DIAGNOSTIC THERMIQUE DANS UN RÉACTEUR ROTATIF PLASMA POUR LA FUSION DE MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

G. Olalde, J. Py, Robert Delmas, F. Kassabji

► To cite this version:

G. Olalde, J. Py, Robert Delmas, F. Kassabji. DIAGNOSTIC THERMIQUE DANS UN RÉACTEUR ROTATIF PLASMA POUR LA FUSION DE MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES. *Journal de Physique Colloques*, 1990, 51 (C5), pp.C5-321-C5-327. 10.1051/jphyscol:1990539 . jpa-00230847

HAL Id: jpa-00230847

<https://hal.science/jpa-00230847>

Submitted on 1 Jan 1990

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DIAGNOSTIC THERMIQUE DANS UN RÉACTEUR ROTATIF PLASMA POUR LA FUSION DE MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

G. OLALDE, J. PY, R. DELMAS et F. KASSABJI*

IMP - CNRS, Odeillo, 66120 Font-Romeu, France

* EDF/DER D.A.E. Les Renardières, 77250 Moret-sur-Loing, France

Résumé : Le système étudié est un réacteur rotatif à source plasma axiale pour la fusion de matériaux réfractaires. Le diagnostic thermique en transitoire de la première phase de fonctionnement (régime monophasique) est réalisé à l'aide d'un dispositif de télémessure embarqué. Ce système a permis en particulier de mesurer l'évolution du champ des températures à l'intérieur du réacteur (profils axial et radial de températures). Le domaine exploré est compris entre 500 K et 1640 K.

Abstract : The studied system is a rotating reactor with axial plasma source. It is used for the melting of refractory materials. Thermal transient analysis during the first working phase (monophasic rate) is made with a carrier-borne telemetering device. The system enabled in particular to measure the temperature field evolution inside the reactor (axial and radial temperature profiles). The explored temperature range goes from 500 K to 1640 K.

1 - INTRODUCTION.

Dans un grand nombre d'applications du traitement (physique ou chimique) de la matière au moyen d'une source plasma, la caractérisation et l'analyse du comportement thermique du réacteur de traitement est indispensable pour la maîtrise et optimisation du procédé. Le système étudié est celui mis au point par le CNRS à ODEILLO [1,2]. Il présente un vaste domaine d'applications aussi bien sur le plan purement thermique (fusion, sphéroidisation, densification, etc...) que sur le plan chimique (réactions en phase hétérogène liquide-gaz, solide-gaz).

Descriptions du système.

Le matériau à traiter, constitué de particules solides, est contenu dans une enceinte cylindrique (380 mm de longueur, 215 mm de diamètre intérieur d'une capacité utile d'environ 12l.) d'axe horizontal, entraînées en rotation. Sous l'effet des forces d'inertie, le matériau granulométrique est plaqué à la périphérie du cylindre et forme en se tassant un espace annulaire vide.

Une colonne plasma, générée par deux torches placées en opposition de part et d'autre du four rotatif traverse axialement cette zone vide et crée une "jonction électrique" qui sert de support au courant de transfert : courant qui apporte la quasi totalité de l'énergie au système figure 1.

Figure 1 : Schéma du système.
(Schematic cross view of the system)

2 - ETUDE EXPERIMENTALE.

Matériau.

Dans toutes les expériences que nous avons menées, le matériau traité est une poudre d'alumine, le diamètre moyen des particules est de 50 μm . Les caractéristiques physico-chimiques de l'alumine utilisée sont données dans l'Annexe 1.

Une fois introduit dans le réacteur, le matériau est centrifugé à une vitesse de 500 tours/minute. Un espace annulaire vide, de rayon $R_0 = 15 \text{ mm}$, est ménagé dans l'axe du matériau. La masse de matière introduite dans le réacteur est de 11.4 kg ($\pm 100 \text{ g}$) pour une capacité utile de 11.64 litres. La porosité globale du matériau traité est donc de 0.75. Cette valeur très élevée de la porosité s'explique par une porosité interne de chaque particule qui constitue le milieu poreux d'environ 0.54.

2-1-Métrologie

Afin de suivre l'évolution thermique du réacteur en fonctionnement, un dispositif de télémessure a été mis au point. En effet, la mesure de températures dans un volume tournant pose de nombreux problèmes liés principalement au fait qu'il ne peut y avoir continuité du signal entre la partie tournante et l'extérieur par un moyen conventionnel. Lorsque le signal généré par le capteur de température est un signal électrique de bas niveau (cas des thermocouples), la continuité entre la partie fixe et la partie tournante pourrait se faire par des contacts mobiles mais, dans notre cas, l'environnement électromagnétique ne permet pas une telle solution. Ces diverses raisons nous ont amenés à envisager un dispositif de télémessure tout à fait original.

Le dispositif de télémessure est composé de deux sous-systèmes :

- le sous système embarqué
- le sous système en poste fixe

Sous système embarqué

Il se trouve logé à l'intérieur du réacteur dans un environnement très sévère. Afin de le préserver des hautes températures existant lors du fonctionnement du four, il a été placé dans l'espace annulaire, formé par la paroi cylindrique mobile et l'enveloppe extérieure. Cet espace annulaire est utilisé habituellement pour le refroidissement du réacteur au moyen d'un dispositif mixte douche/barbotage.

Les différents groupes électroniques faisant partie du sous système embarqué sont fixés à l'enveloppe mobile. Ils sont donc soumis à des contraintes extrêmement sévères notamment au niveau :

- de l'environnement électromagnétique intense (source plasma) très défavorable pour

l'acquisition et la transmission des signaux.

- des contraintes mécaniques (gravité artificielle de l'ordre de 30g à 500 tours/minute) entraînant des phénomènes vibratoires.
- du milieu aqueux environnant (étanchéité).
- de l'espace restreint (miniaturisation des éléments).

Le système embarqué se compose de trois groupes :

- multiplexeurs et système de conversion tension-fréquence
- circuits logiques de commande et contrôle du modulateur
- émetteur haute fréquence pour l'émission de données.

Le système embarqué permet l'acquisition de seize voies bas niveau (thermocouples) au moyen de deux multiplexeurs couplés à un amplificateur d'instrumentation. L'amplificateur travaille avec un gain constant égal à 100 X. Le signal des thermocouples est transformé en fréquence à l'aide d'un convertisseur. Cette transformation permet d'utiliser un émetteur modulé en fréquence évitant les problèmes (parasites...) inhérents à la modulation d'amplitude.

Sous-système en poste fixe

Chargé de reconstituer les données envoyées par l'émetteur, il est constitué par un récepteur accordé sur la fréquence émetteur (187 MHz) et d'un démodulateur complexe. Ce démodulateur extrait les tops de synchronisation, pour la scrutation et les canaux, il démodule également la valeur des tensions représentant les données.

Thermocouples.

Les thermocouples utilisés pour la mesure du champ de températures dans le matériau sont de type K (chromel-alumel). Ils sont implantés par groupes de deux ou trois sur des cannes en alumine de 8 mm de diamètre à des positions radiales différentes. Ces tiges sont fixées sur la paroi interne du réacteur, la connexion électrique se faisant à l'aide de micro-connecteurs (montage et démontage des tiges après chaque expérimentation). Neuf emplacements pouvant recevoir ces cannes ont été prévus à différents endroits dans le réacteur.

Lors de chaque essai, nous avons enregistré l'évolution des températures en 16 points répartis à l'intérieur du matériau. La figure 2 donne la position des 9 plans dans lesquels sont implantés les tiges d'alumine supportant les thermocouples.

Figure 2 : Implantation des thermocouples à l'intérieur du réacteur.
(Location of the thermocouples in the reactor)

2-2-Températures dans le réacteur.

La figure 3 représente l'évolution, au cours du temps, des 16 voies pour un "essai type" (Puissance électrique totale $P_{ET} = 70\text{kW}$, rayon initial du milieu poreux $R_0 = 15\text{ mm}$).

N° de courbe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Position radiale r (mm)	30.0	31.0	32.5	39.0	41.5	42.5	46.5	46.5	48.5	55.0	56.0	56.0	61.5	61.0	63.5	69.0
z (mm)	0	50	- 50	90	60	55	0	50	- 50	90	60	55	0	50	- 50	90

Figure 3 (a) évolution des températures en fonction du temps
(temperature evolution versus time)
(b) coordonnées des thermocouples dans la figure
(thermocouples coordinates in the figure)

Le domaine de températures exploré est compris entre 500 K (limite de détection du système de télémessure) et 1640 K (température d'utilisation maximale du thermocouple type K).

On remarque que la vitesse de montée en température est d'autant plus grande que les points de mesures sont proches de l'axe du réacteur. La voie 1, qui correspond à une position radiale $r = 30\text{ mm}$ met 15 secondes pour passer de 500 K à 1200 K. La voie 14, qui correspond à $r = 61\text{ mm}$ passe de 500 K à 1200 K en 150 s soit environ 10 fois moins rapidement. Ce résultat tout à fait logique est dû à la configuration cylindrique car la vitesse de propagation du front de fusion (et par conséquent du front chaud) décroît fortement avec le rayon.

On remarque d'autre part que, pour les points situés près de l'axe du réacteur (r petit), la température mesurée n'atteint jamais la température maximale d'utilisation qui correspond à la destruction du thermocouple. Nous avons attribué cela à la conjonction de deux phénomènes [3,4].

- la vitesse de déplacement du front chaud est extrêmement rapide à proximité des faibles rayons ($\sim 50\text{ K/s}$)

- la chaîne de mesures et d'acquisitions possède un temps de réponse non négligeable. Ce temps de réponse est conditionné par la mise en équilibre thermique du thermocouple dans le milieu poreux.

Ainsi, un thermocouple peut être détruit par l'arrivée brutale du front de matière liquide alors qu'il n'était pas en équilibre thermique avec le milieu poreux

dans lequel il était plongé.

2-3-Position du front de fusion et pourcentage de matière fondue.

La position du front de fusion est mesurée expérimentalement après tronçonnage des creusets solidifiés dans une zone centrale de palier. La figure représente la position du front de fusion en fonction du temps.

Figure 4 : Position du front de fusion en fonction du temps.
(Melting boundary evolution versus time)

La figure 5 représente la variation du taux de matière fondue η_F en fonction du temps. La masse de matière fondue est mesurée par pesée des creusets solidifiés. Il s'agit donc d'une mesure globale qui prend en compte la masse totale du creuset.

Figure 5 : Pourcentage de matière fondue, en fonction du temps.
(The melting efficiency evolution versus time)

3 - CONCLUSIONS

On remarque que les vitesses de montées en température (pentes des courbes) sont plus importantes pour les faibles rayons que les rayons importants. Par ailleurs, il est important de noter que ce type de résultats issus d'un essai type, est sujet à une incertitude significative en ce qui concerne l'emplacement réel des thermocouples dans le milieu poreux. En effet, une imprécision de l'ordre du millimètre peut se traduire par une différence de température de plusieurs centaines

de degrés.

Nous remarquons également que le pourcentage de matière fondue, varie pratiquement linéairement avec le temps. Ceci s'explique par le fait que, pendant presque toute la durée des essais (environ 500 s), le système ne cède aucune énergie à l'extérieur (réfrigération par les douches). Les bilans calorimétriques effectués sur le corps du réacteur ont confirmé que, pendant toute la durée des essais (500 s), les pertes par réfrigération étaient, aux incertitudes de mesure près, négligeables.

De ce fait, l'efficacité de fusion instantanée reste quasiment constante pendant cette durée. Enfin, le dispositif original de métrologie par télémesure associé à ce réacteur a permis d'évaluer en transitoire et pour diverses conditions de fonctionnement le comportement thermique du procédé.

BIBLIOGRAPHIE

- 1/ M.FOEX, R.DELMAS "Procédés et dispositifs pour le chauffage de substances à l'aide de plasma, Brevet F N° 1351419 (1962).
- 2/ M.FOEX, R.DELMAS "Four à plasma pour l'étude des produits réfractaires, C.R.Acad. Sci. 265 C, 9, 1970.
- 3/ L.FULCHERI, G.OLALDE, J.M.BADIE "Fusion de matériaux réfractaires dans un réacteur plasma à superposition de puissance". Entropie N° 146-147, pp 22-28, 1989.
- 4/ L.FULCHERI "Fusion d'un matériau poreux soumis à un flux surfacique intense. Application à la caractérisation énergétique d'un réacteur rotatif à source plasma. Thèse de Doctorat, Juillet 1988, Université de Perpignan.

ANNEXE 1

Formule : Al₂O₃
 Masse molaire : 101,96
 Aspect : Poudre cristalline blanche

Produit non toxique

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

		Valeur moyenne	Valeur garantie
Cristal de base, d50		5	-
Taux d'alumine alpha	%	92	> 88
Surface Blaine (1)	cm ² /g	5200	4700-6000
Surface BET	m ² /g	42	-
Perte à 300°C	%	0,1	< 0,25
Perte à 300°C-1000°C	%	0,03	< 0,1
Densité absolue		3,93	-
Densité apparente		0,7	-
Blancheur (2)		94	-
Talus		54	49-58
Granulométrie (3) :			
Inf. 128 microns, %		99	> 98
96 microns, %		92	-
48 microns, %		45	30-65
32 microns, %		22	-
16 microns, %		11	< 20
d50 microns		52	-

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Sur produit brut	Valeur moyenne	Valeur garantie
Na2O total (4) ppm	3400	Inf. à 4000
Ca (6)	160	200
Fe (7)	140	210
Si	50	90
Zn	22	40
Ti	9	20
V	4	15
S total (5)	12	40
K, Li, Hg, P, Ga, F, B, Cl, C, ...	-	sur demande

METHODES D'ANALYSE

- (1) Après broyage
- (2) ELREPHOT (échelle 0 à 100)
- (3) Tamis VECO ou Diffraction laser CILAS 715
- (4) Totalité élément Na contenu, par absorption atomique
- (5) Combustion appareil LECO, détection IR
- (6) Pour l'ensemble des impuretés Ca, Zn, Ti, V, spectrométrie d'émission plasma
- (7) Colorimétrie