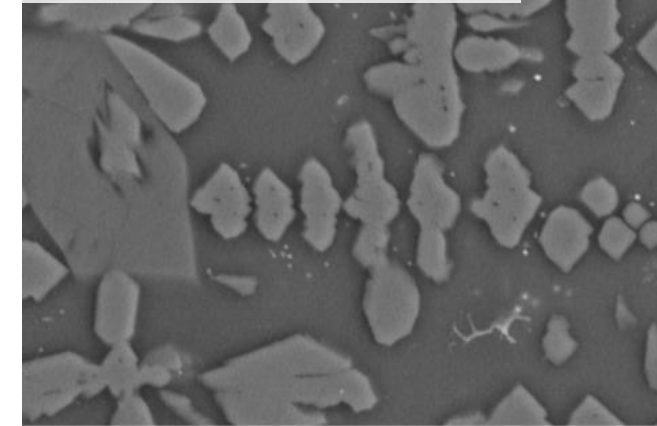
Cendres	
Al ₂ O ₃	10.0
SiO ₂	42.0
P ₂ O ₅	-
Na ₂ O	8.0
K ₂ O	-
CaO	20.0
MgO	-
Fe ₂ O ₃	20.0
TiO ₂	-

Caractéristiques physico chimiques du « croûtage » des réfractaires

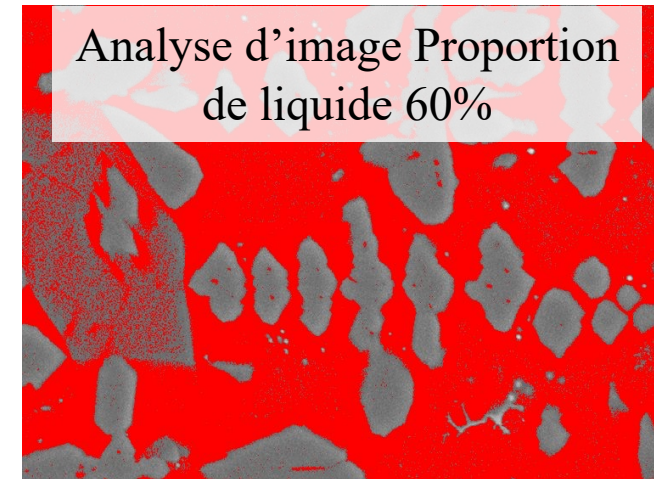
Calculs thermodynamiques avec FactSage



Vue du croûtage au MEB



Analyse d'image Proportion de liquide 60%

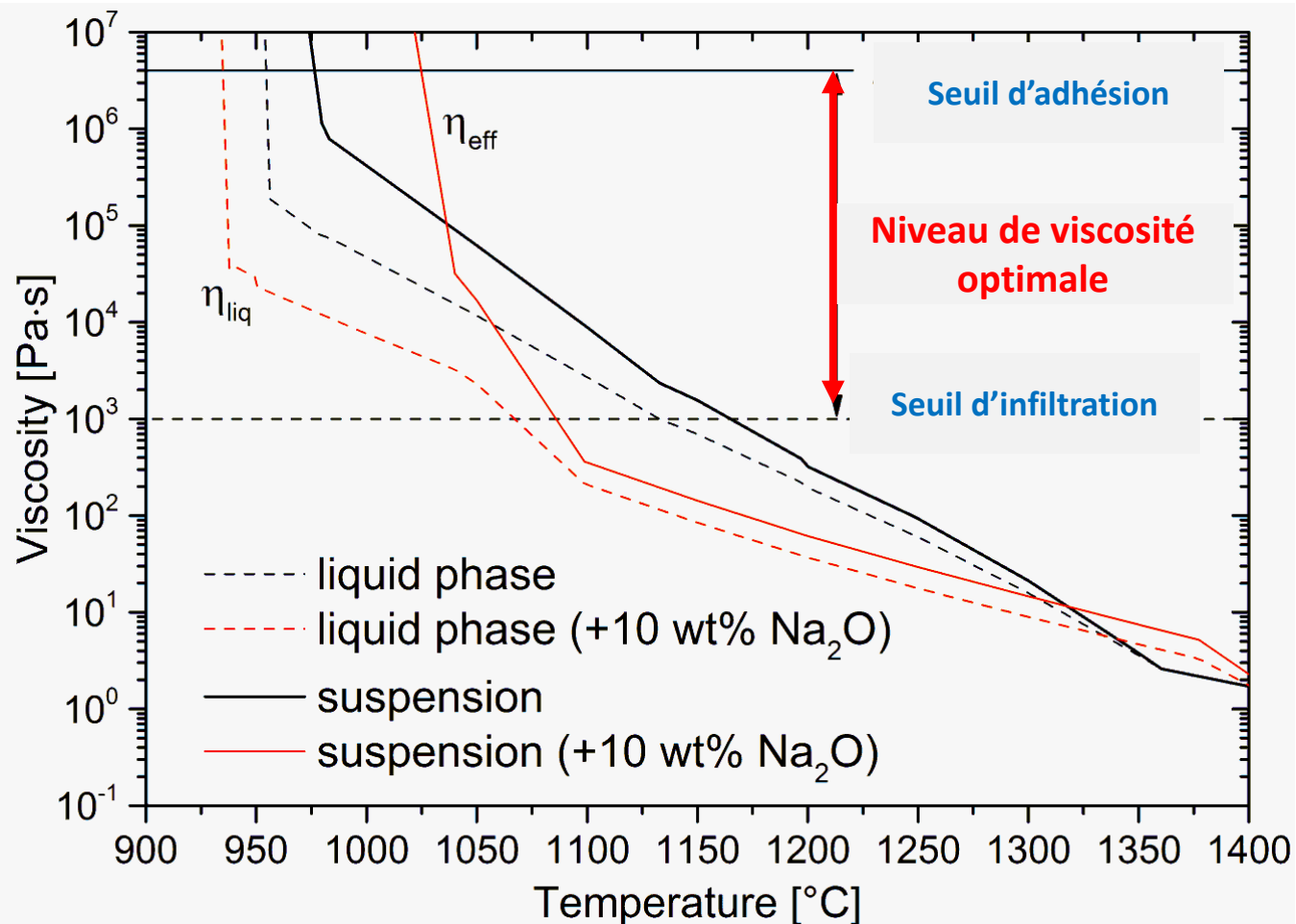


- Le croûtage est exposé à des températures ~1100 °C
- Le croûtage est partiellement fondu (~60%)

La viscosité des cendres → joue un role majeur

Calcul thermodynamique Factsage et equation de Krieger

$$\eta_{eff} = \eta_{liq}(1 - (f/f_c))^{-Bf_c}$$



A titre de comparaison:

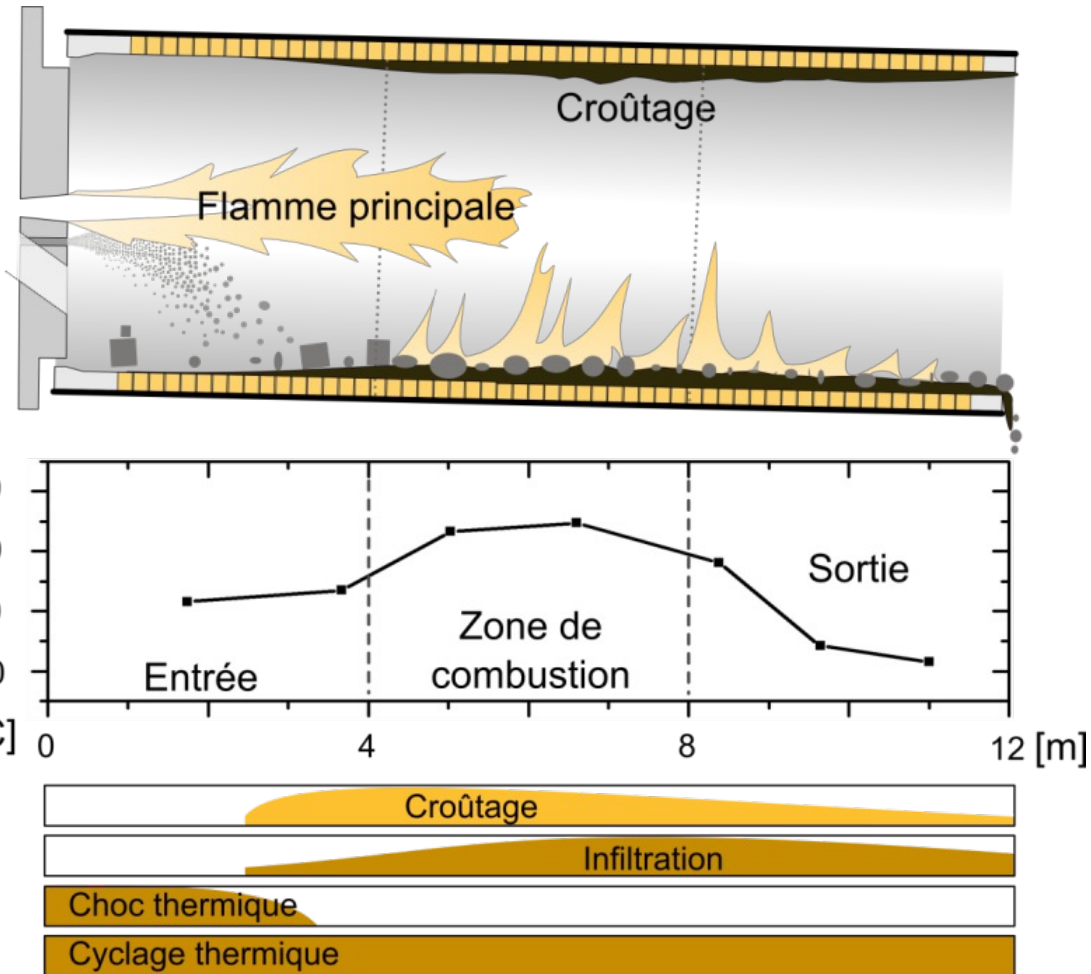
- Eau à temperature ambiante: 1 Pa·s
- Miel à temperature ambiante : 10³ Pa·s

Na₂O a un effet négatif sur le comportement des cendres :

- 1. Il décale l'adhésion vers des températures plus élevées**
- 2. Il favorise l'infiltration à des températures plus basses**

En résumé

La température et le « croûtage » varient sur la longueur du four et avec le temps



- **Températures moyennes : 950–1150°C**, mais des valeurs **>1200°C** sont fréquentes
- **Risque d'infiltration** d'oxydes liquides dans la zone de combustion et à la sortie du four
- **Cyclage thermique** dans tout le four (fatigue)
- **Chocs thermiques** sévères à l'entrée du four
- **Abrasion et choc mécanique** à l'entrée (et à la sortie)



Revêtement réfractaire à l'arrêt



Partie II.

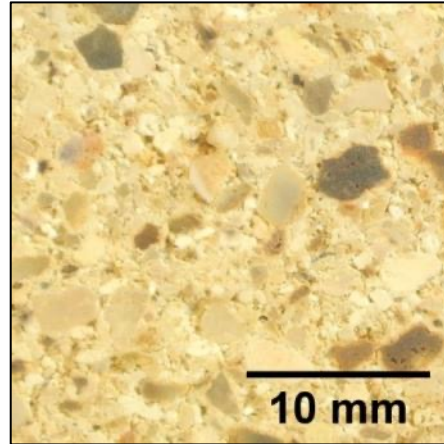
Mécanismes de dégradation des réfractaires dans les fours tournants

Quels sont les réfractaires utilisés et pourquoi?

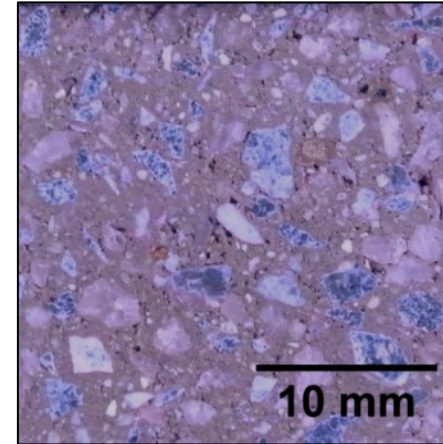
Brique BX à base de bauxite

82% Al_2O_3
12% SiO_2

Liaison : céramique
(mullite)



Porosité ouverte : 21%



Porosité ouverte : 14%

Brique AlCr5 à base d'oxyde de chrome, corindon, andalousite

82% Al_2O_3
10% SiO_2
5% Cr_2O_3
2% P_2O_5



Risque de
former
chrome
hexavalent

Liaisons :
céramique $(\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3)_{\text{ss}}$,
chimique (phosphatique)

Quels sont les réfractaires utilisés et pourquoi?

Les qualités qui étaient les plus répandues pour cette application

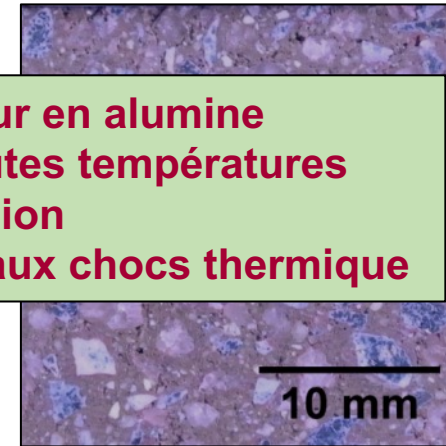
Brique BX
à base de bauxite

82% Al_2O_3
12% SiO_2

Liaison : céramique
(mullite)



Porosité ouverte : 21%



Porosité ouverte : 14%

**Matériaux à haute teneur en alumine
résistants à de très hautes températures
($>1500^\circ\text{C}$) et à la corrosion
mais faible résistance aux chocs thermique**

Brique AlCr5
à base d'oxyde de chrome,
corindon, andalousite

82% Al_2O_3
10% SiO_2
5% Cr_2O_3
2% P_2O_5



Risque de
former
chrome
hexavalent

Liaisons :
céramique $(\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3)_{\text{ss}}$,
chimique (phosphatique)

Pourquoi ces choix?

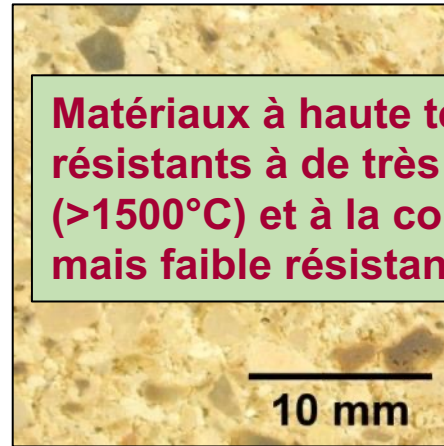
Quels sont les réfractaires utilisés et pourquoi?

Les qualités qui étaient les plus répandues pour cette application

Brique BX
à base de bauxite

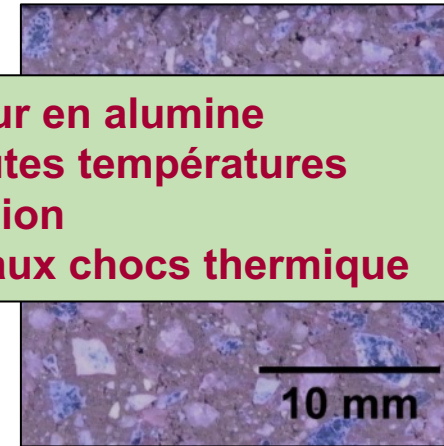
82% Al_2O_3
12% SiO_2

Liaison : céramique
(mullite)



**Matériaux à haute teneur en alumine
résistants à de très hautes températures
(>1500°C) et à la corrosion
mais faible résistance aux chocs thermique**

Porosité ouverte : 21%



Porosité ouverte : 14%

Brique AlCr5
à base d'oxyde de chrome,
corindon, andalousite

82% Al_2O_3
10% SiO_2
5% Cr_2O_3
2% P_2O_5

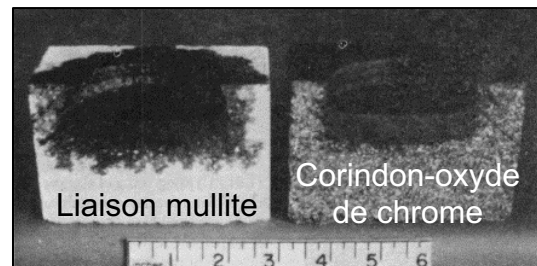


Risque de
former
chrome
hexavalent

Liaisons :
céramique $(\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3)_{\text{ss}}$,
chimique (phosphatique)

Pourquoi ces choix?

Préconisation à partir de tests de corrosion à très haute température et en contact avec des alcalins



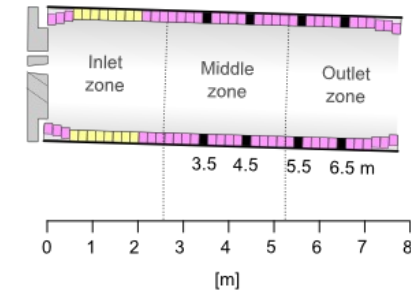
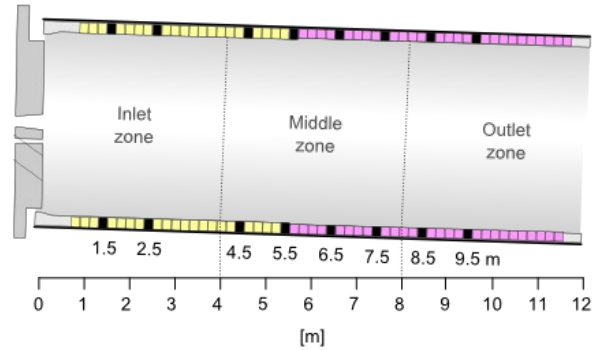
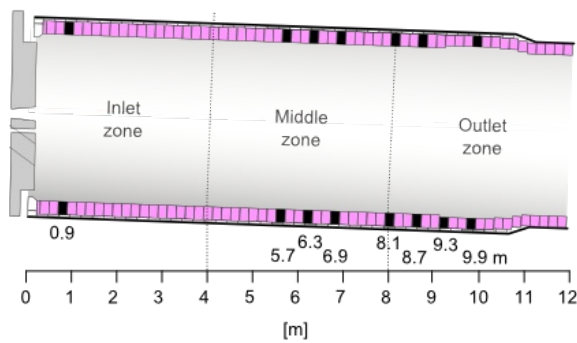
Creusets après 1600°C en contact avec
mâchefer (Caprio et al., 1982)



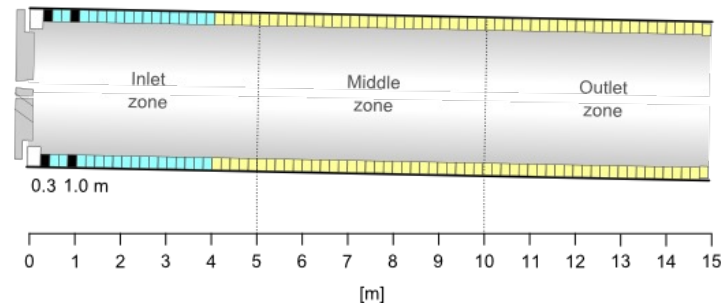
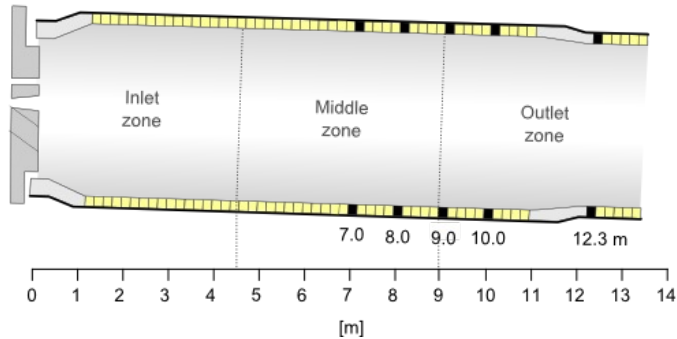
Test de four tournant à 1650–1700 °C
(Moda et al., 2011)

Analyse « post-mortem » des briques usagées

➤ Récupérées à la fin de vie des différents fours de SARPI-VEOLIA



SE



Difficultés :

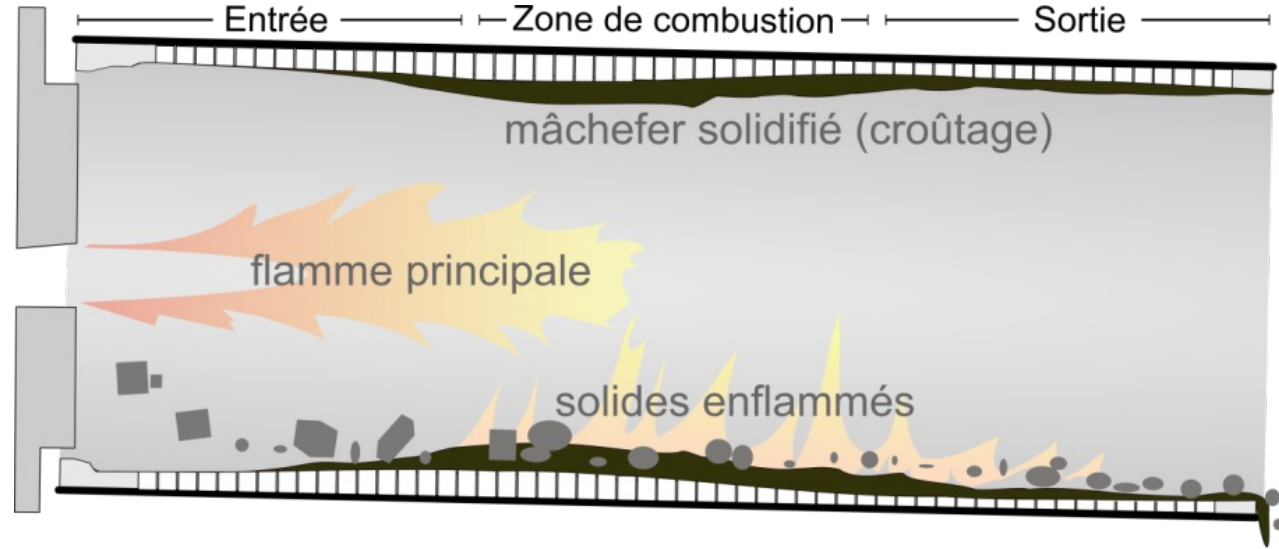
- Les conditions varient dans les fours
- Les matériaux sont complexes et ne sont pas les mêmes

34 briques usagées examinées

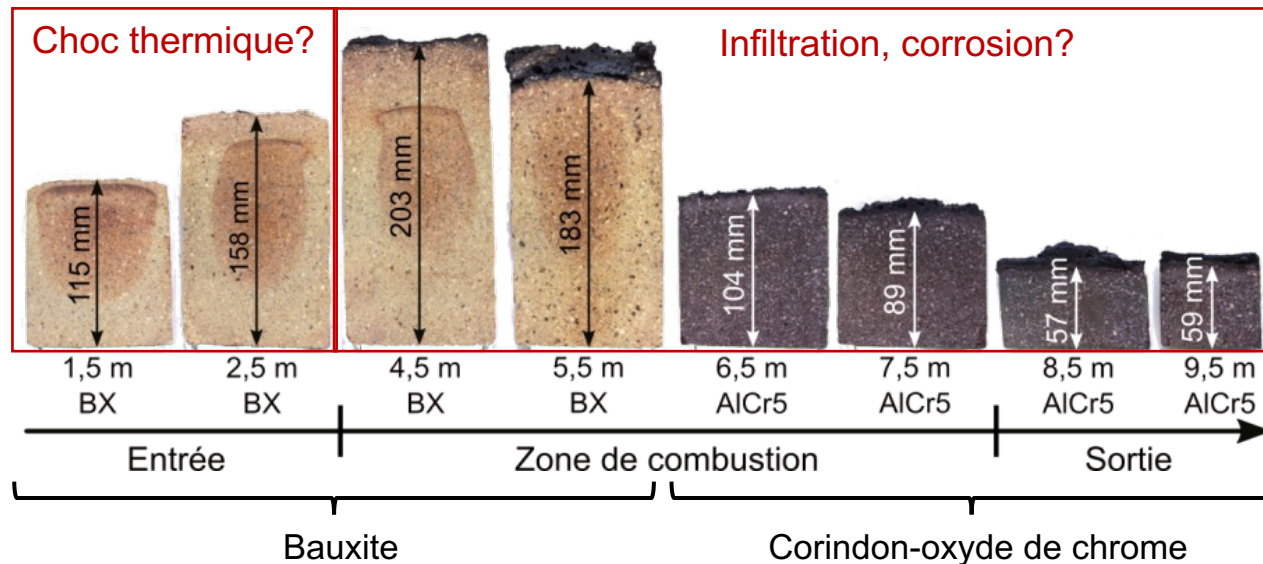
- 23 échantillons corindon – oxyde de chrome
- 9 échantillons bauxite
- 2 échantillons andalousite

Profil d'usure : un exemple représentatif

Epaisseurs des briques après 17 mois en service



Brique neuve
BX



- Le « croûtage » ne protège pas toujours la brique
- Les performances des qualités bauxite et corindon/oxyde de chrome sont proches

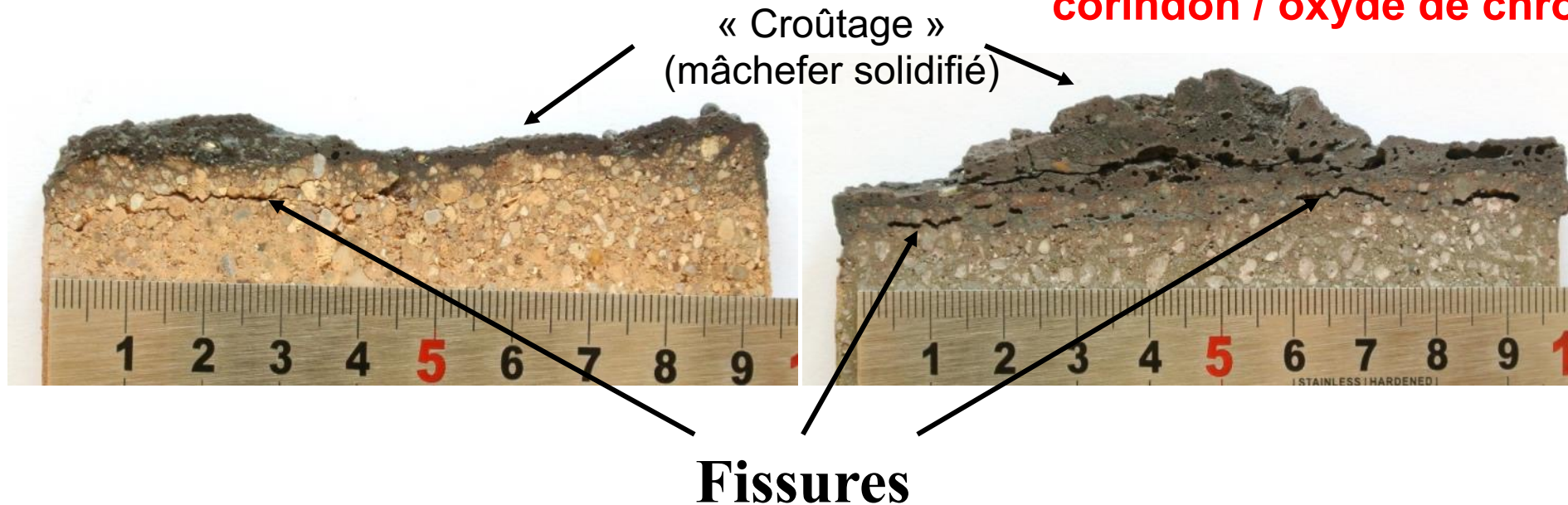
Poser un diagnostique

« L'important est de savoir ce qu'il faut observer ».
Edgar Allan Poe



Réfractaire à base de bauxite

Réfractaire à base de corindon / oxyde de chrome



Ce type de fissures dans la zone d'imprégnation est présent dans toutes les briques

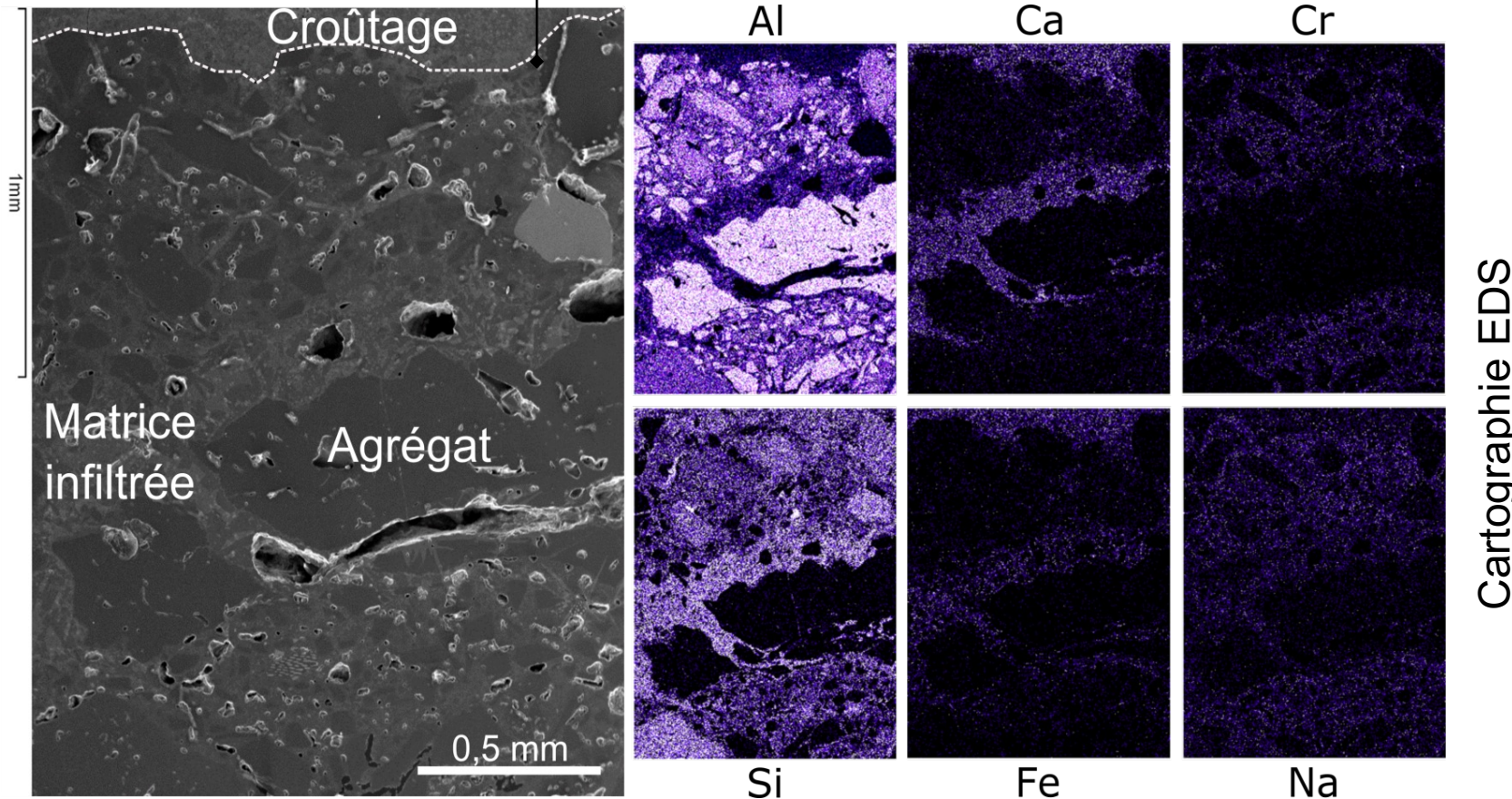
Infiltration des réfractaires

Exemple : brique corindon-oxyde de chrome

Composition du croûtage [wt%] :

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO
10,7	31,2	6,0	17,7	24,6	4,4	1,9

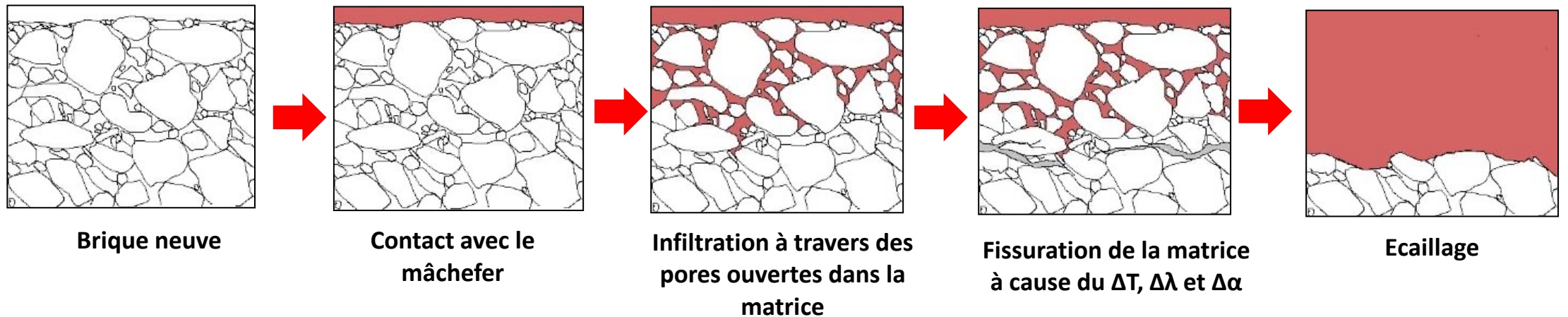
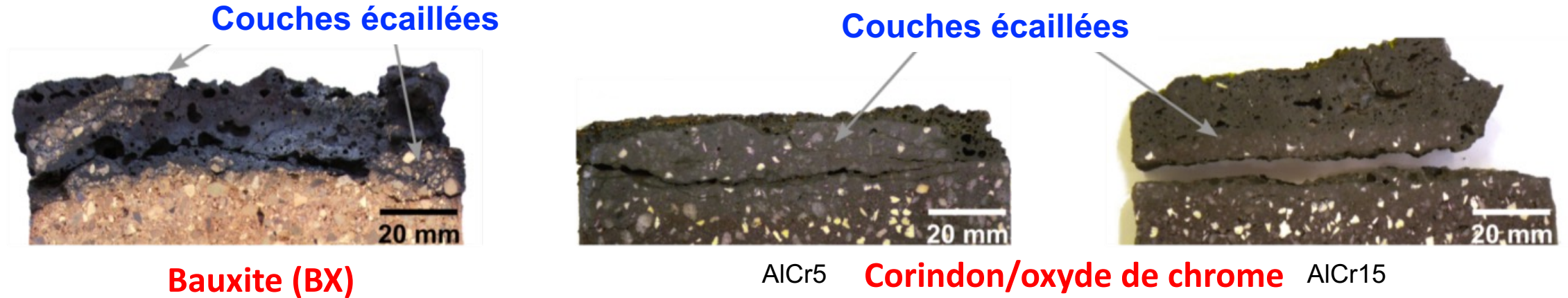
- Matrice infiltrée jusqu'à ~5 mm en profondeur
- Agrégats non infiltrés



Aucune corrosion

- Ni par les gaz alcalins
- Ni par le mâchefer fondu

Mécanisme de dégradation : écaillage structural



Même phénomène pour toutes les briques : infiltration et fissuration de la matrice :
➤ La matrice doit être améliorée!

Améliorer la matrice du réfractaire

Travail sur les matières premières

- Eviter Cr_2O_3
- Andalousite
- Alumine calcinée
- Additifs

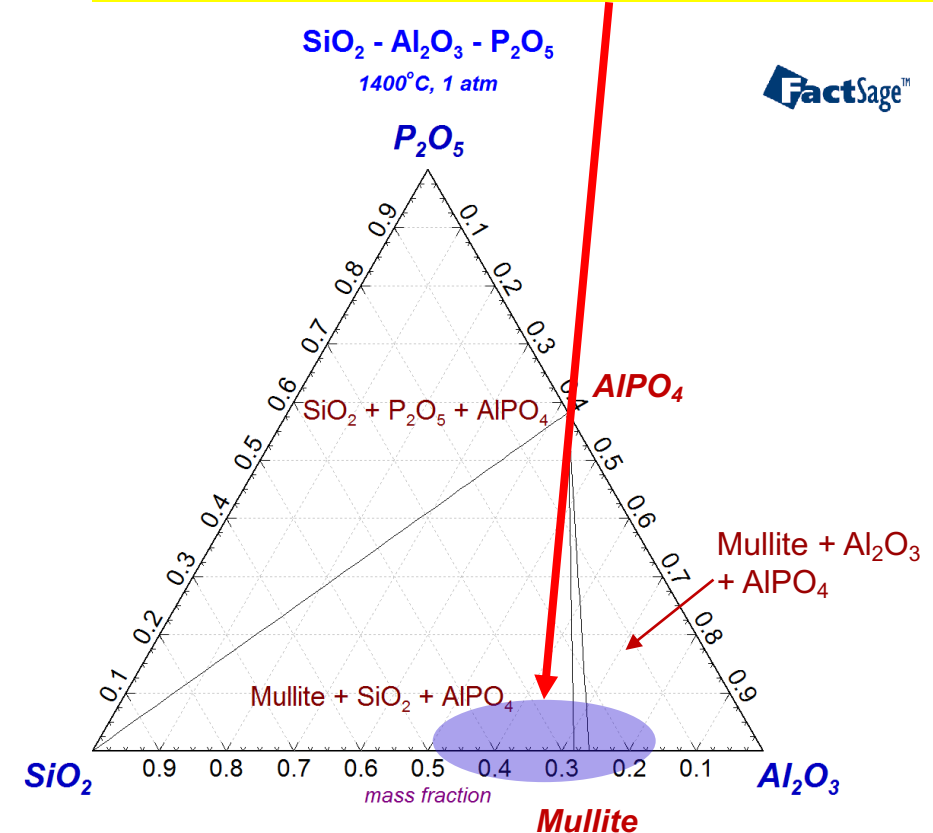
Réduire la porosité

- Optimiser la distribution granulométrique
- Additifs

Limiter l'infiltration par les cendres liquides

Matrice contenant

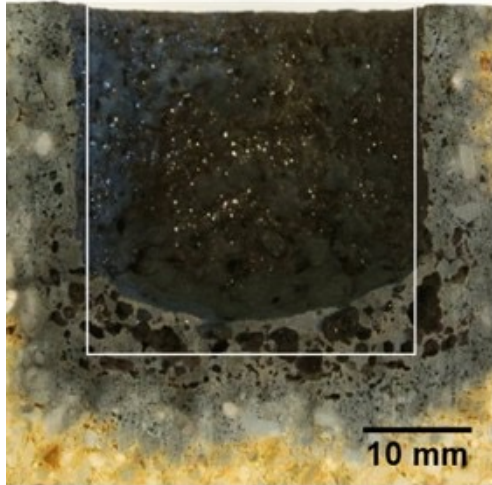
- Mullite
- Andalousite mullitisée
- Additifs



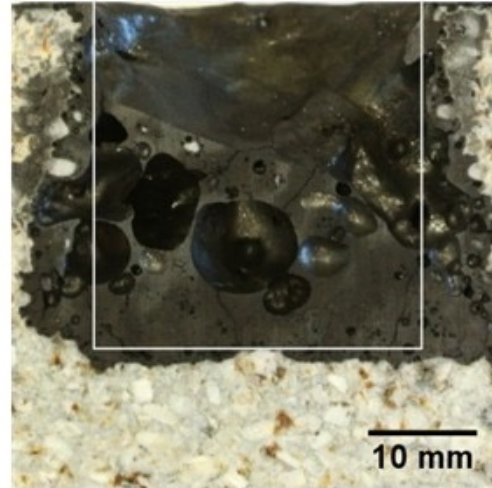
Essai de corrosion en auto-creuset

5 heures à 1400°C

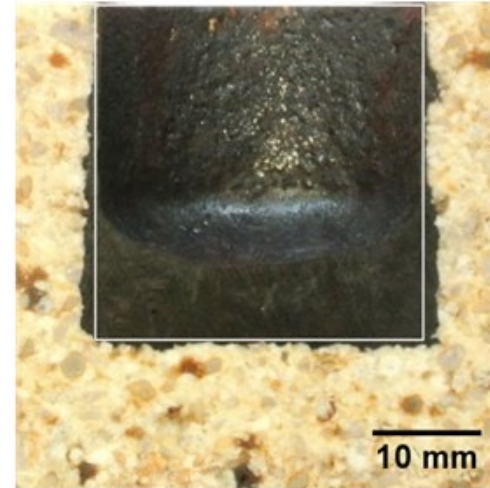
Composition cendres m%: SiO_2 45.7, CaO 16.7, Fe_2O_3 10.9, K_2O 8.4, MgO 8.1, Al_2O_3 6.3, Na_2O 2.6, TiO_2 1.9



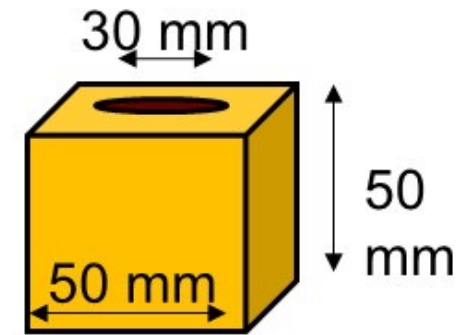
Bauxite
Open porosity 21%



Andalusite
Open porosity 13%



Andalusite + additifs
Open porosity 12%



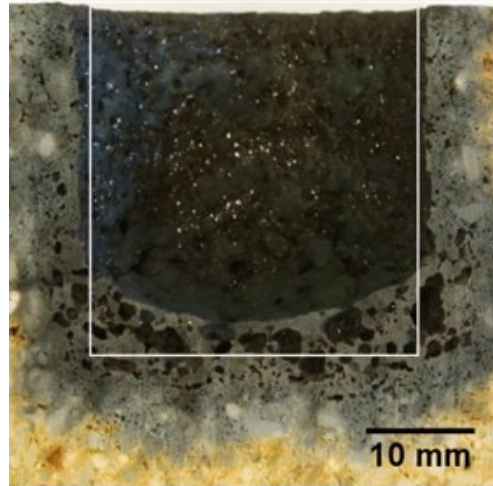
est "imperméable" aux cendres liquides



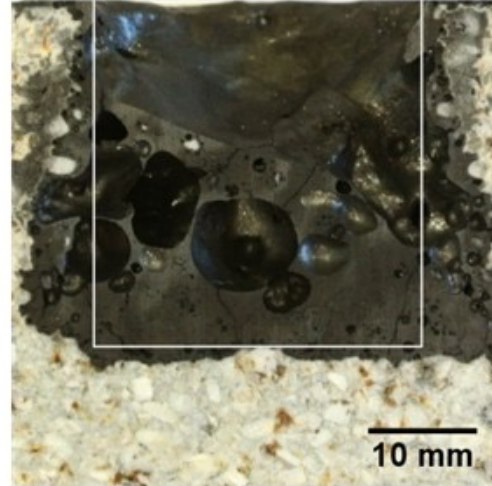
Pourquoi ?

Essai de corrosion en auto-creuset

5 heures à 1400°C



Bauxite
Open porosity 21%



Andalusite
Open porosity 13%



Andalusite + additifs
Open porosity 12%

**Reduction
de la
porosité**

**Augmentation de la viscosité
des cendres à l'interface
cendres/réfractaires**

**Formation de phases très
réfractaire**

**Haut point de fusion
2000 °C**

“ imperméable ” aux cendres liquides

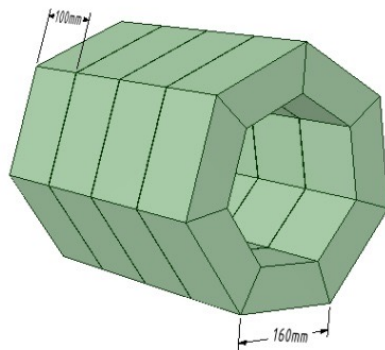
Essai de corrosion dynamique en four tournant

Test représentatif des conditions industrielles

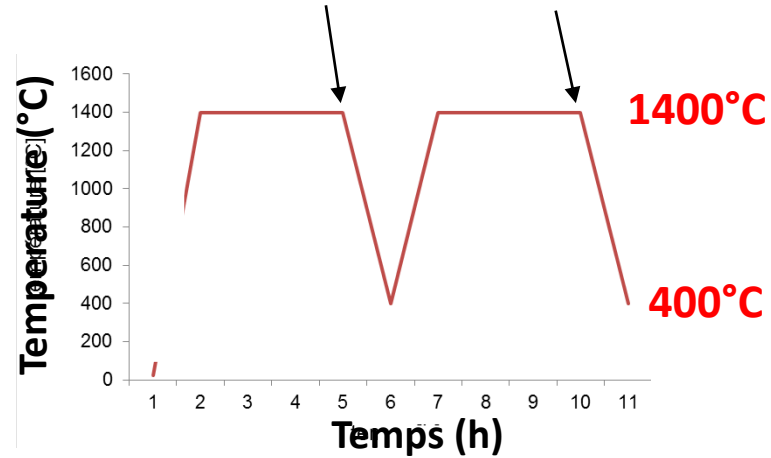
8 heures à 1400°C



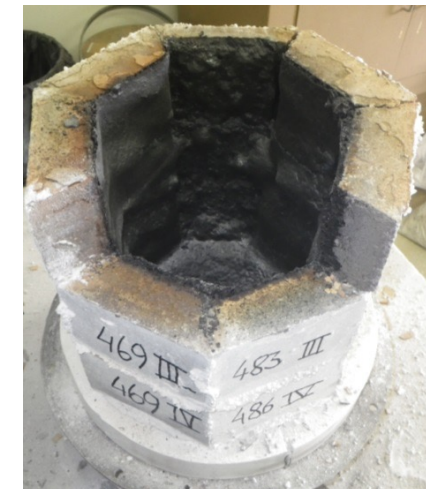
Réalisé au laboratoire ICAR, Fr



2 chocs thermiques réalisés à l'air comprimés

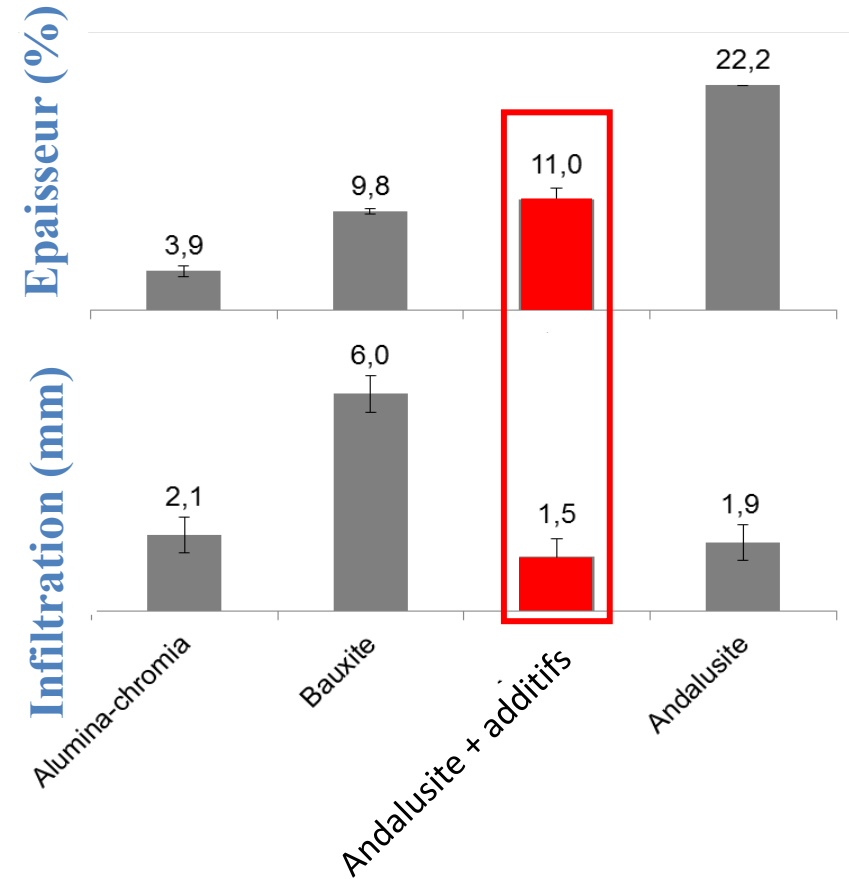
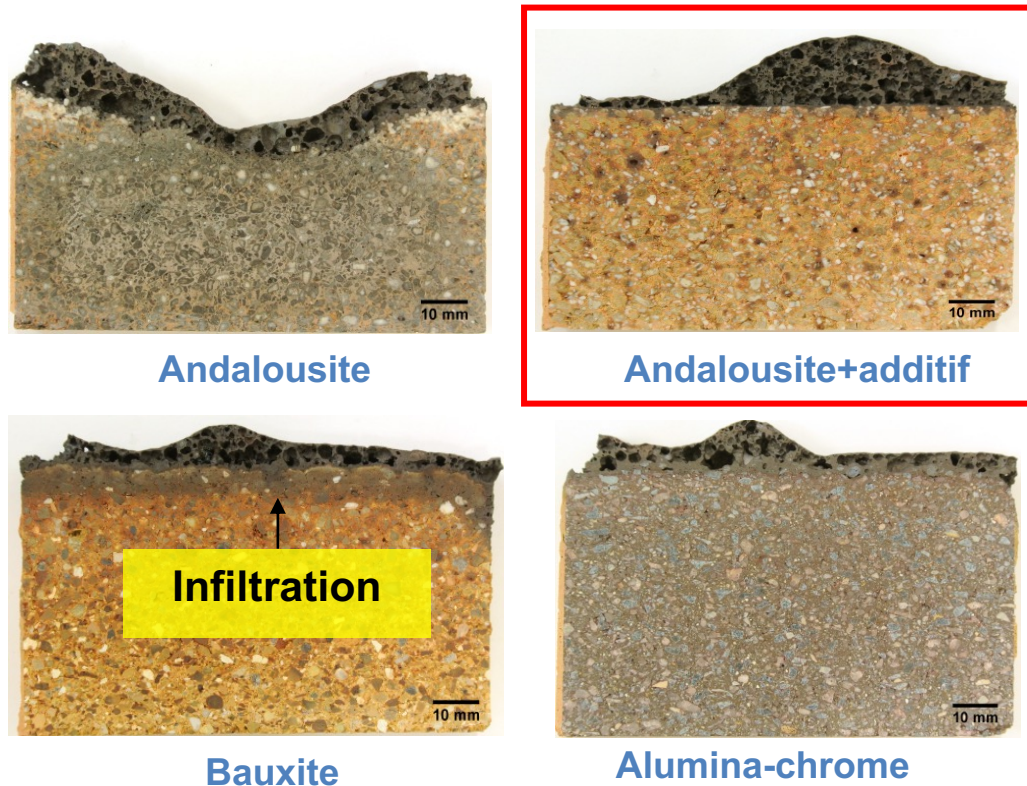


Avant le test



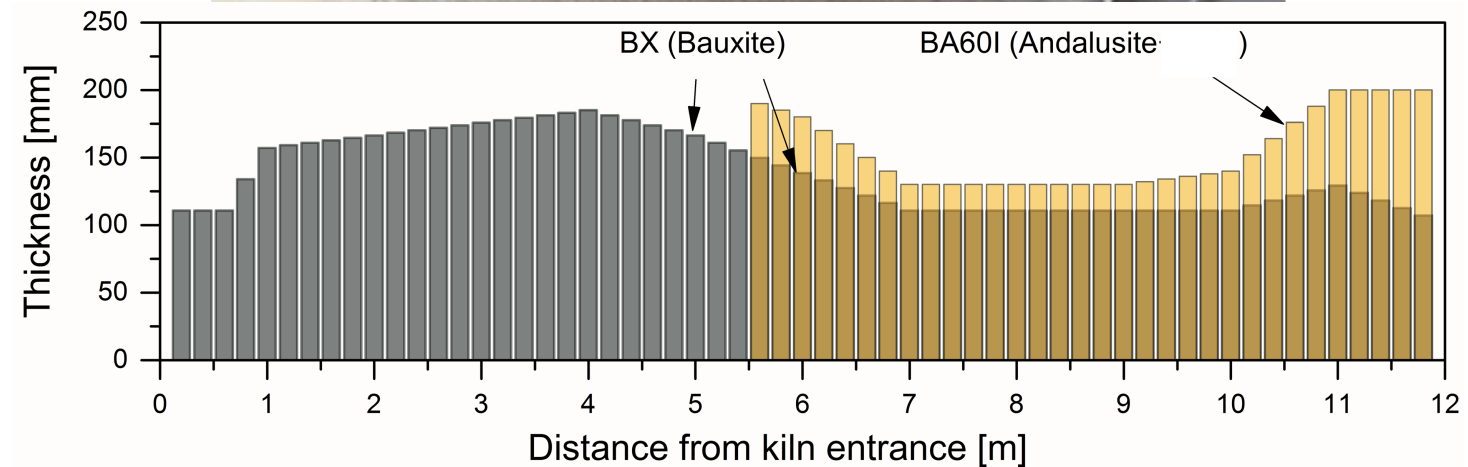
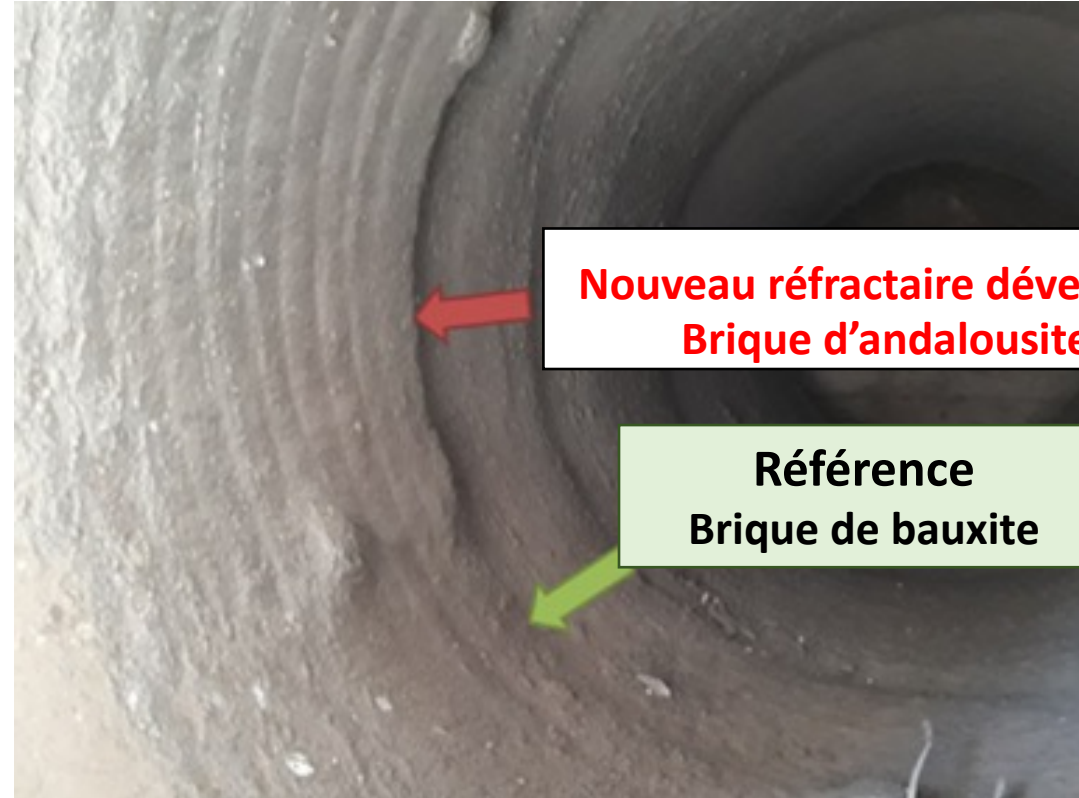
Après le test

Comparaison des réfractaires à haute teneur en alumine : Effet du phosphore sur les performances



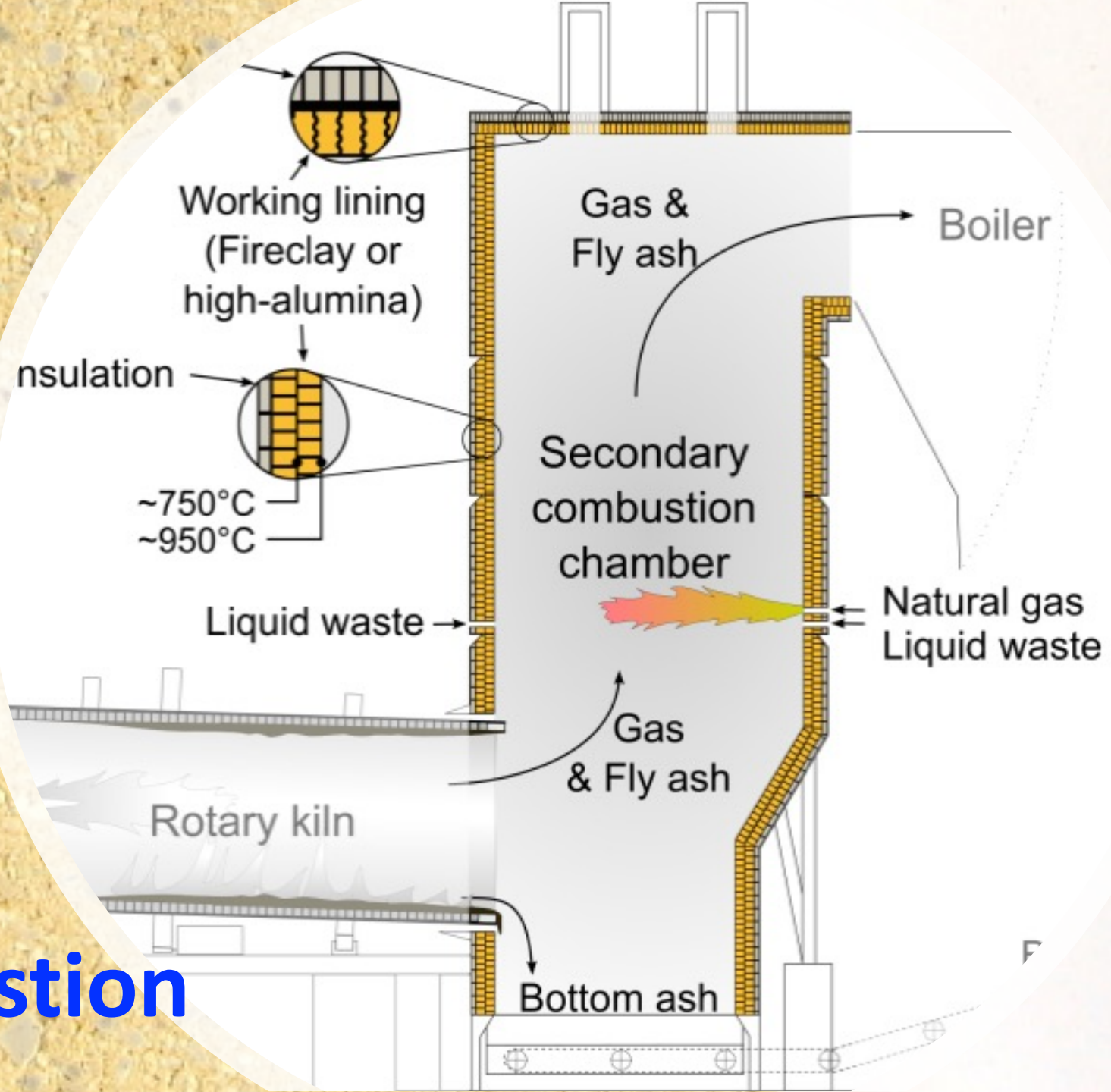
- Brique de **corindon-oxide de chrome**: meilleure résistance à la corrosion mais infiltration
- La brique de **Bauxite** : l'infiltration est visible
- **Andalousite+additif** : moins infiltrée que les deux autres briques

Les résultats industriels

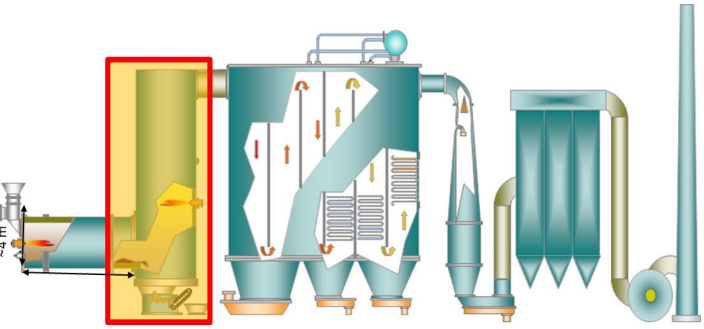


Partie III

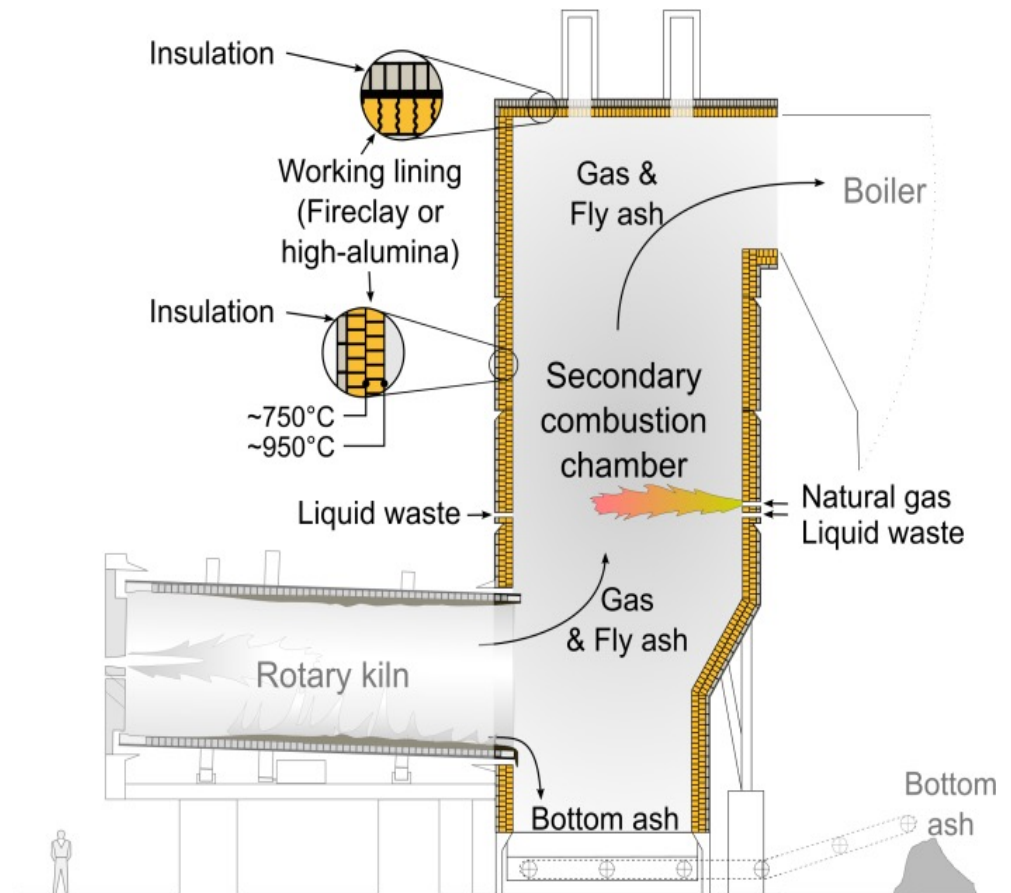
Dégradation des réfractaires dans la chambre de combustion



Contexte : la chambre de combustion



Fonction de la chambre de combustion secondaire



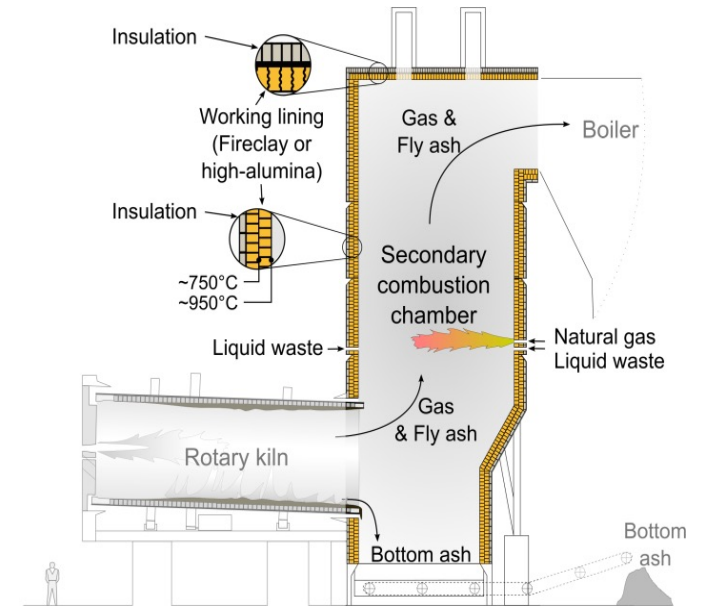
Traiter les gaz organiques toxiques à haute température ($> 850^{\circ}\text{C}$) pendant au moins 2 s

Contexte : la chambre de combustion

Bien que la durée de vie des réfractaires est satisfaisante :

> 5 ans

l'imprédictabilité des dégradations reste un problème majeur



**Dégradation inattendue
des parois réfractaires**



La chambre de combustion : contexte

Atmosphère

~70 vol% N₂

10-20 vol% H₂O

7-8 vol% O₂

4-5 vol% CO₂

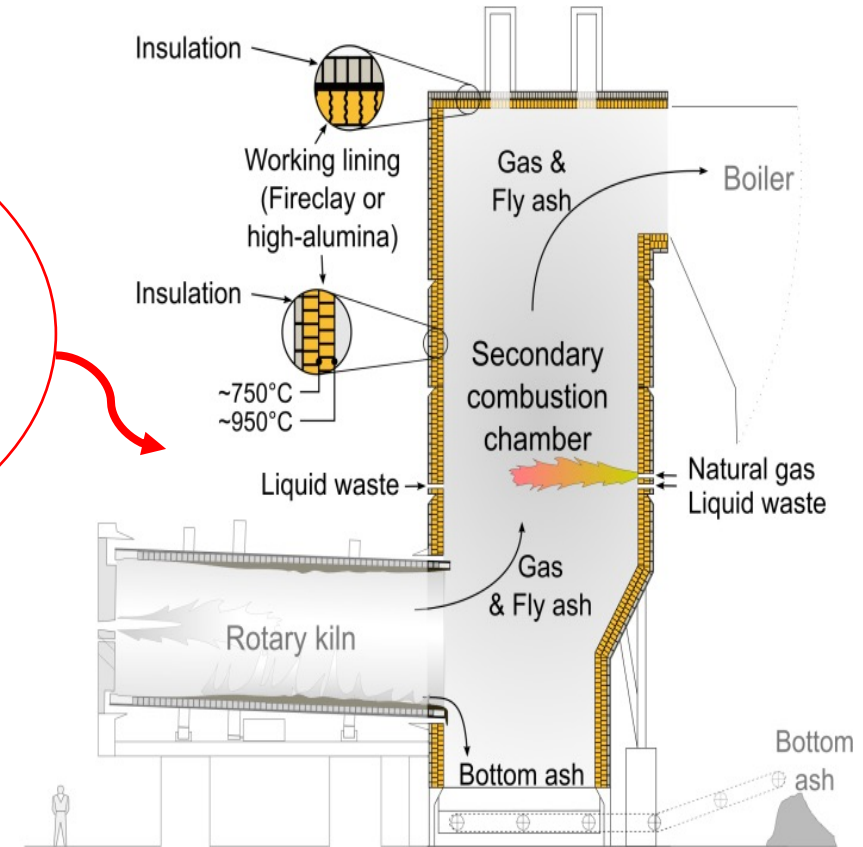
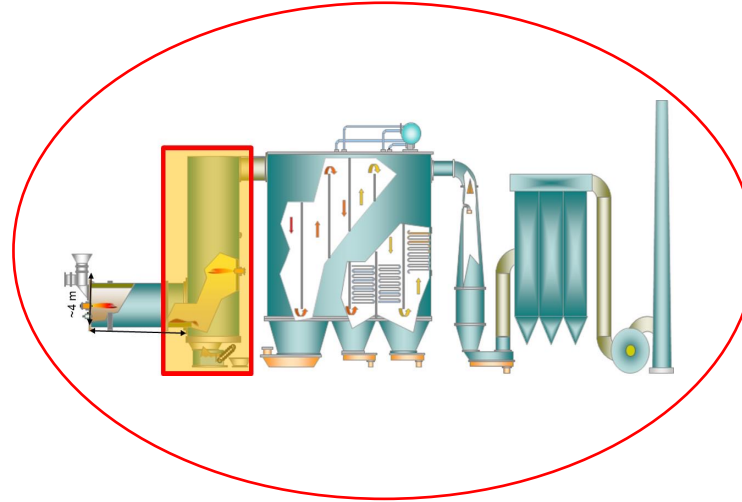
< 0,05 vol% CO

< 0,12 vol% SO₂

< 0,20 vol% HCl

+ composés corrosifs
transportés par les cendres:

oxydes alcalins



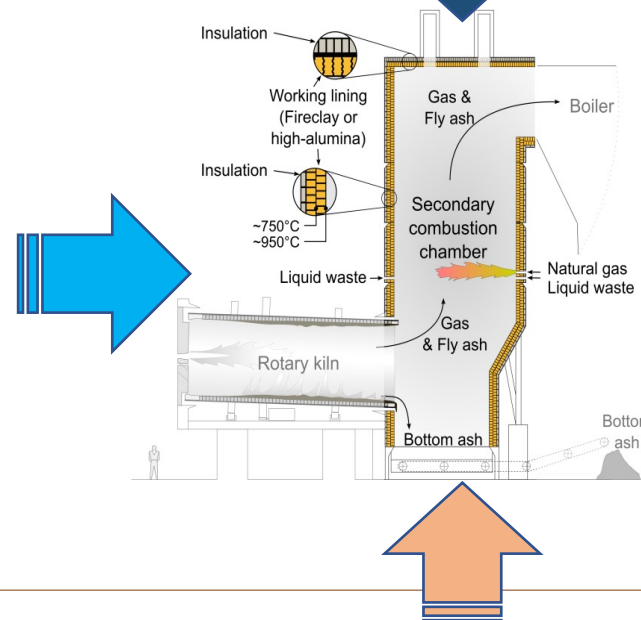
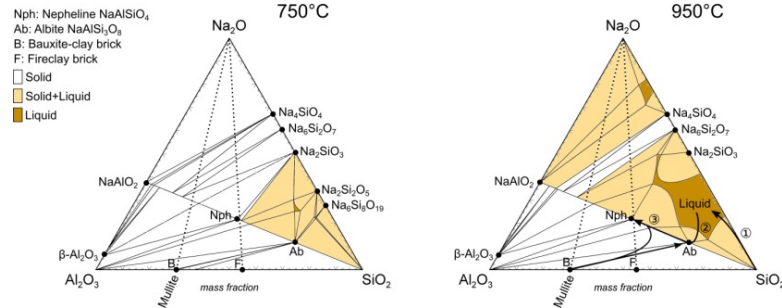
Connus pour être
corrosifs

La chambre de combustion : objectifs

1. Identifier les gaz corrosifs et décrire leurs interactions avec les phases minérales des réfractaires

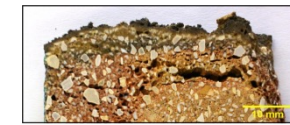


2. Comprendre les mécanismes de corrosion

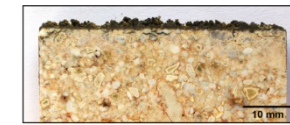


Accroître la durée de vie à 10 ans

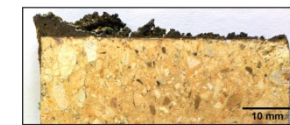
3. Trouver des solutions efficaces pour améliorer la performance des réfractaires



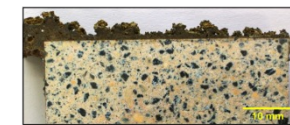
Reference FC: Fireclay brick (52 wt% SiO_2)



Phosphate-bonded andalusite brick (37 wt% SiO_2)

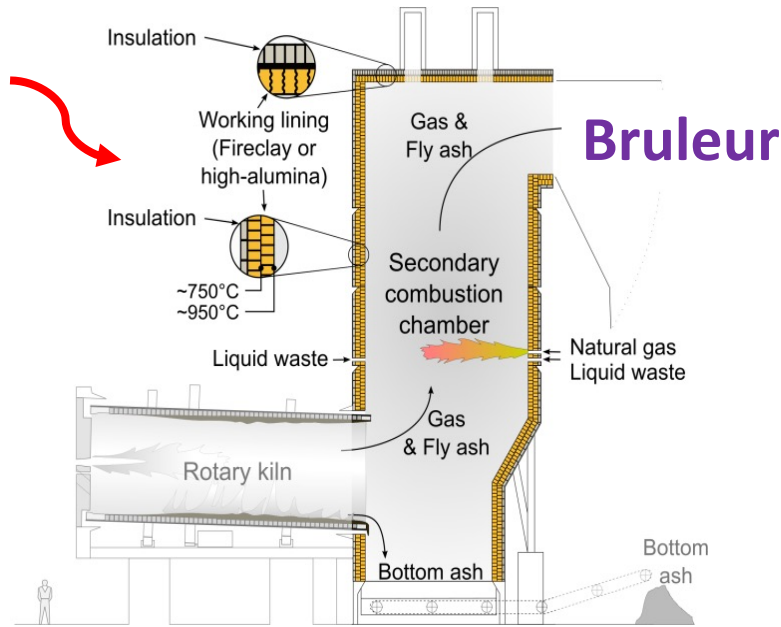


Reference BC: Bauxite-clay (29 wt% SiO_2)

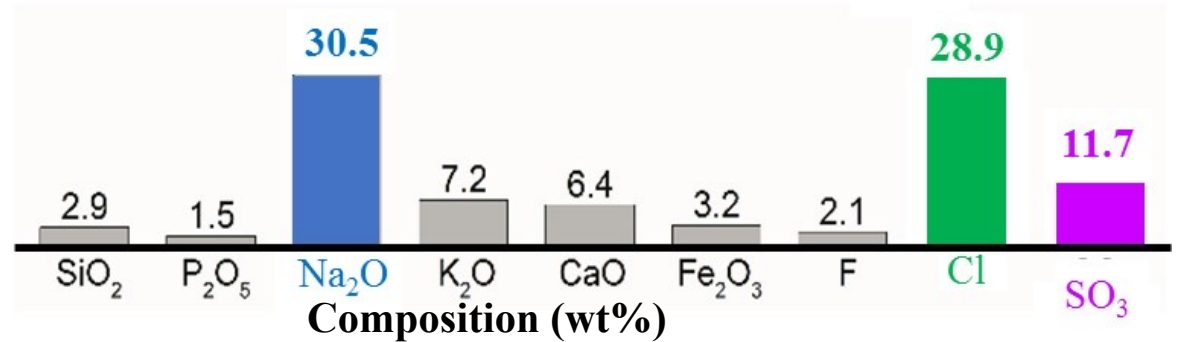


Phosphate-bonded corundum brick (6 wt% SiO_2)

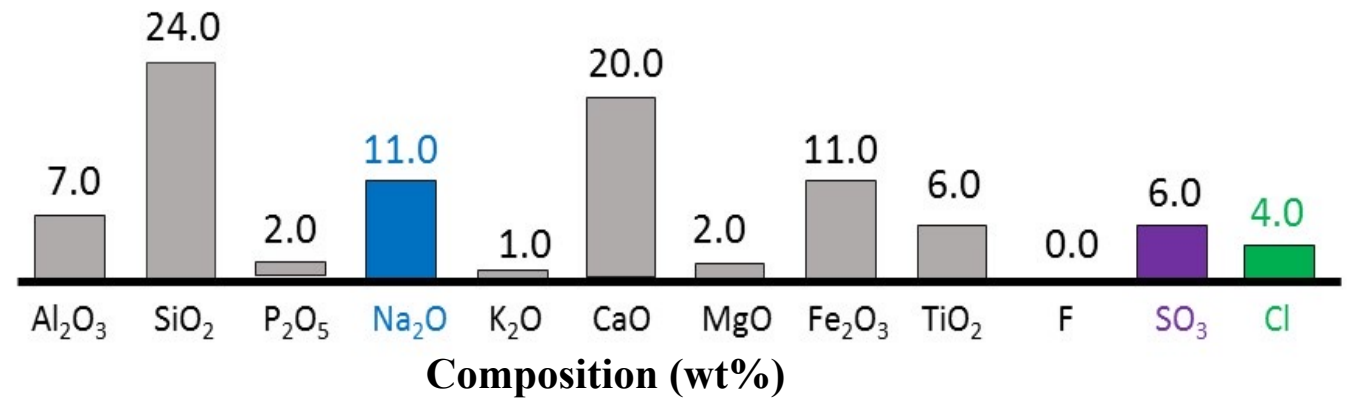
Cendres volantes et dépôts



Cendres volantes collectées au bruleur

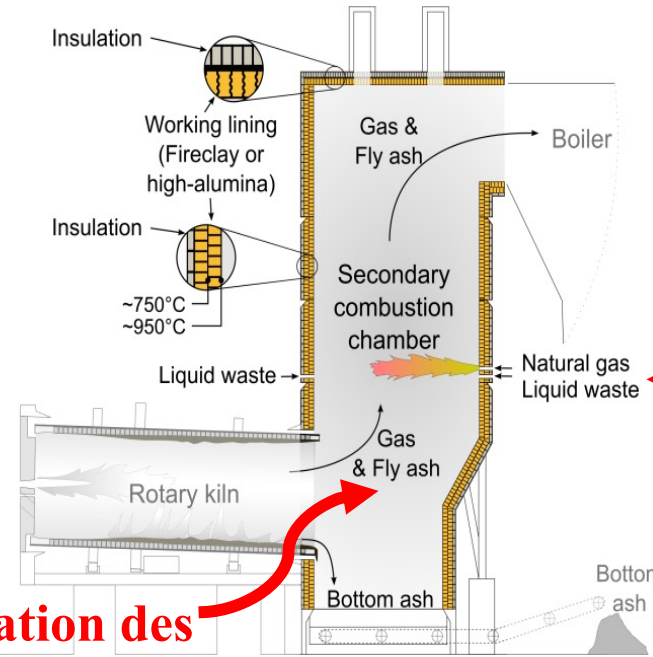
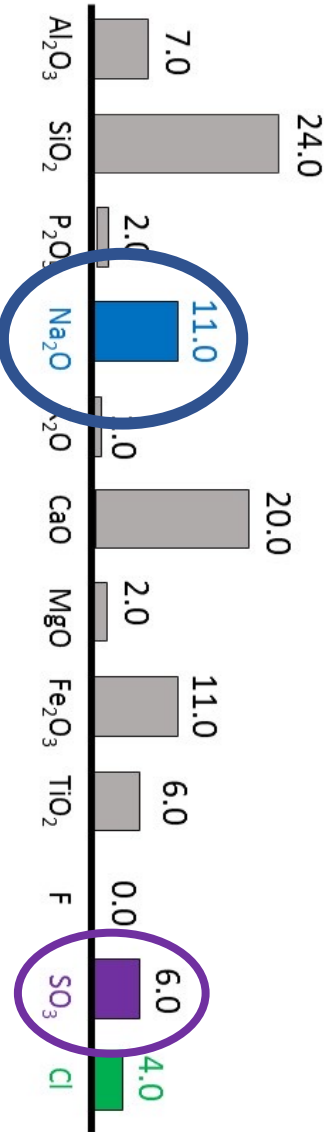


Dépôts en face chaude d'une brique



➤ Teneurs élevées en composés Na₂O, Cl, SO₃, corrosifs pour les réfractaires

Quelles sont les sources de sodium et de soufre ?

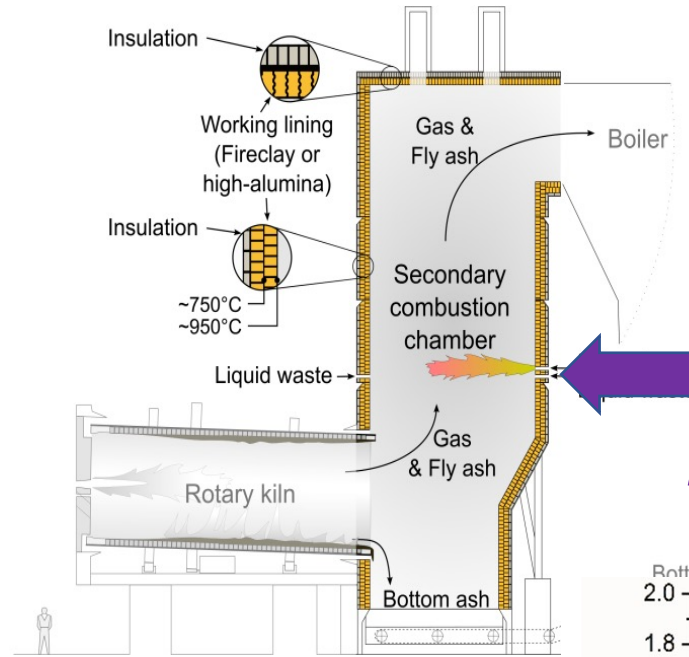


Vaporisation des cendres volantes

Vaporisation des solutions salines injectées

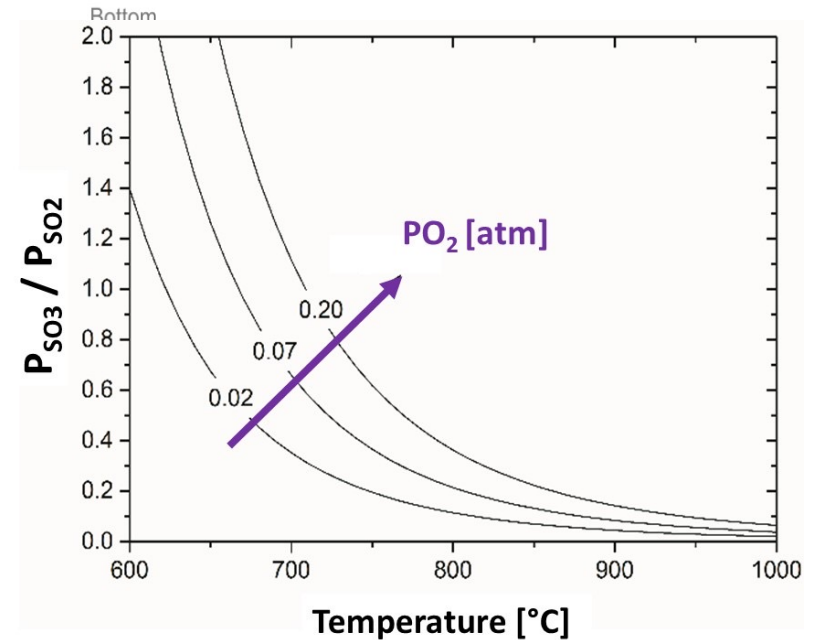
Vapeurs alcalines

Quelles sont les sources de soufre ?



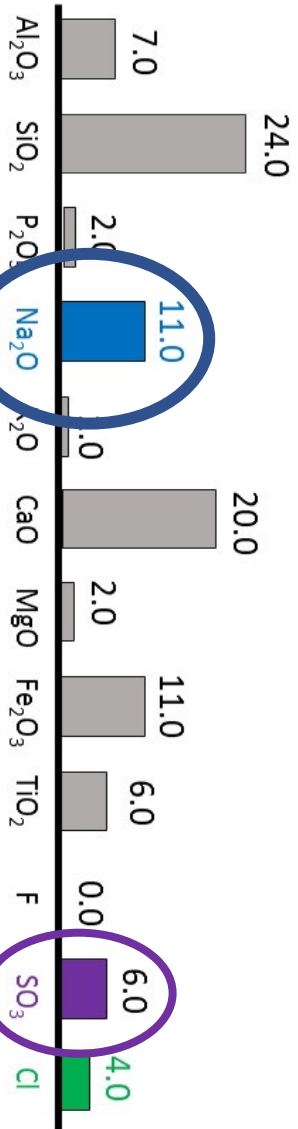
Vapeurs de soufre

La combustion du fuel produit $SO_2(g)$ et $SO_3(g)$

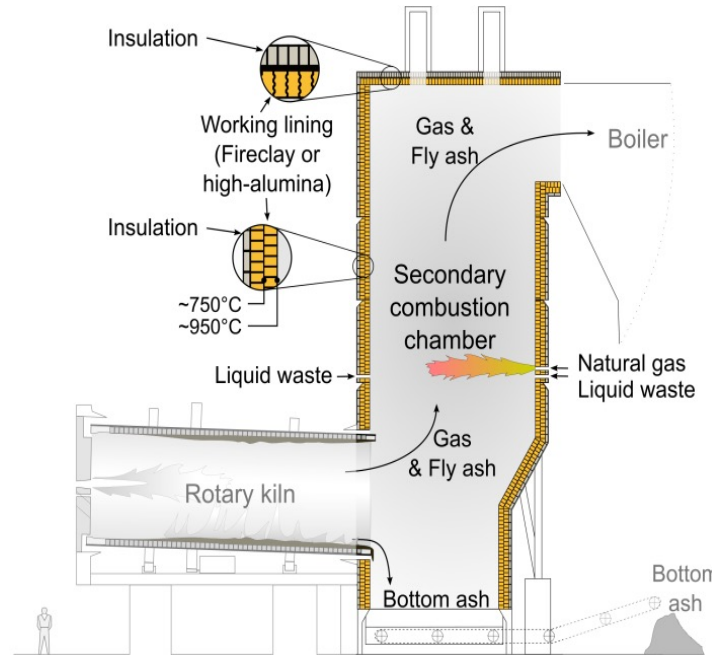
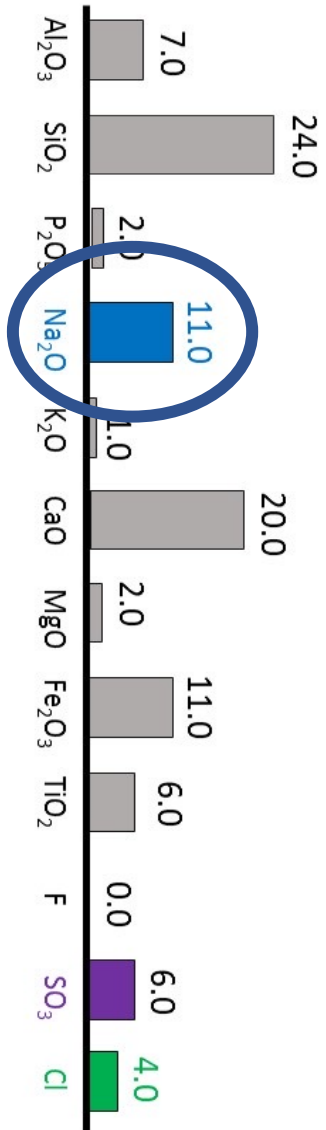


L'équilibre SO_3/SO_2 dépend de la pression partielle d'oxygène et de la température

Dans la chambre de combustion secondaire, SO_2 est prépondérant (90 V.%)

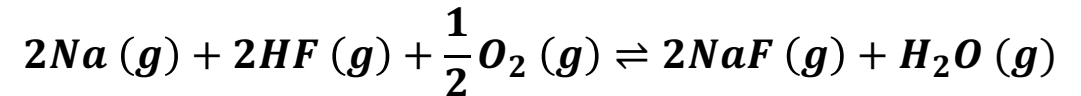
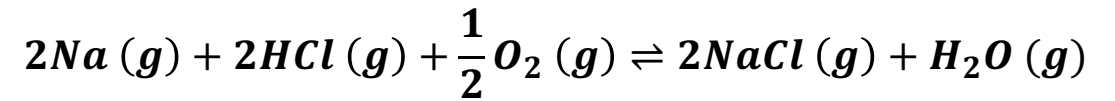


Quelles sont les sources de sodium?



Vapeurs sodiques

Na(g) est transformé en NaCl(g) et NaF(g)



A 950°C et à l'équilibre thermodynamique

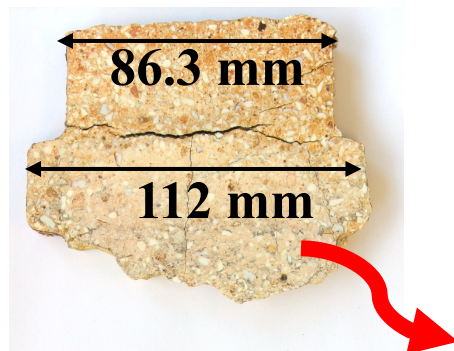
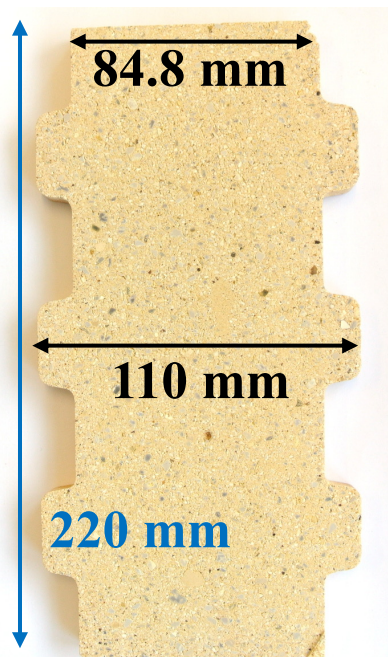
$$P_{NaCl} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ at}, \quad P_{NaF} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ at}$$

Observations macroscopiques des réfractaires

Avant usage

Après 50 mois

Face froide : ~ 750°C



Variation volumique
de + 3%

Face chaude : ~ 950°C

Réfractaires “Fireclay”

Composition: 42% Al_2O_3 – 52% SiO_2
Minéralogie : mullite, cristobalite, verre

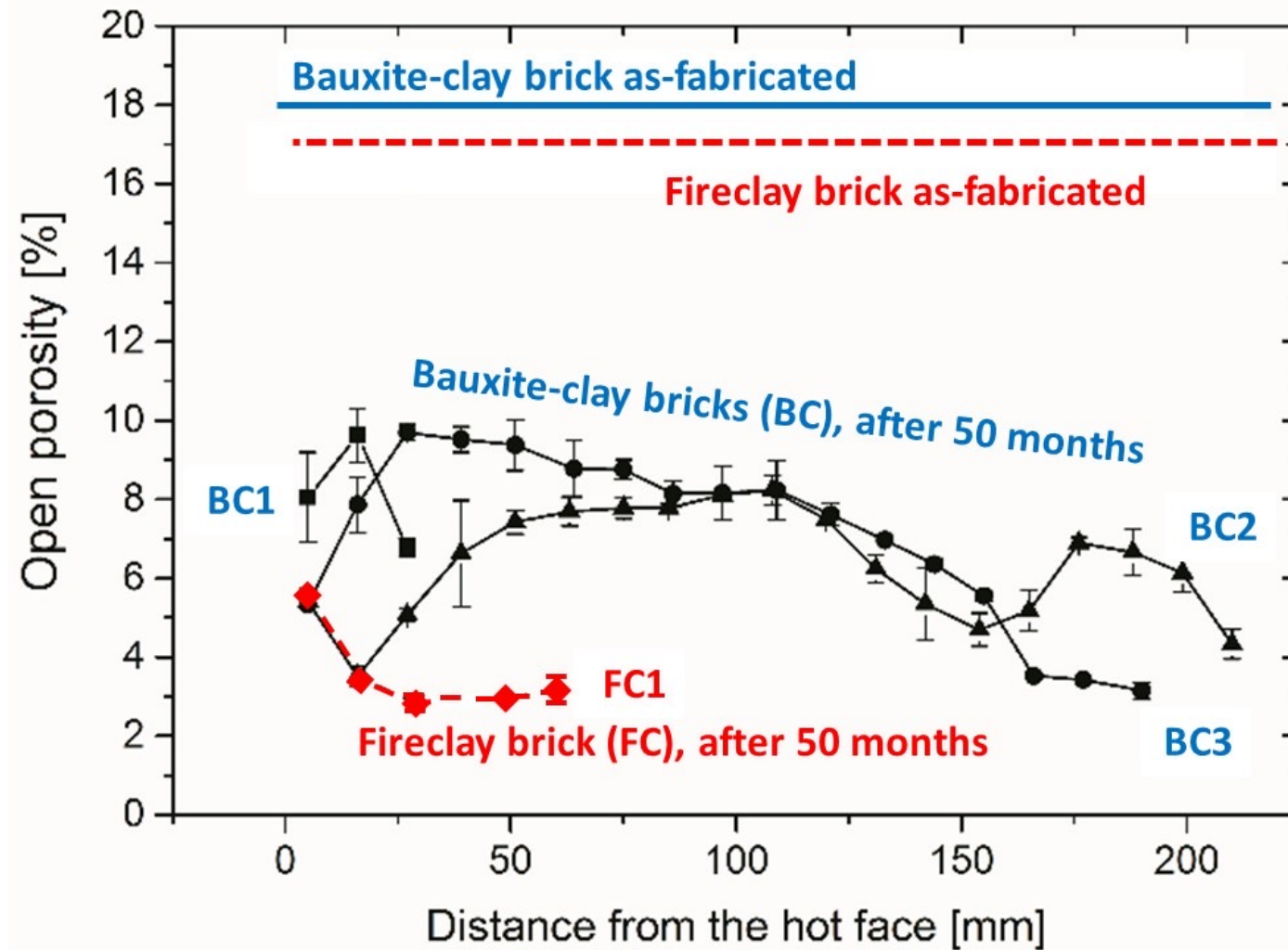
Déformation
et
écaillage



Condensation
de vapeurs

Analyses “post mortem” de réfractaires

La porosité ouverte décroît après 50 mois



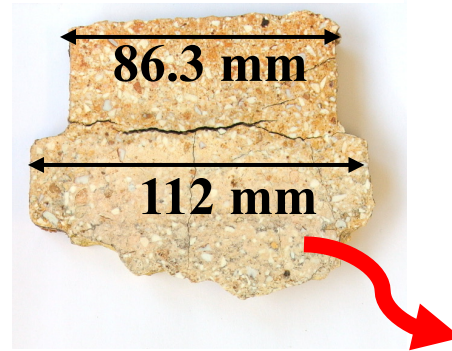
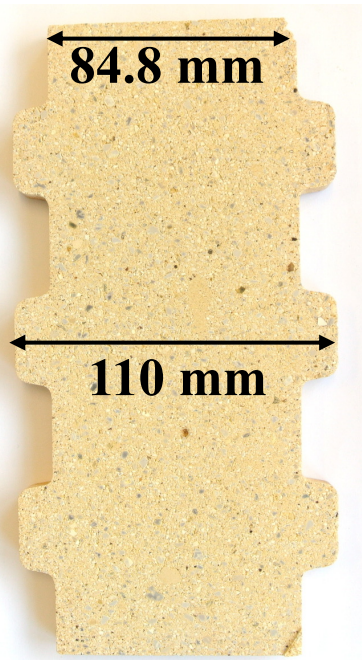
De 17% à 3% pour les briques « fire-clay » et de 18% à 4 % pour les briques « bauxite-clay »

Analyses “post mortem” de réfractaires “ fire- clay ”

Avant usage

Après 50 mois

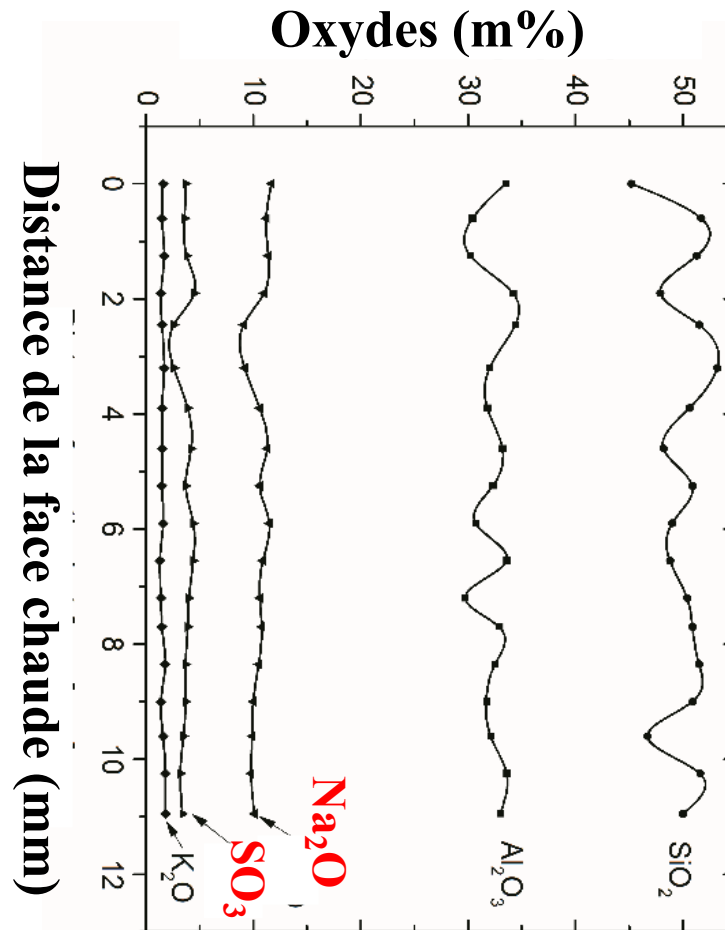
Face froide : ~ 750°C



Variation volumique
de + 3%

Face chaude : ~ 950°C

Composition: 42% Al₂O₃ – 52% SiO₂
Minéralogie : mullite, cristobalite, verre



Composition chimique (EDS)

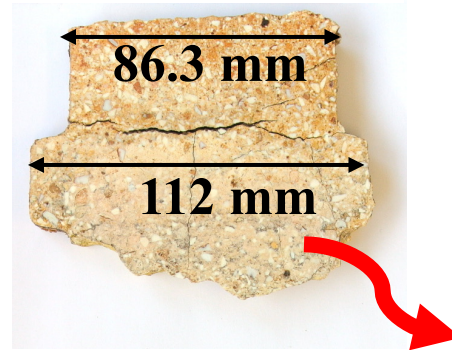
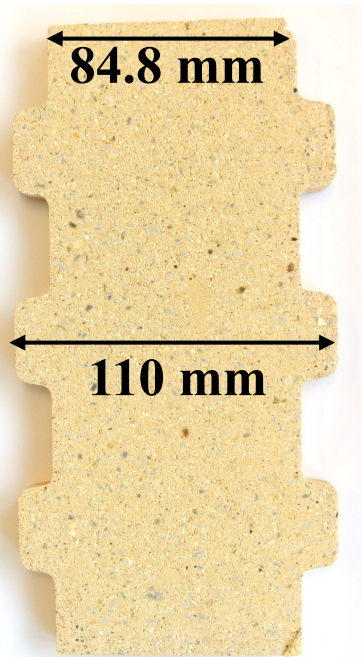
Enrichissement en Na₂O et SO₃

Analyses “post mortem” de réfractaires “ fire- clay ”

Avant usage

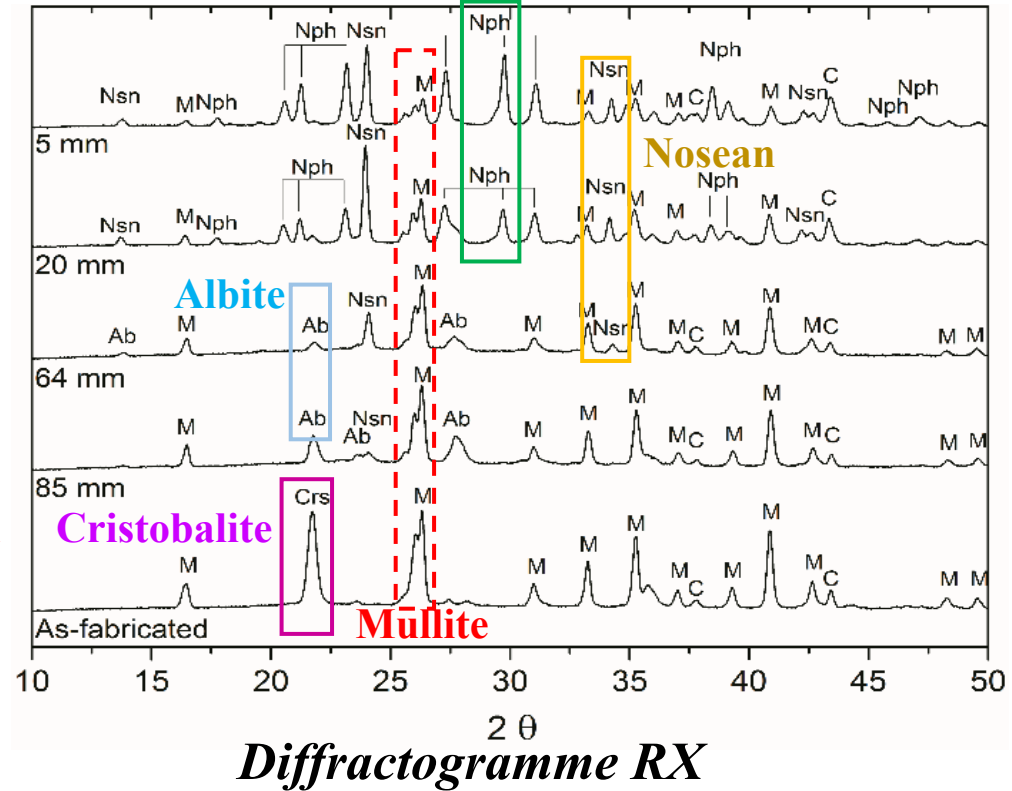
Après 50 mois

Face froide : ~ 750°C



Face chaude : ~ 950°C

Composition: 42% Al₂O₃ – 52% SiO₂
Minéralogie : mullite, cristobalite, verre



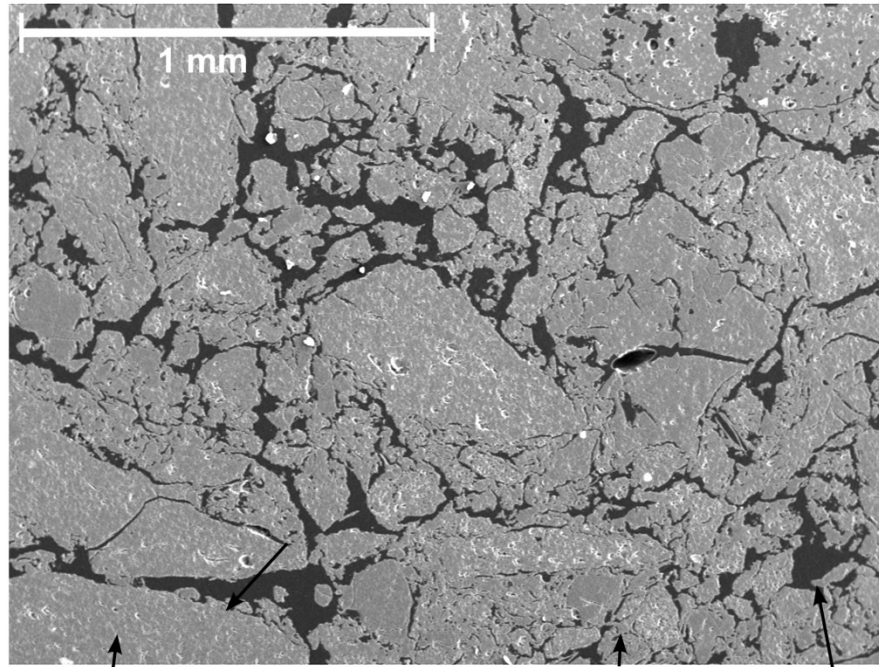
Transformation de la mullite en corindon
Disparition de la silice (cristobalite)
Apparition de nouvelles phases

- *néphéline* (NaAlSiO₄)
- *albite* (NaAlSi₃O₈)
- *noseane* (Na₈Al₆Si₆O₂₈S)

Analyses “post mortem” de réfractaires “ fire- clay ”

Microstructure de la matrice

(a) Avant usage



Chamotte aggregate [wt%]

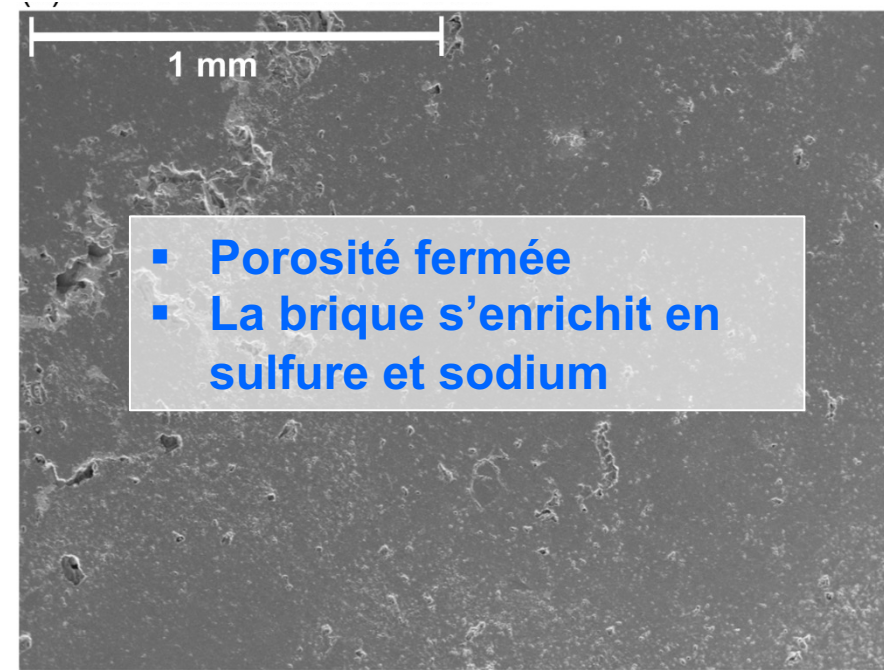
Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂
43.2	55.1	0.8	0.9

Matrix [wt%]

Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
38.3	57.2	2.1	1.5	1.0

Pores

(b) Après 50 mois dans une chambre de combustion



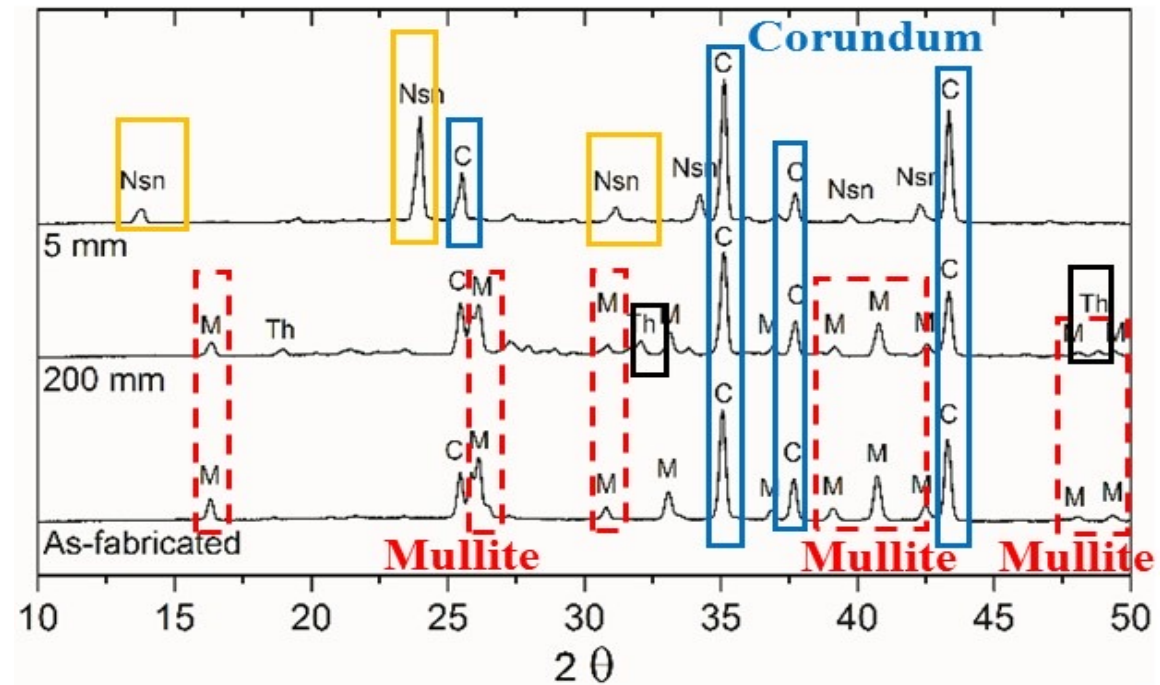
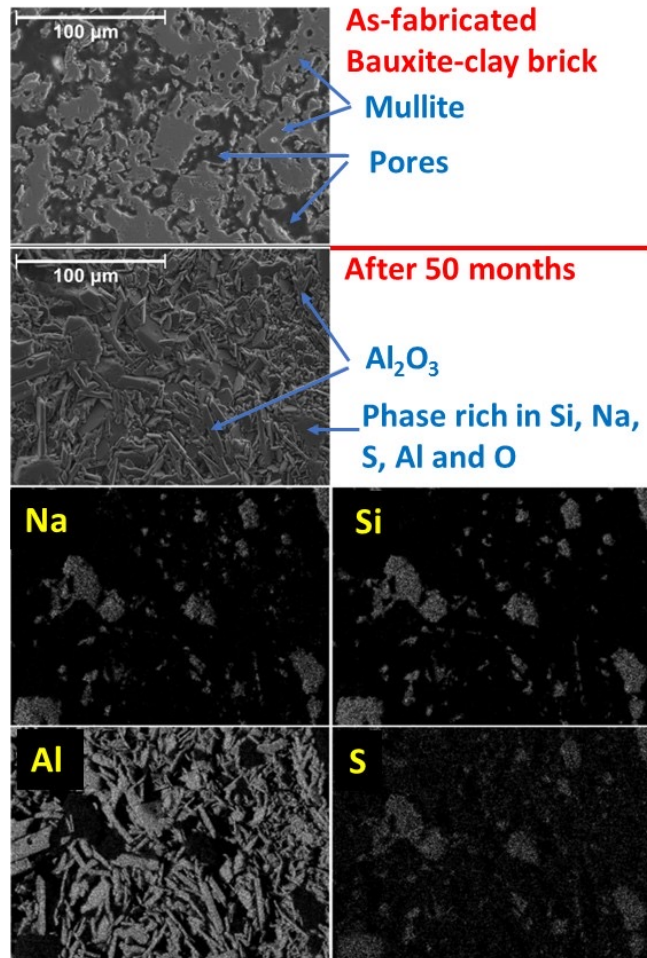
Corroded chamotte [wt%]

Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
40.1	48.0	3.3	7.9	0.7

Corroded matrix [wt%]

Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
35.2	49.6	4.2	10.9	1.0

Analyse “ post-mortem “ de réfractaires à haute teneur en alumine



Evolution of the microstructure :
Décroissance de la mullite
Disparition de SiO₂

Formation de nouvelles phases

✓ *Thenardite* (Na₂SO₄)

✓ *Noseane* (Na₈Al₆Si₆O₂₈S)

Absence de nepheline et d'albite

Réfractaires “Bauxite, clay”

Composition: 67% Al₂O₃ – 29% SiO₂

Mineral phases : corundum, mullite

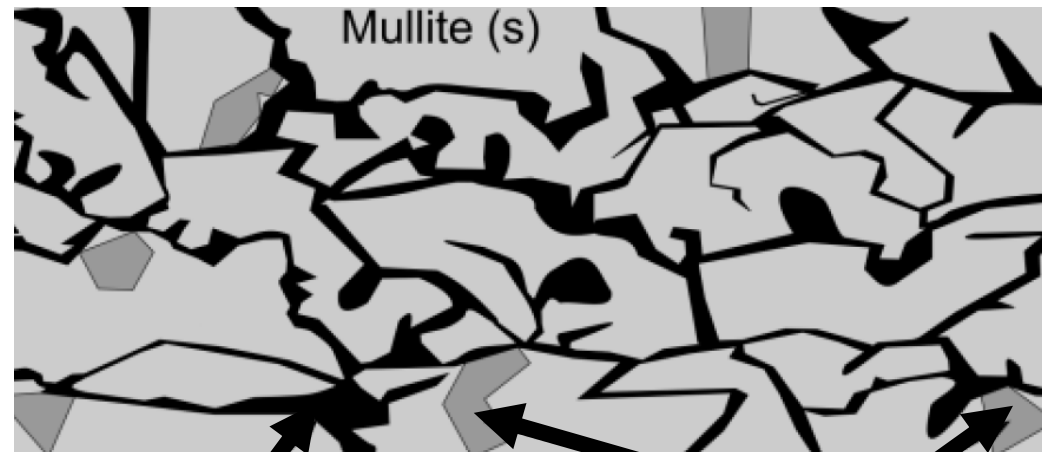
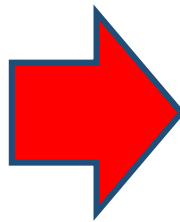
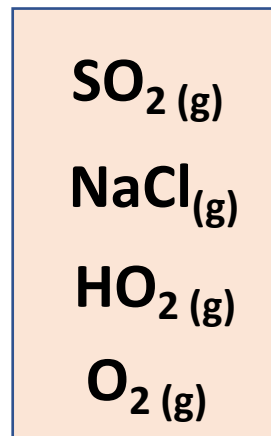
Mécanismes de corrosion

Étape 1 : Pénétration des gaz dans la porosité



Face chaude

Face froide



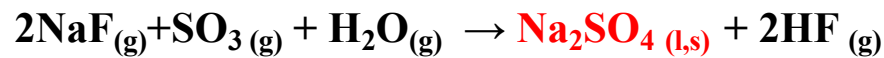
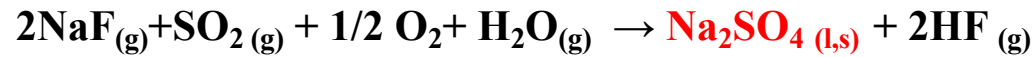
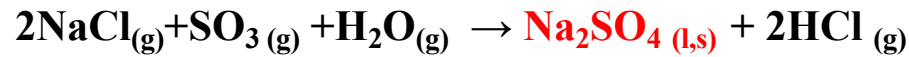
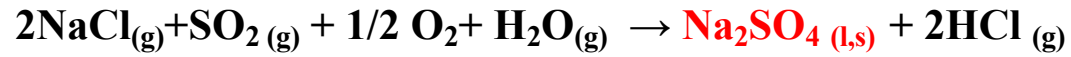
Porosité ouverte

$\text{SiO}_2(s)$

Mécanismes de corrosion

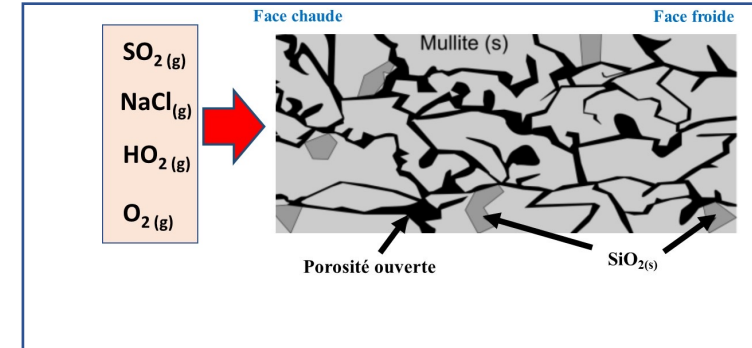
Etape 2 : Dépôt de Thénardite : Na_2SO_4

résulte de réactions entre les sels , le dioxyde de soufre , l'oxygène et la vapeur d'eau

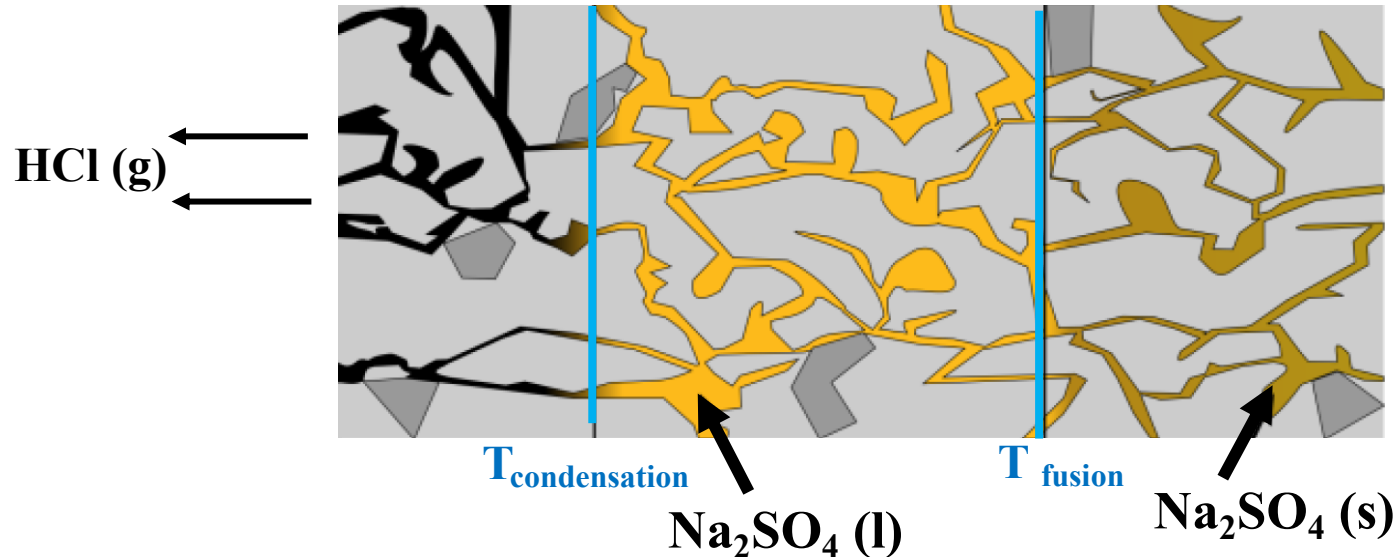


Face chaude

1- Pénétration des gaz dans la porosité

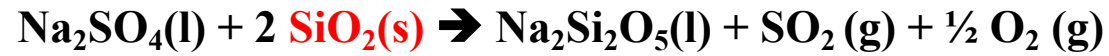


Face froide

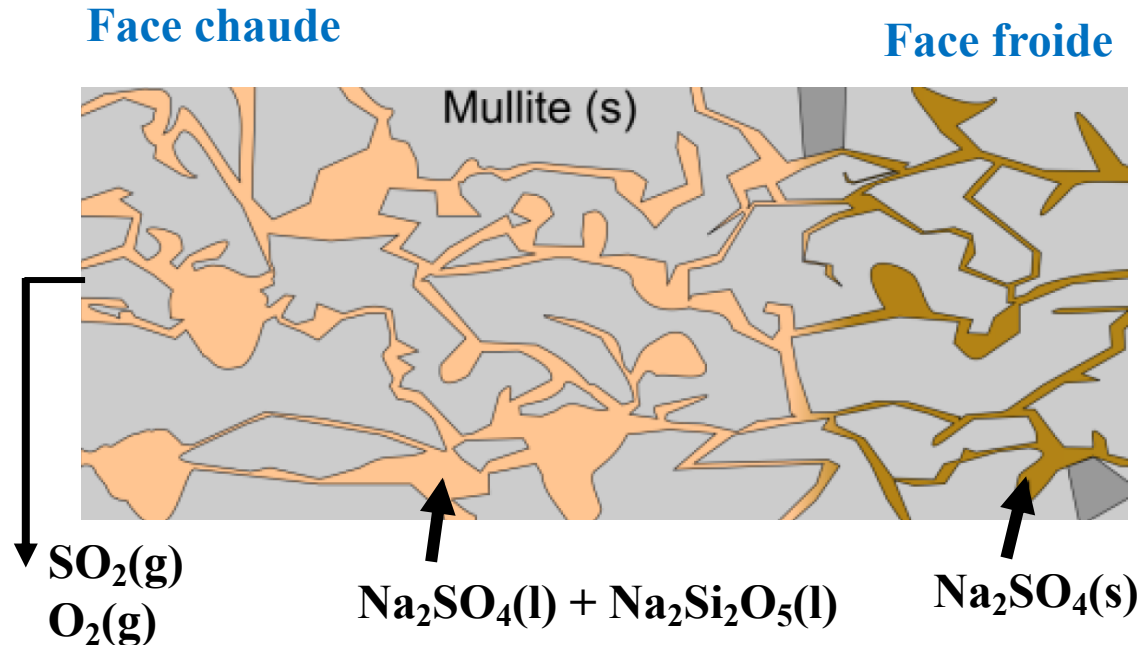


Mécanismes de corrosion

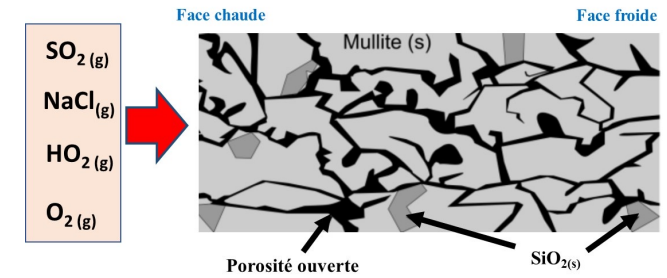
Etape 3 : dissolution de la silice



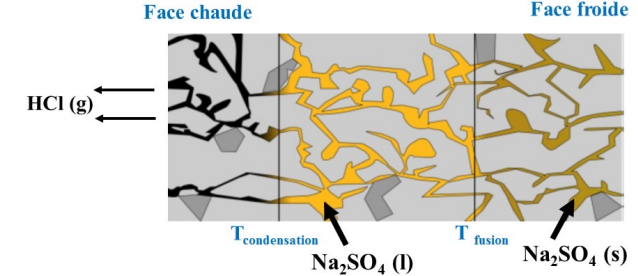
La thénardite dissout la silice et forme une phase liquide
→ *Déformation de la brique*



1- Pénétration des gaz dans la porosité



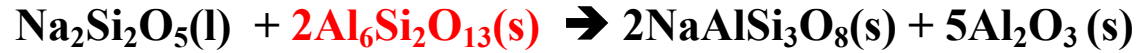
2- Formation de Thénardite



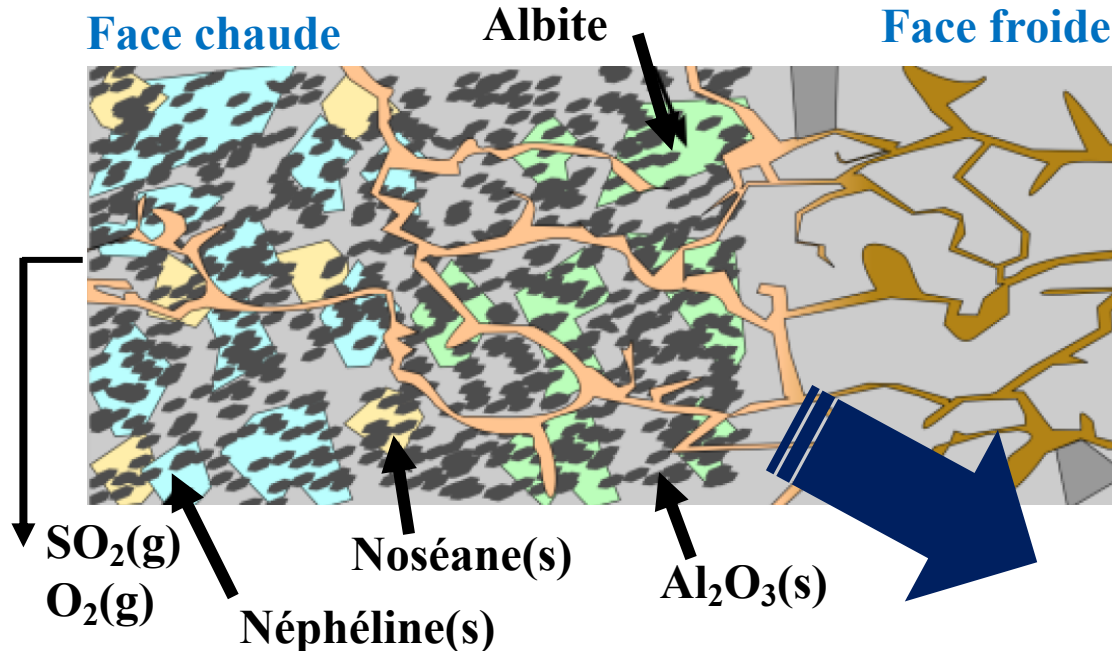
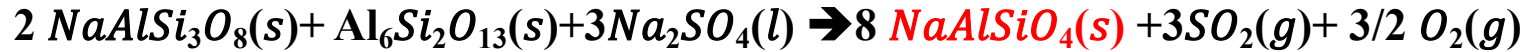
Mécanismes de corrosion

Etape 4 : Décomposition de la mullite

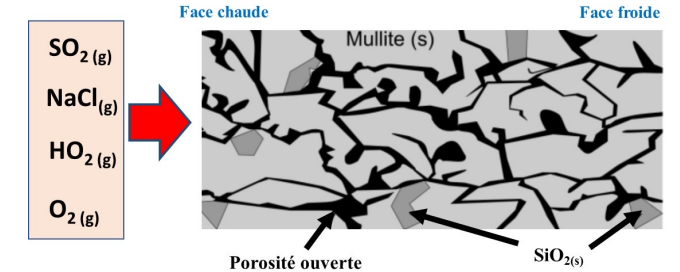
Le liquide $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{l})$ réagit avec la mullite pour former de l'albite et de l'alumine



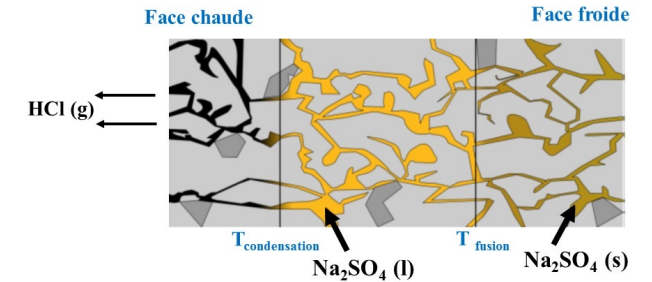
Puis, l'albite réagit avec la mullite pour former la néphéline $\text{NaAlSiO}_4(\text{s})$ – Formation de noséane $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)$



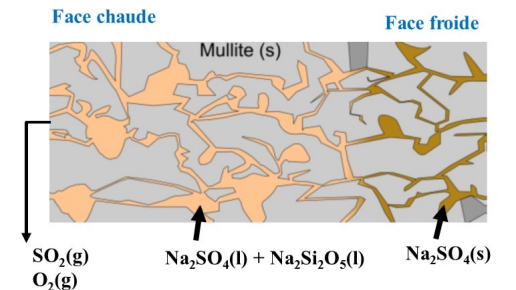
1- Pénétration des gaz dans la porosité



2- Formation de Thénardite



3- Dissolution de la silice



Expansion volumique
→ Endommagement et fissures

Schéma réactionnel

950°C

Nph: Nepheline $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Ab: Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

B: Bauxite-clay brick

F: Fireclay brick

□ Solid

◻ Solid+Liquid

◼ Liquid

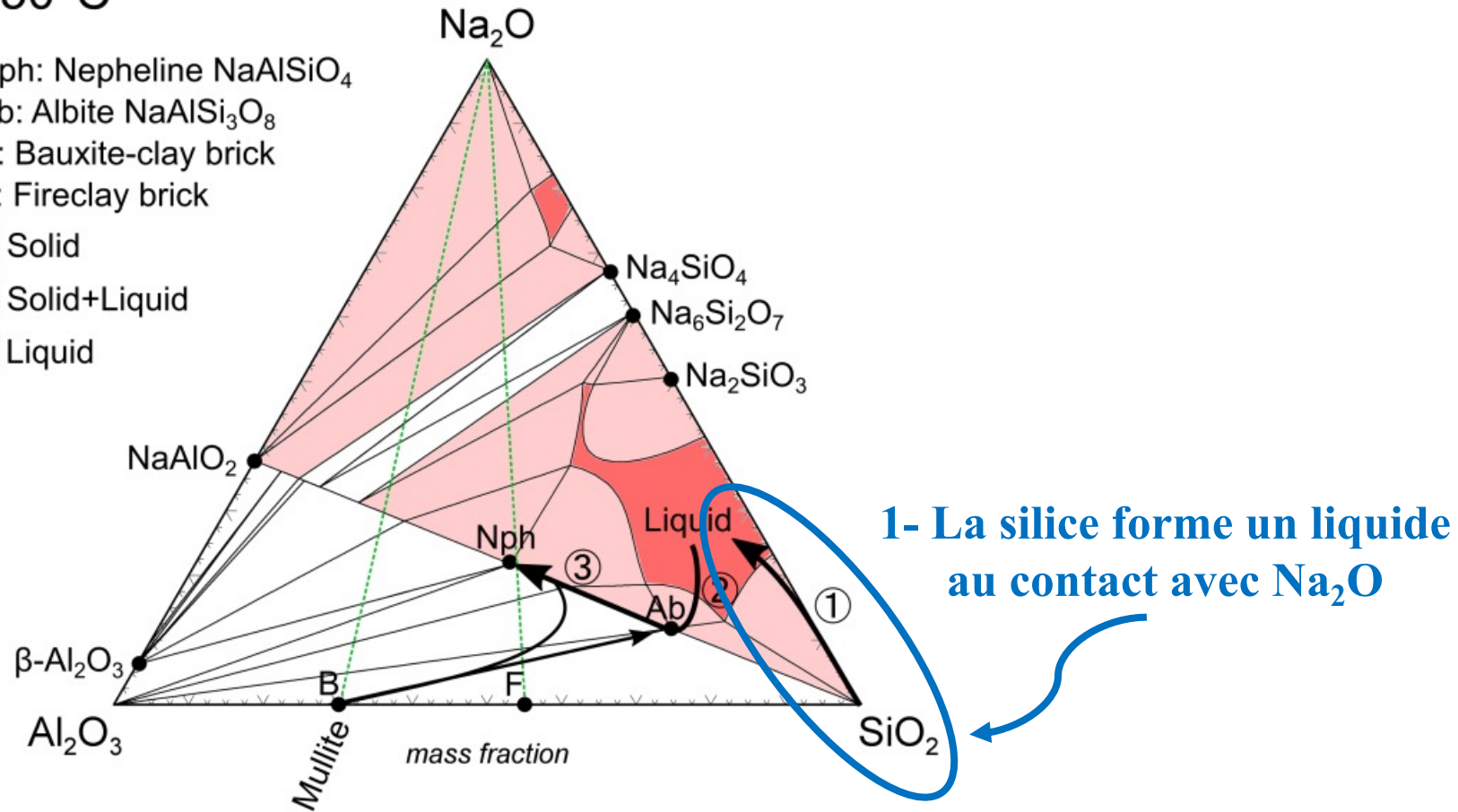


Diagramme de phase $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ à 950°C déterminé à l'aide du logiciel « Factsage »

Schéma réactionnel

950°C

Nph: Nepheline $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Ab: Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

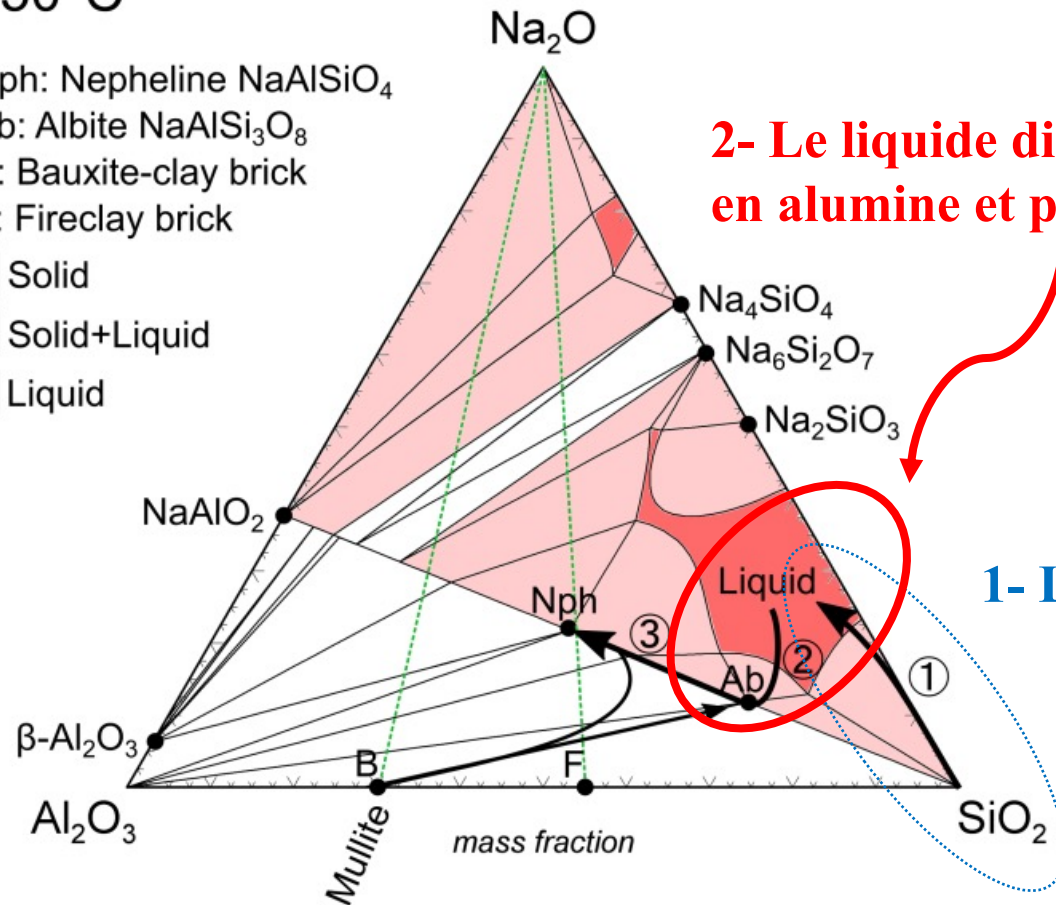
B: Bauxite-clay brick

F: Fireclay brick

□ Solid

◻ Solid+Liquid

◻ Liquid



2- Le liquide dissout la mullite , s'enrichit en alumine et précipite de l'albite

1- La silice forme un liquide au contact avec Na_2O

Diagramme de phase $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ à 950°C déterminé avec Factsage

Schéma réactionnel

950°C

Nph: Nepheline $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Ab: Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

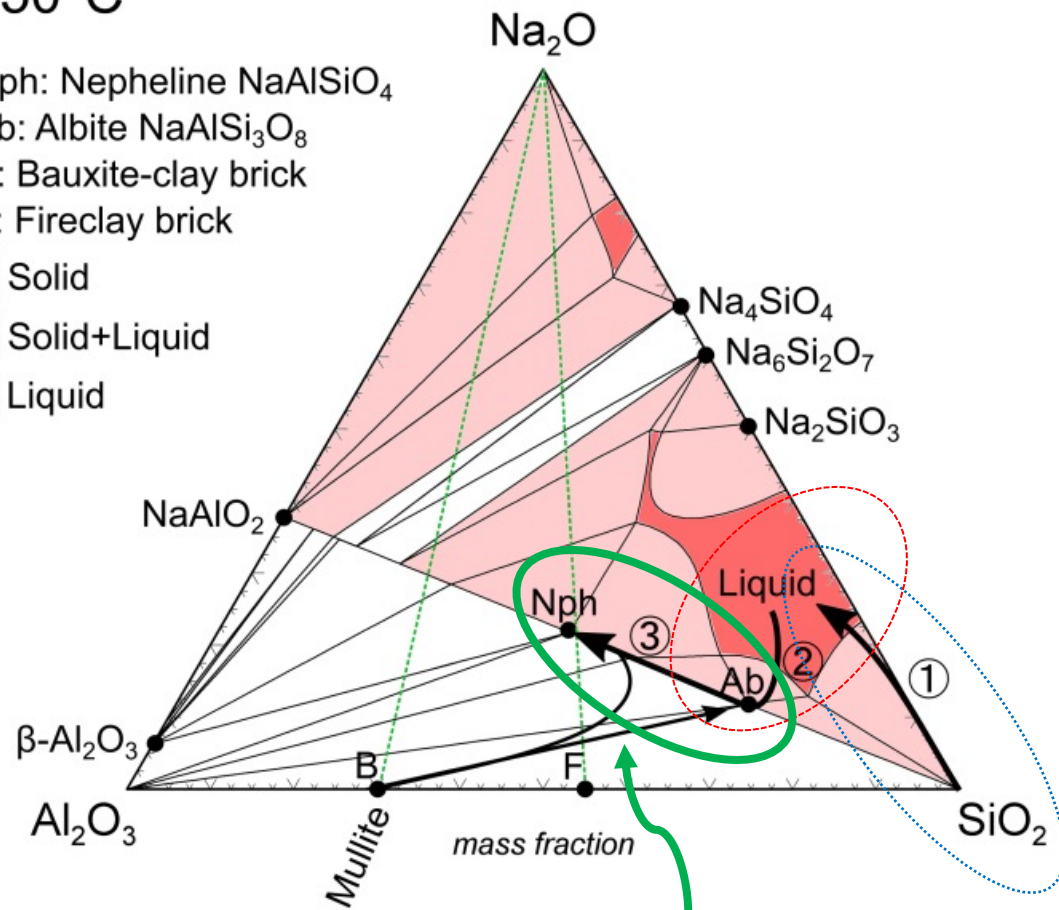
B: Bauxite-clay brick

F: Fireclay brick

□ Solid

◻ Solid+Liquid

◼ Liquid

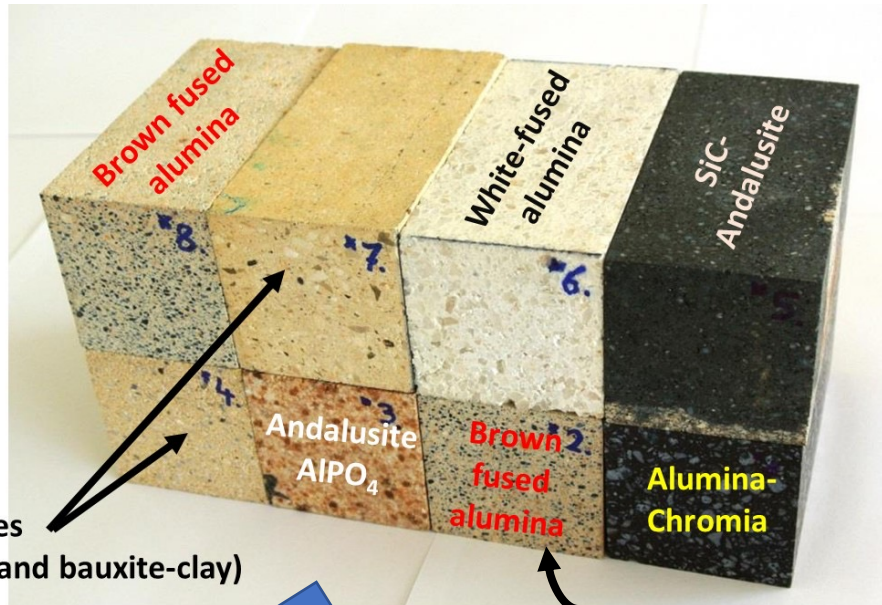


3- L'albite réagit avec la mullite pour former de la néphéline

Diagramme de phase $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ à 950°C déterminé avec Factsage

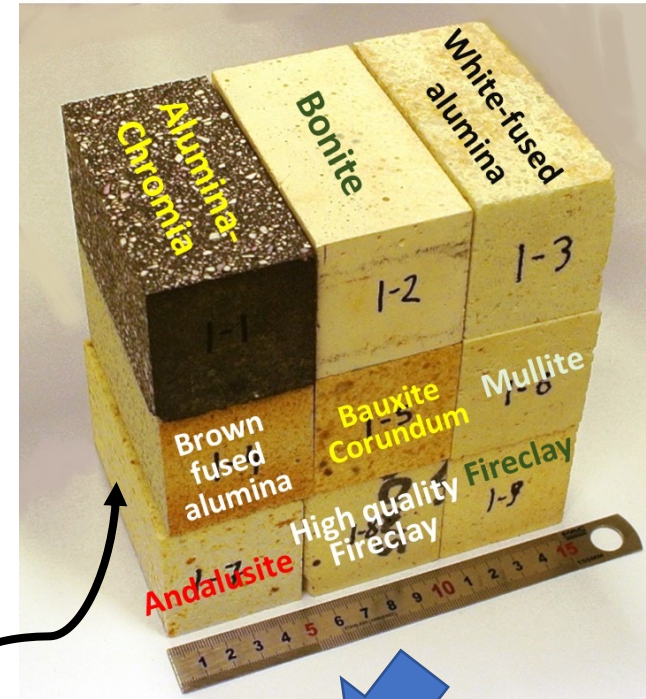
Essais de réfractaires alternatifs

Usine de Rognac, France



References
(Fireclay and bauxite-clay)

Usine de Port-Arthur, Texas, USA



jeu d'échantillons

9 matériaux



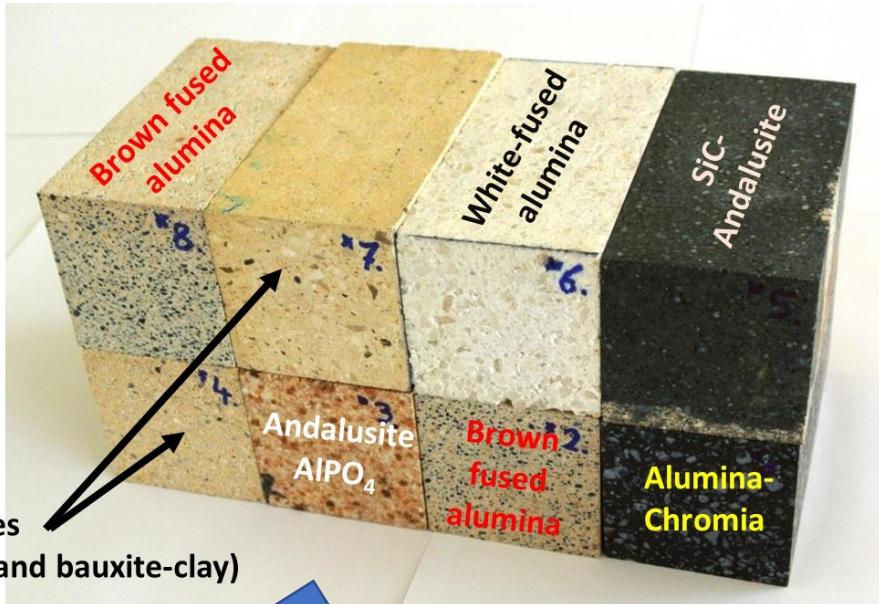
Fenetre
de la chambre
de combustion

9 matériaux



Essais de réfractaires alternatifs

Usine de Rognac, France

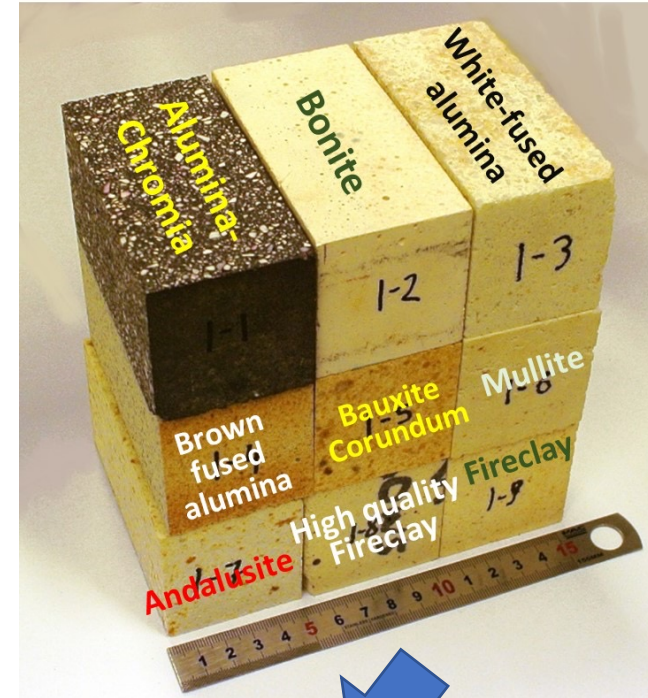


References
(Fireclay and bauxite-clay)



Après 8 mois
d'exposition

Usine de Port-Arthur, Texas, USA



Après 14,5 mois
d'exposition

Résultats dans la chambre de combustion secondaire de Rognac

Référence - Fireclay
52 wt% SiO₂



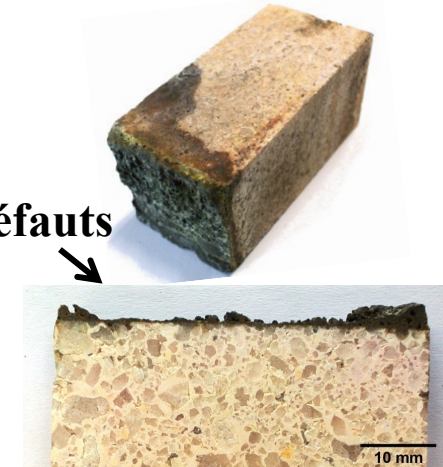
Bauxite + clay
29 wt% SiO₂



Corindon brun
+ P₂O₅
<6 wt% SiO₂



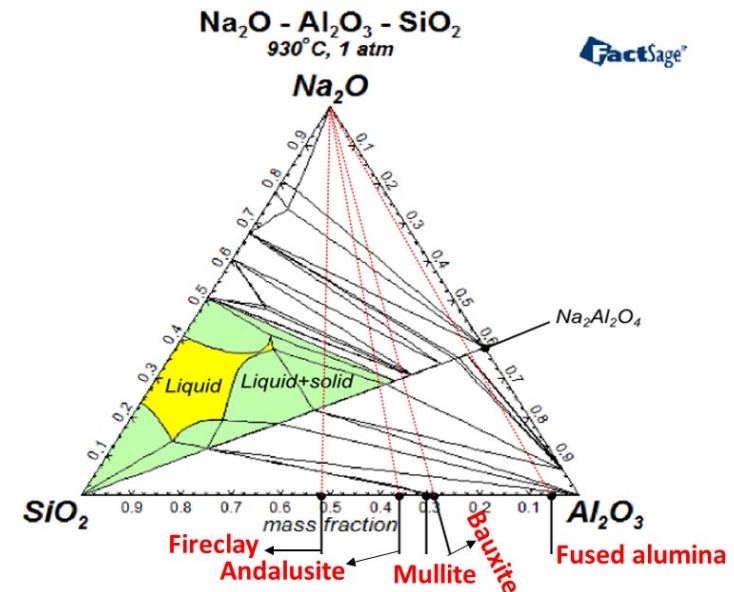
Alumine "blanche"
électrofondue
<5 wt% SiO₂



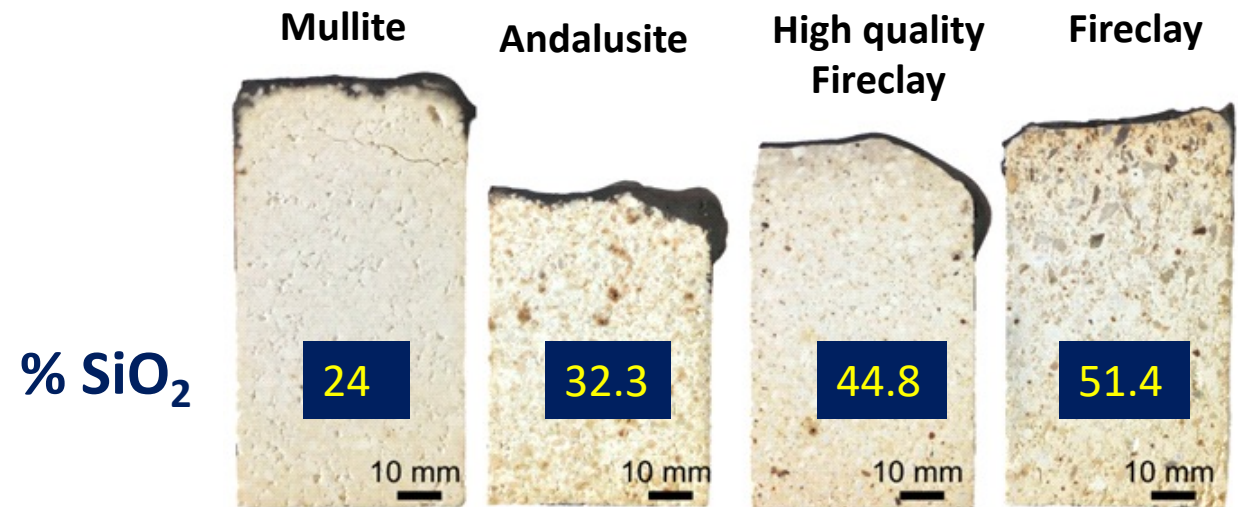
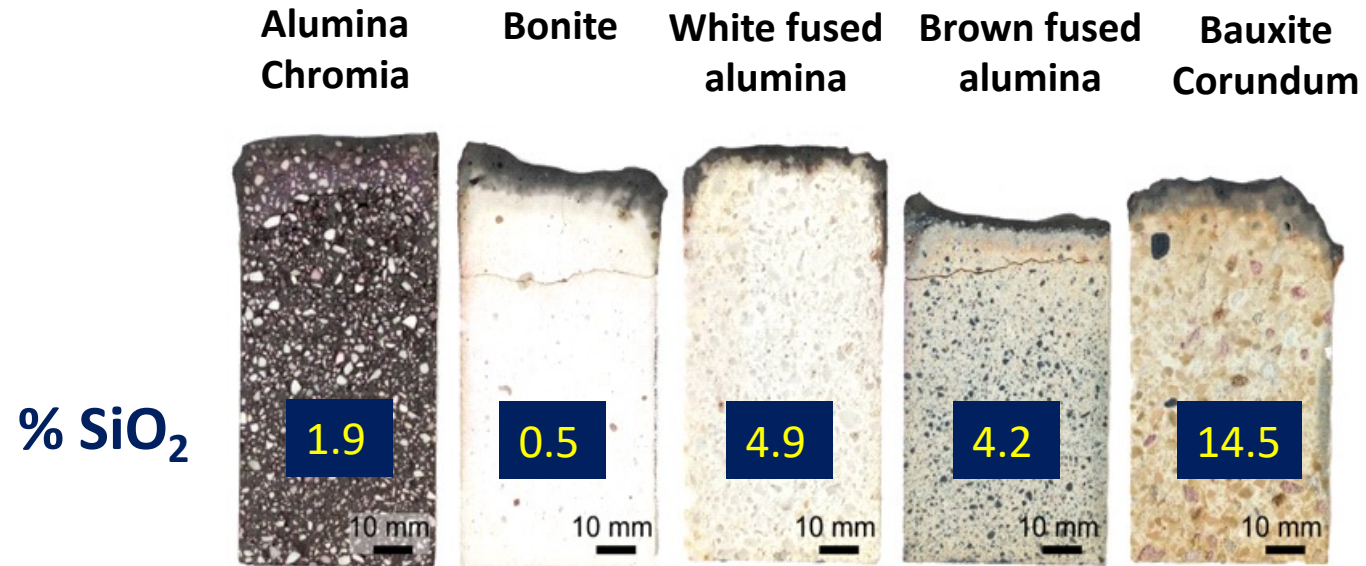
Pas de défauts

↑
Déformation causée
Par une phase liquide

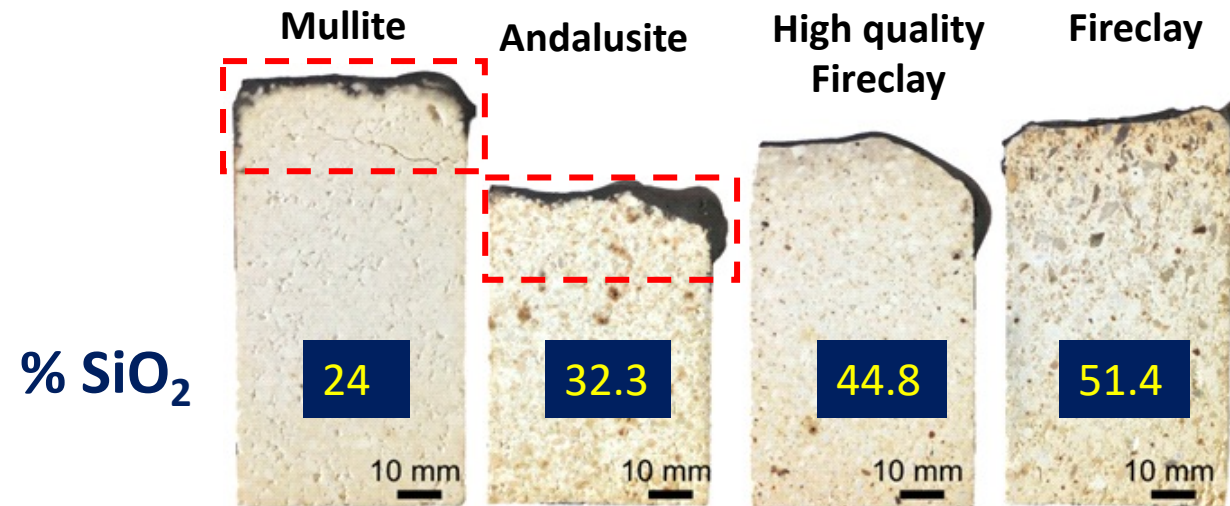
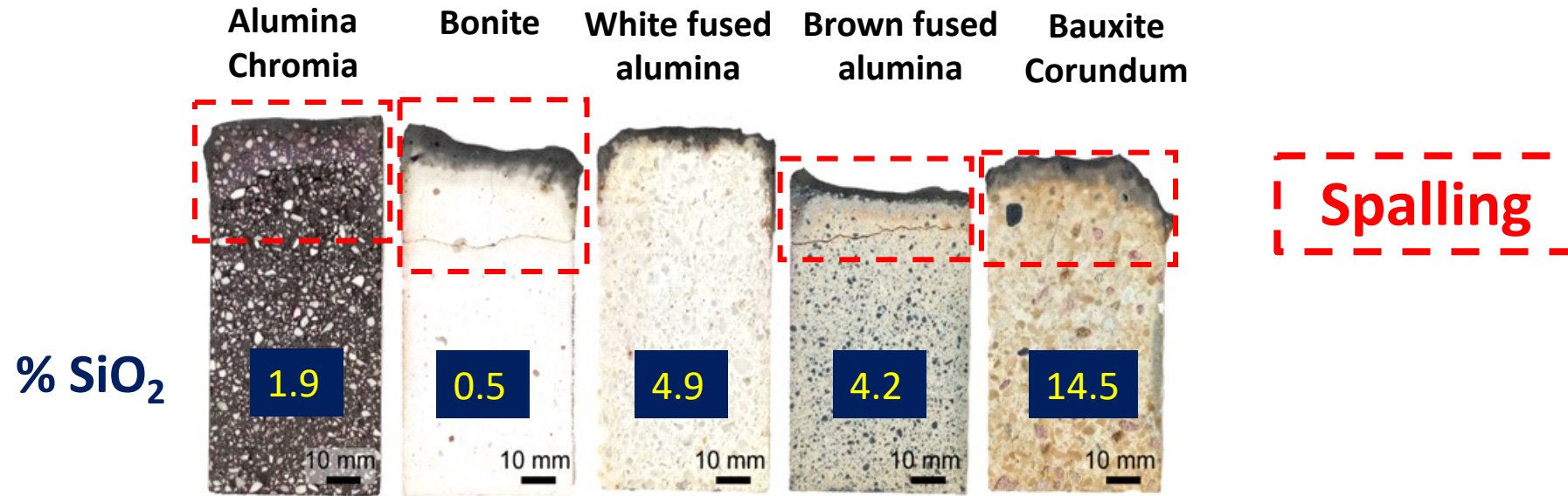
Comme attendu, abaisser la teneur en silice
améliore la résistance à la corrosion



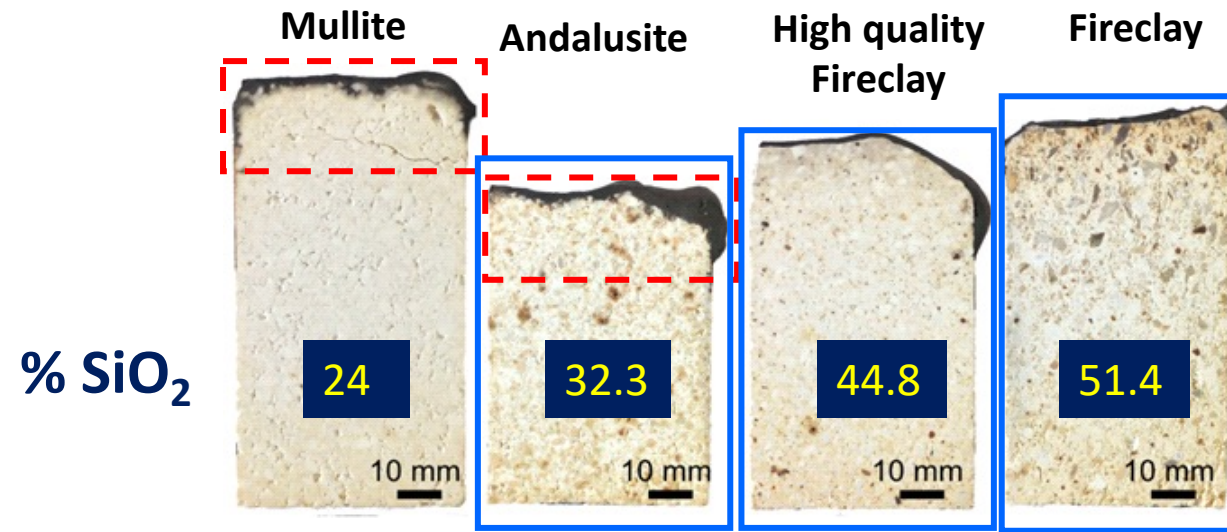
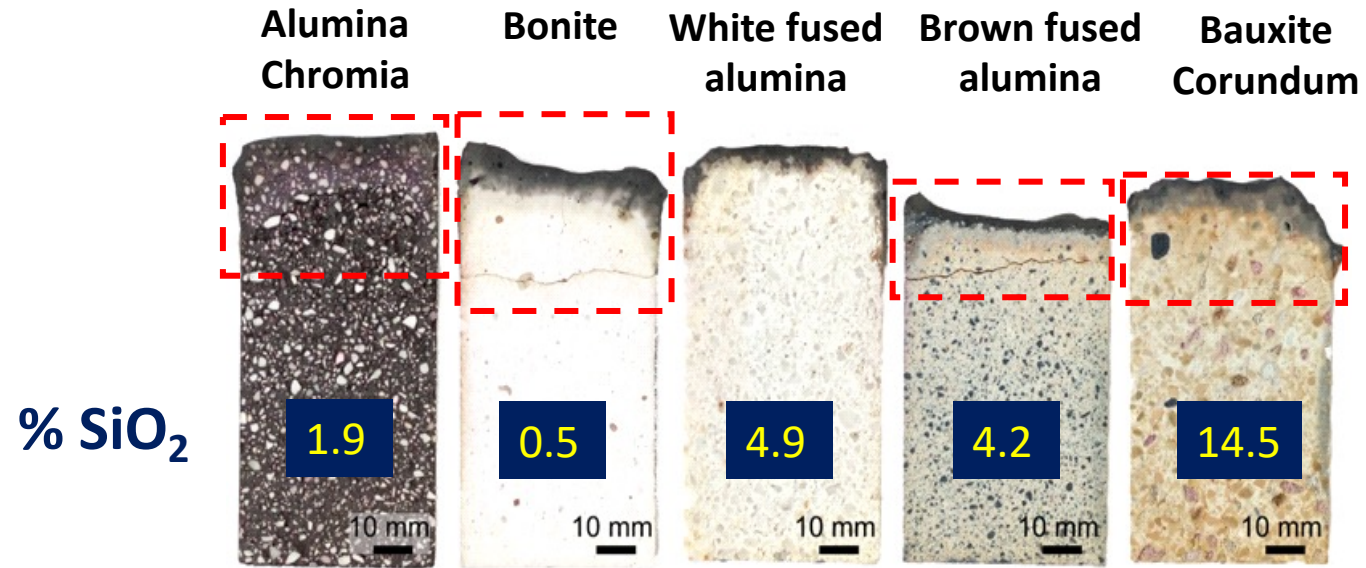
Résultats dans la chambre de combustion de Port-Arthur, USA



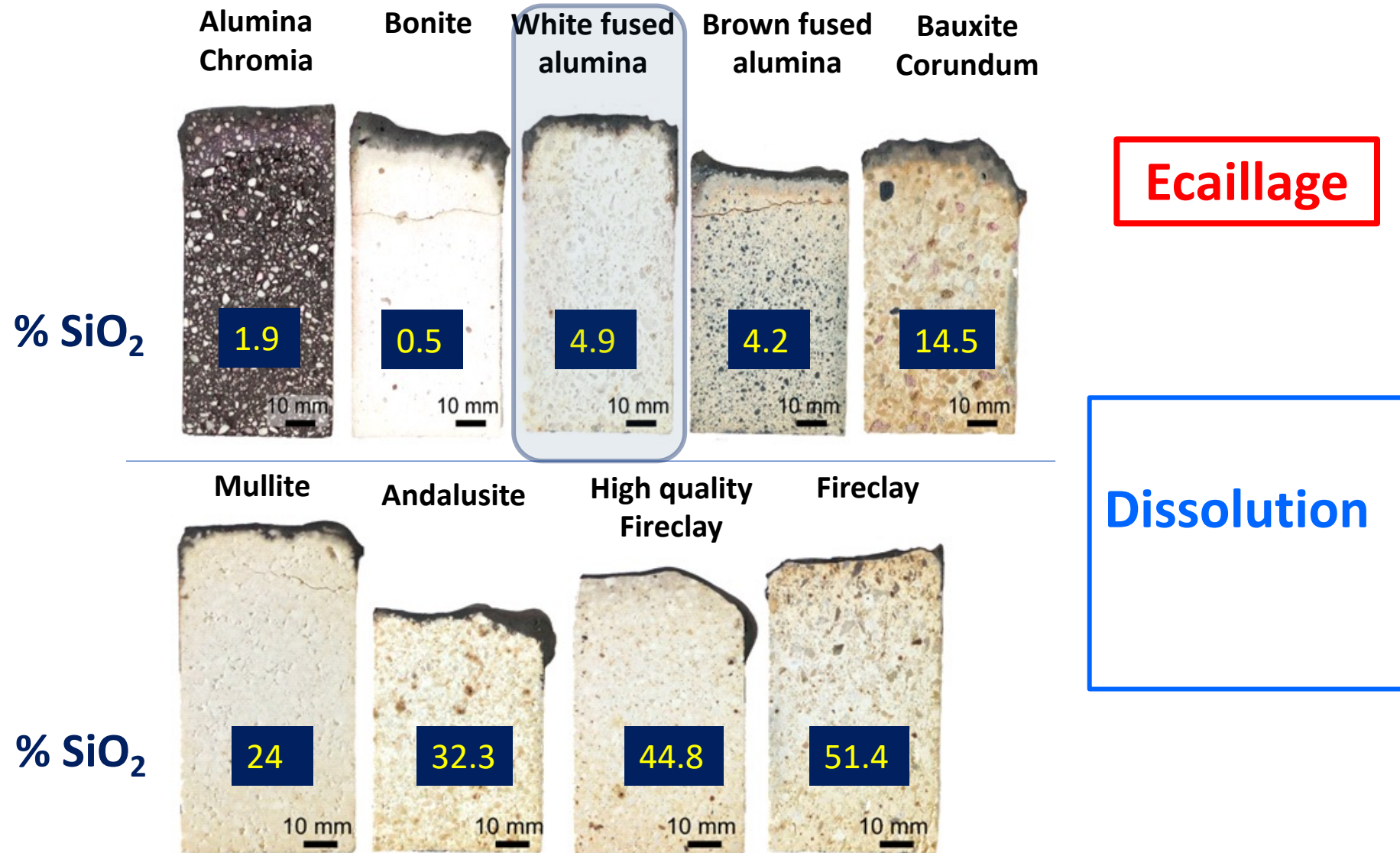
Results in the combustion chamber of Port-Arthur, USA



Résultats dans la chambre de combustion de Port-Arthur, USA



Résultats dans la chambre de combustion de Port-Arthur, USA



Le matériau contenant l'alumine blanche électrofondue est le plus "prometteur"

Recommandations

➤ Problème:

Corrosion → deformation → écaillage)

Les réfractaires doivent résister à Na_2O , SO_2 , HCl

- ✓ Eviter dans la mesure du possible la mullite et la silice libre
- ✓ Les briques devront contenir le moins de silice possible

➤ Solution: des réfractaires à base de corindon ou à haute teneur en alumine > 80 mt%

En guise de conclusion



Les performances et les retombées en quelques chiffres

pour Sarpi

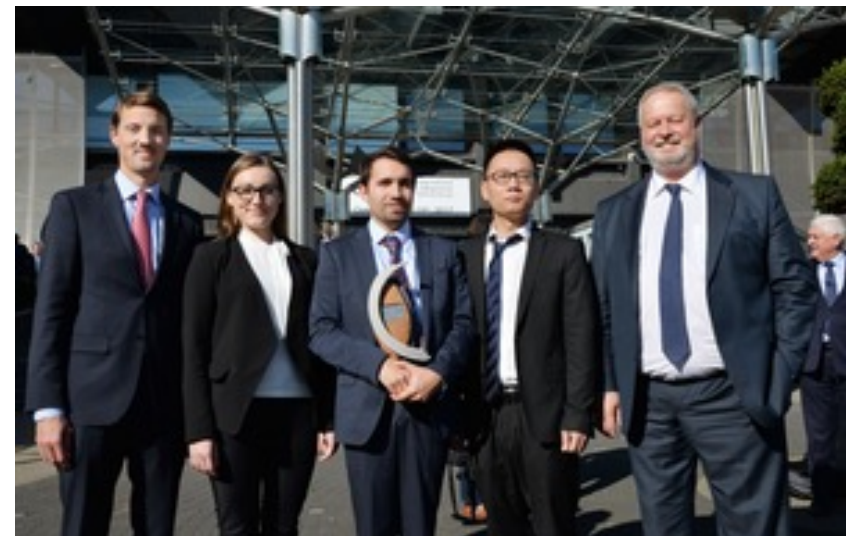
- **Plus de 14 fours garnis** partiellement ou totalement
- Réduction des couts et durée de vie augmentée de **15 à 21 mois**

Pour Bony

- Une fabrication entre **400 et 800 tonnes par an**
- **Recrutement de personnes supplémentaires**

Pour le doctorant et les laboratoires de recherche

- **4 publications** dans des journaux internationaux
- 3 présentations à des colloques internationaux
- **2017 Gustav Eirich Award**
- 2nd Price of the best poster, ICR , Aachen, 2017.



Avec des retombées : actions de formation des opérateurs

- ✓ 14 novembre 2013, séminaire de formation Orléans
- ✓ 2 juillet 2014, journée technique, Marseille
- ✓ 9 Décembre 2015, technical meeting, Krakow



Visites de terrain

Acquérir un savoir-faire

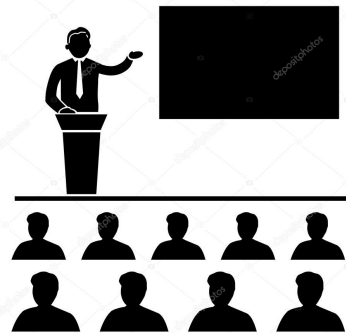
Partager de l'expérience

Mettre en place des méthodes et une démarche

Améliorer la compétence
« réfractaire » de Sarpi

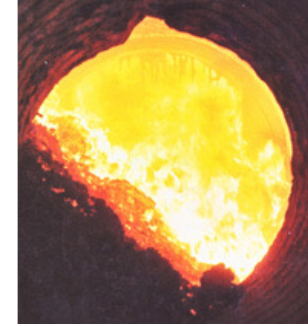
Transmettre des connaissances

Informar de l'avancement de la R et D

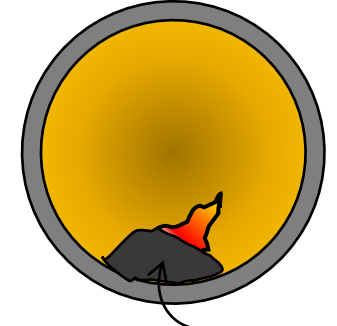


Avec des retombées : le partage des bonnes pratiques

- La mise en place de ventilateurs pour refroidir la paroi des fours



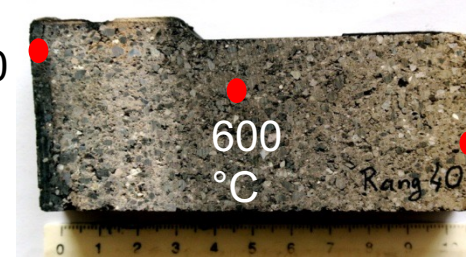
Effet de la thermique



croustage



850
°C



500
°C

Protection des briques (garni)

Durée de vie

10 à 20%

La conduite des fours : un point clé de la performance des réfractaires

Merci
*Mines St Etienne,
Bony, Sarpi*



Merci
de votre attention

