

Fusion du verre à l'oxygène

Etat des lieux du développement et des nouveautés :

OS-ALGLASS

J.-Y. IATRIDES, I. HIBON

Air Liquide, Gaz Industriels Services, Centre de Recherche Claude Delorme, BP 35, 78354 Jouy en Josas

Après 10 ans de développement de la technologie de fusion du verre à l'oxygène, cet article présente un état des lieux de la technologie actuelle et des développements en cours. Après une rapide introduction sur l'historique, l'article fait le point sur les motivations et les performances attendues. Ce panorama est ensuite complété par une présentation des outils les plus récents mis à la disposition tel que OS-ALGLASS : prestation pour l'optimisation technico-économique du fonctionnement des fours verriers.

Oxy glass melting

After 10 years of development of the oxygen glass melting, this article presents the state of the art of this technology and the latest developments. After a brief introduction of history, the paper introduces the glass maker motivation and the expected performances. Then the recent tools available for the industry are presented such as OS-ALGLASS : service for the optimization of the operating cost and technical performances of the glass tank.

1. Fusion du verre à l'oxygène : 10 ans plus tard

La production mondiale de verre est estimée à plus de 100 millions de tonnes (base 1996). Cette production correspondant aux différents produits verriers est réalisée par environ 2000 fours de fusion dont la capacité est très variable (5 à 900 t/j). Malgré la multitude de problématiques, la fusion du verre à l'oxygène est aujourd'hui référencée dans l'ensemble des segments de l'industrie du verre. Les verres techniques ont été les premiers à utiliser la combustion à l'oxygène pour son efficacité thermique. On estime aujourd'hui que 10 % de la production mondiale soit 10 millions de tonnes de verre est faite dans des fours de fusion à l'oxygène. La pénétration rapide aux USA a été liée dans un premier temps au besoin d'adapter les outils de production aux nouvelles normes environnementales (NOx et poussières), mais aujourd'hui, on estime que 60 % de la production de verre aux USA est élaborée dans des fours de fusion à l'oxygène pur.

Pour ce qui concerne l'Europe, les motivations principales dans le choix de la technologie de fusion à l'oxygène sont les suivantes :

- l'investissement dont la partie réfractaire se trouve réduite par l'absence de chambre et d'empilage;
- l'emprise au sol, réduite par l'absence de récupération de chaleur ;
- l'économie de combustible offerte par la performance du transfert thermique des flammes oxy-combustible ;

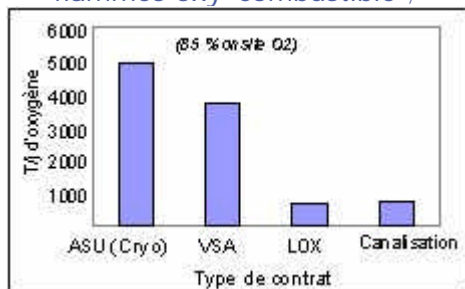


Figure 1 : Mode de fourniture oxygène des fours de fusion tout oxygène.

- les réductions de NOx et poussières qui permettent de s'adapter économiquement aux normes environnementales les plus contraignantes.

Le choix du mode d'approvisionnement (figure 1) en oxygène est un paramètre important. Air Liquide a développé différentes méthodes basées, soit sur des technologies on-site de séparation d'air par cryogénie ou adsorption, soit sous forme d'oxygène liquide, soit encore directement par pipe-line (si disponible à proximité).

2. Les motivations et les performances

Le remplacement de l'air de combustion par de l'O₂ modifie en général les 3 paramètres suivants : efficacité thermique, émission NOx et poussières.

2.1 Efficacité thermique

Selon les performances initiales du four, les réductions de consommations énergétiques peuvent aller de 5 à 50 % (figure 2).

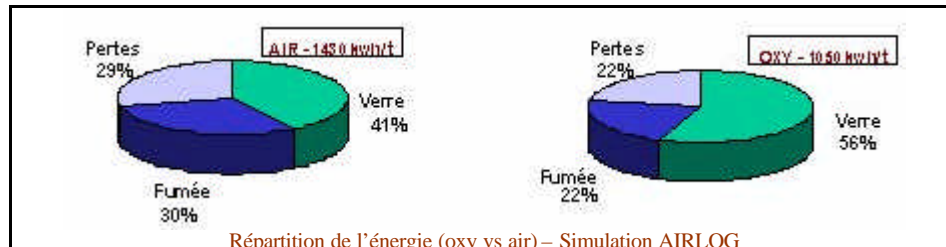


Figure 2 : Efficacité thermique de la fusion à oxygène

En effet, selon la température de préchauffage de l'air, le nombre de ports et la géométrie du four, le potentiel de gain est très variable. La réduction des pertes radiatives au travers des ports aéro est souvent un élément important dans le bilan thermique.

Les performances d'un four oxy-gaz évoluent moins tout au long de la campagne du four du fait de l'absence de système de préchauffage et la régularité du profil thermique dans le four.

2.2 Emissions NOx et poussières

Afin de suivre l'évolution des normes environnementales, les verriers disposent d'une panoplie de technologie. Des démonstrations récentes comme celles du procédé Phénix a montré qu'il existait une alternative aux mesures secondaires pour les fours aéro. Néanmoins, aucune mesure primaire applicable industriellement au four aéro-combustible n'a permis d'atteindre les performances des fours oxy-combustible.

L'évolution plus rapide des normes des rejets poussières en Europe a naturellement conduit les verriers européens à mettre en place des équipements de filtration adaptés.

2.3 Fusion oxy-combustible

Afin d'apporter à ses clients des éléments dans la décision de conversion, Air Liquide a analysé un ensemble de données correspondant à une trentaine de fours oxy-combustible en exploitation à travers le monde.

Le graphe (figure 3) ci-dessous met en évidence la forte dispersion dans les émissions NOx des fours aéro-combustible. Certains résultats sont très éloignés des niveaux requis actuellement pour les nouveaux fours. Les meilleures performances correspondent à des expériences récentes. Par contre, les émissions des fours oxy-combustible sont systématiquement en deçà des normes. Les verres borosilicate ou TV s'écartent légèrement du fait des caractéristiques de fonctionnement de ce type de four.

Les nouveaux brûleurs ALGLASS FC (figure 4) développés par Air Liquide apportent des gains supplémentaires. En effet, la forme de flamme plus étendue améliore le transfert thermique vers le bain de verre et présente une sensibilité plus faible à la présence d'azote dans la zone de combustion.

En conclusion, alors que les mesures primaires sur la base d'aéro-combustion parfois délicate de mise en œuvre permettent d'atteindre les performances des fours oxygène de 1ère génération, la technologie oxy-combustible, simple de mise en œuvre et flexible permet de satisfaire les contraintes environnementales les plus fortes.

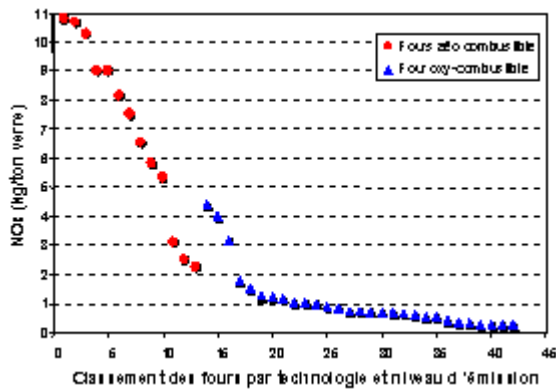


Figure 3 : Emission NOX des fours de verre



Figure 4 : Brûleur ALGLASS FC

3. Outil de contrôle avancée

Incluse dans l'offre Air Liquide pour l'industrie verrière, OS-ALGLASS est une prestation d'engineering pour l'optimisation technico-économique du fonctionnement des fours à verre. OS-ALGLASS consiste à mettre en œuvre par étapes successives un système de contrôle prédictif. La capacité de ce système à poursuivre, simultanément, des objectifs économiques et techniques multiples fournit aux verriers une solution économique pour augmenter la productivité et la durée de vie des fours ainsi que pour améliorer leur flexibilité tout en respectant les normes environnementales. Supporté par les brevets et références de deux partenaires industriels Air Liquide et IPCOS Technology B.V, OS-ALGLASS est commercialisé dans le monde entier pour tout type de four à verre.

Les verriers ont un certain nombre de besoins tels que : améliorer la qualité, améliorer la

productivité, réduire les coûts opératoires, respecter les normes environnementales à moindre coût, ne pas dégrader les réfractaires, réduire l'intervention humaine pour la conduite des procédés, augmenter la sécurité, ... Chaque verrier selon le type de verre produit, selon les spécificités de la compagnie, etc, a ses propres priorités par rapport à ces besoins (liste ci-dessus non exhaustive). OS-ALGLASS calcule le meilleur scénario de contrôle du procédé pour atteindre ces objectifs selon les priorités définies par le client et selon les contraintes du procédé et de son environnement.

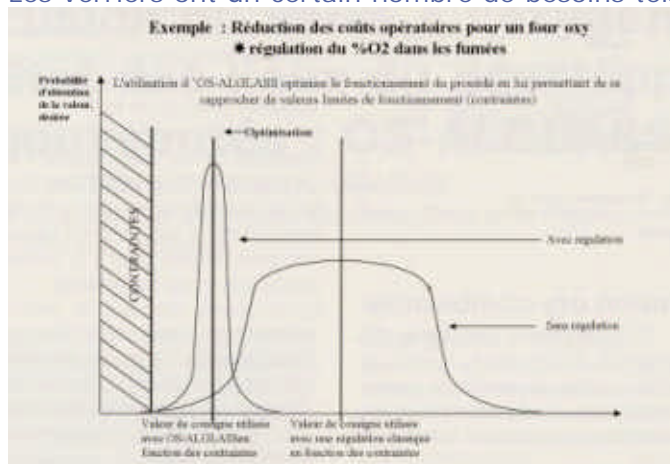


Figure 5 : La commande avancée

Qu'entend-on par « meilleur scénario » ou « optimisation » ? Il s'agit de permettre au procédé de se rapprocher des valeurs limites de fonctionnement (contraintes) en diminuant l'écart-type entre la mesure et la consigne des variables contrôlées. La figure 5 illustre ce principe en donnant un exemple précis d'objectif à atteindre pour un four oxy : OS-ALGLASS permet de compenser des perturbations tels qu'un changement de tirée ou une dérive de tapis due à une variation du taux de calcin ou à une variation du taux d'humidité, etc. Les écarts entre consigne et mesure des variables à contrôler sont diminués grâce à OS-ALGLASS par rapport à une régulation classique. Les temps de retour à un fonctionnement nominal sont également divisés par 2 voire 3. La figure 6 illustre ces résultats pour un verre technique.

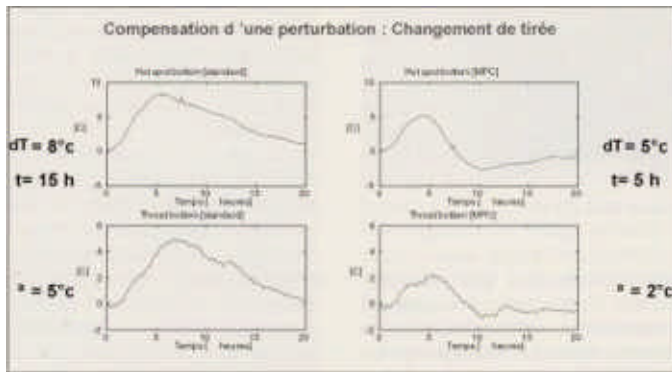


Figure 6 : Performance du contrôle avancé

- plus de sécurité dans le fonctionnement du procédé (génération d'alarme sur dérive de mesure par exemple)
- reproductibilité du fonctionnement du four.

OS-ALGLASS se déroule étape par étape. Chaque étape a ses spécifications et des résultats / bénéfices attendus. L'étape n+1 n'est commencée que si l'étape n a été validée. Les principales étapes du projet sont :

- faisabilité économique du projet ;
- audit technique du procédé après lancement du projet afin de quantifier les objectifs et de disposer d'un premier modèle dynamique du procédé ;
- modélisation dynamique précise du procédé ;
- conception du logiciel de contrôle ;
- installation / démarrage du contrôleur sur le site ;
- support éventuel pour le maintien en opération du contrôleur.

Cette prestation se concrétise par le paramétrage et l'installation d'un logiciel de contrôle dynamique des procédés (fusion, feeder). Concrètement, ce logiciel s'installe sur un PC sous Windows NT. Ce PC s'adapte à l'architecture de contrôle-commande existante chez le client (ex : connexion au réseau d'automates). L'interface Homme Machine de ce logiciel est adaptée aux standards clients dans ce domaine. Elle permet de visualiser les valeurs des variables utiles à OS-ALGLASS en temps réel, leurs tendances. A tout moment, via l'interface Homme Machine, l'opérateur peut revenir à la régulation existante (très souvent PID) avant OS-ALGLASS.

Les clients verriers bénéficient, avec OS-ALGLASS, simultanément des compétences des 2 partenaires dans différents domaines : Air Liquide pour la fourniture de gaz industriels, de technologies et de services en oxy combustion et IPCOS Technology, experts dans les domaines de la fusion du verre et du contrôle prédictif de procédé multi variable.

Le prix et la durée sont estimés sur devis. Ils dépendent de la complexité de l'installation à contrôler. Cependant, la durée moyenne d'un projet complet est comprise entre 6 mois et un an. La structure du coût d'un tel projet se décompose en un coût fixe (logiciel + ingénierie dans les bureaux Air Liquide) et en un coût représentant un nombre d'heure d'ingénierie sur site.

Enfin, le temps de retour d'investissement moyen sur l'ensemble des projets déjà réalisés est d'un an.

4. Conclusion

La technologie de fusion du verre à l'oxygène est bien référencée dans la plupart des segments de l'industrie du verre. Elle s'est imposée dans les zones où les contraintes environnementales sont fortes comme la solution la plus économique. Les bénéfices sur la qualité et la productivité sont encore mal valorisés. Les verriers disposent au travers de l'offre Air Liquide, au delà de la fourniture de gaz, d'une palette d'outil performant tel que la gamme de brûleur ALGLASS, les systèmes de contrôle de combustion Flamoxal et OS-ALGLASS. Les équipes de chercheurs d'Air Liquide continuent à développer de nouvelles technologies afin d'élargir le domaine d'application notamment dans le secteur du verre plat. On peut donc dire qu'après 10 ans de développement intense la technologie de fusion à l'oxygène offre encore un potentiel de progrès important.

Références

[1]. BODELIN P., SAMANIEGO J.M., SIMON J.F., PHILIPPE L. and ZUCHELLI P., Oxy glass melting : Recent developments of a Competitive Technology , - XV A.T.I.V. Conference « Glass Industry towards 2000 »

[2] SHAMP D., SMITH J., JOSHI M., BORDERS H., CHARON O., GROSMANN R., Improving Oxy-Fuel Furnace Operating Efficiency : An Operator's Perspective, *59th Conference on Glass Problem, Columbus, Oct. 1998.*

[3] BRULLIN J.L., DELACROIX F., LAFFONT P., TACKELS G., Un float réduit ses rejets d'oxydes d'azotes (NOx) à un niveau proche de 500 mg/Nm³ ou 1 kg/t de verre par mesures primaires , *Verre*, 4(1998), 3, p. 6-11.

Source : **Revue VERRE** – Vol 6, n°4. Septembre 2000
© Institut du Verre – <http://www.institutduverre.fr>