



**LIFE Eco-HeatOx**  
**Layman's report**  
**Juillet 2013 – Décembre 2016**

*Avec la contribution de l'instrument financier pour l'environnement LIFE de la Commission Européenne*

Contact: Muammer Akviran ([makviran@sisecam.com](mailto:makviran@sisecam.com))

Site web du projet: [www.ecoheatox.com](http://www.ecoheatox.com)

**Remerciements:**

Ce rapport fut produit sous le co-financement de l'instrument financier Européen pour l'environnement (LIFE+), durant l'implémentation du projet *Démonstration & validation d'une solution intégrée de récupération d'énergie en vue de diminuer l'impact environnemental des usines de verre « Eco-HeatOx »* (LIFE12 ENV/BG/000756). L'équipe d'Eco-HeatOx souhaite adresser ses remerciements à l'instrument financier Européen pour l'environnement (LIFE+) pour le support financier.



## Contents

|   |    |
|---|----|
| Résumé Opérationnel .....   | 3  |
| 1. Introduction .....   | 4  |
| Challenges environnementaux .....                                 | 4  |
| Le projet LIFE Eco-HeatOx : Objectifs et résultats attendus ..... | 5  |
| Partenaires du projet .....                                       | 6  |
| 2. La technologie innovante proposée par LIFE Eco-HeatOx .....    | 7  |
| 3. Principales activités du projet et accomplissements .....      | 9  |
| 4. Bénéfices à long terme du projet et prochaines étapes .....    | 14 |
| Bénéfices environnementaux .....                                  | 14 |
| Bénéfices socio-économiques.....                                  | 15 |
| 5. Prochaines étapes : répliquabilité et transférabilité .....    | 16 |



## Résumé Opérationnel

Le projet LIFE Eco-HeatOx, cofinancé par le programme Européen LIFE+, fut lancé en Juillet 2013 par Pasabahce Bulgaria EAD (ex Trakya Glass Bulgaria EAD) (BU) et Air Liquide S.A. (FR). L'objectif du projet Eco-HeatOx était de mettre en place une combustion à l'oxy-carburant dans des fours verriers de taille intermédiaire, ce qui permettrait de diminuer significativement l'impact environnemental des processus de fonte du verre. Le projet a couvert les activités d'ingénierie, de construction, de démonstration et de validation de cette technologie. L'objectif était de démontrer la maturité et le plein potentiel de la technologie de combustion à oxy-carburant pour les fours verriers moyens.

Dans le premier chapitre de ce rapport d'étonnement, on décrit les défis environnementaux relevés par le projet LIFE Eco-HeatOx ainsi que ses objectifs principaux, et les partenaires du projet. Dans un second temps, la technologie innovante qui est proposée sera décrite. Dans le troisième chapitre, les activités du projet et les principales réussites sont résumées. Dans un quatrième chapitre, on détaillera les bénéfices liés au projet. Enfin, au sein d'un dernier chapitre, nous étudierons les bénéfices à long terme du projet, ainsi que la transférabilité et la répliquabilité de ses résultats.



## 1. Introduction

### Challenges environnementaux

Peu après leur diminution en 2009, les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont remontées en 2010, suivant la crise financière, jusqu'à un niveau record de 30.6 gigatonnes, et une augmentation de 5% par rapport au précédent record atteint en 2008, lorsque les niveaux s'étaient stabilisés à 29.3 gigatonnes. En 2001, les émissions globales liées aux énergies fossiles ont encore atteint un nouveau record, augmentant d'une gigatonne supplémentaire, pour arriver à un total de 31.6 gigatonnes. Selon les dernières estimations de l'Agence internationale de l'énergie, les émissions dans les secteurs de l'énergie, l'industrie et les transports ont été les plus fortes de l'histoire.

La production de verre de vaisselle requiert une grande quantité d'énergie, et produit beaucoup de GES. La combustion à oxy-combustible, comme la récupération de chaleur des déchets, a déjà permis de réduire l'impact environnemental causé par les grands fours verriers. Dans l'optique de faire bénéficier les fours verriers de taille intermédiaire de cette technologie, un nouveau concept devait être développé. Après plusieurs implémentations couronnées de succès, le processus a pu être adapté à d'autres productions qui utilisent des fours similaires partout en Europe.

La récente augmentation des concentrations de GES dans l'atmosphère est principalement due à l'activité humaine, et est très probablement responsable du phénomène de réchauffement climatique observé durant les dernières années. Cet effet de serre « anthropogénique » est principalement causé par les émissions de CO<sub>2</sub> : plus de 50% des émissions de GES anthropogéniques sont des gaz carbonés, contribuant pour 75% à cet effet de serre. Cette valeur augmente à 90% si l'on prend en compte les émissions industrielles ; les industries ont donc intérêt à réduire de manière prioritaire les émissions de CO<sub>2</sub>. Les processus industriels représentent l'un des secteurs les plus critiques dans la responsabilité des émissions de CO<sub>2</sub>, et comptent pour 7% des émissions Européennes.

De plus, les processus de transformation des produits minéraux, tels que le verre, la chaux et le ciment, sont responsables de 50% de ces émissions de fours industriels. Pour exemple, ils contribuent ensemble à plus de CO<sub>2</sub> que les industries de production de métal et les industries chimiques.

Le projet LIFE Eco-HeatOx a tenté de résoudre ce problème, avec pour objectif la réduction des émissions de GES par les petits et moyens fours verriers, les résultats pouvant être appliqués à des processus similaires.

## Le projet LIFE Eco-HeatOx : Objectifs et résultats attendus

Le projet LIFE Eco-HeatOx va plus loin que les traditionnelles combustions à oxy-combustibles (ColdOx), car il permet de recouvrer une partie de l'énergie des gaz, qui serait normalement perdue, en préchauffant du gaz naturel et de l'oxygène à 450°C. Cette récupération d'énergie réduit la consommation de gaz naturel et par conséquent les émissions de GES, de manière plus importante que ce qui est normalement attendu avec ce type de procédé de combustion.

LIFE Eco-HeatOx a voulu implémenter une oxy-combustion à chaud comme technologie innovante. Cette technologie pourrait diminuer sensiblement l'impact environnemental des processus de fusion du verre, et est reconnue comme l'une des technologies les plus efficaces dans l'industrie du verre en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, notamment grâce aux économies de combustibles, tout en maintenant les émissions de NO<sub>x</sub> et de poussières assez bas comparativement à la combustion dans l'air.

L'objectif du projet était tout d'abord de valider la faisabilité technique au travers d'un démonstrateur industriel, et ensuite de disséminer largement les avantages environnementaux pour les petits et moyens fours.

A la suite des activités de recherche qui ont démontré la méthodologie basique du concept proposé, le projet a validé la technologie grâce à un démonstrateur à échelle industrielle sur un four produisant du verre à vaisselle. Les émissions de polluants devaient diminuer comme suit (en prenant en compte le vieillissement du four) :

- Les émissions de **CO<sub>2</sub>** réduites de 23%, et provenant des sources suivantes :
  - Pour ColdOx comparé à une combustion dans l'air, le CO<sub>2</sub> réduit de 294 kg/tg à 248 kg/tg, ce qui représente 3694 t de CO<sub>2</sub> économisées par an pour un four 220 tpj.
  - Pour Eco-HeatOx comparé à une combustion ColdOx, le CO<sub>2</sub> réduit de 248 kg/tg à 225 kg/tg, ce qui représente 1847 t de CO<sub>2</sub> économisées par an pour un four 220 tpj.
- Les émissions de **NO<sub>x</sub>** réduites de 90% grâce à l'utilisation d'oxygène pur à la place de l'air comme oxydant dans le processus de production, ce qui limite la présence d'azote. Les NO<sub>x</sub> sont de sGES indirects et sont aussi responsables des pluies acides. La réduction quantitative de 5.2 kg/tg à 0.52kg/tg permettrait de réduire de 376 t la quantité de NO<sub>x</sub> produite par an sur un four 220 tpj.

Cette quantité d'énergie économisée entraîne également une plus faible dépendance aux fluctuations du prix de l'énergie. La viabilité financière de la technologie ainsi que la consommation moindre d'additifs aident à sa répliquabilité.

## Partenaires du projet

### Bénéficiaire coordinateur - Pasabahce Bulgaria EAD (ex-Trakya Glass Bulgaria EAD)

Pasabahce fait partie du groupe industriel Sisecam, qui a pour activité principale la production de verre et de produits chimiques. Le groupe est en position de leader dans les activités du verre, comme le verre flottant, le verre domestique (vaisselle), les contenants en verre et les fibres de verre. Sisecam est le seul producteur de verre au monde à opérer dans tous les segments mentionnés précédemment.



L'usine de Pasabahce Bulgaria: site de démonstration de LIFE Eco-HeatOx

### Bénéficiaire associé – Air Liquide S.A.

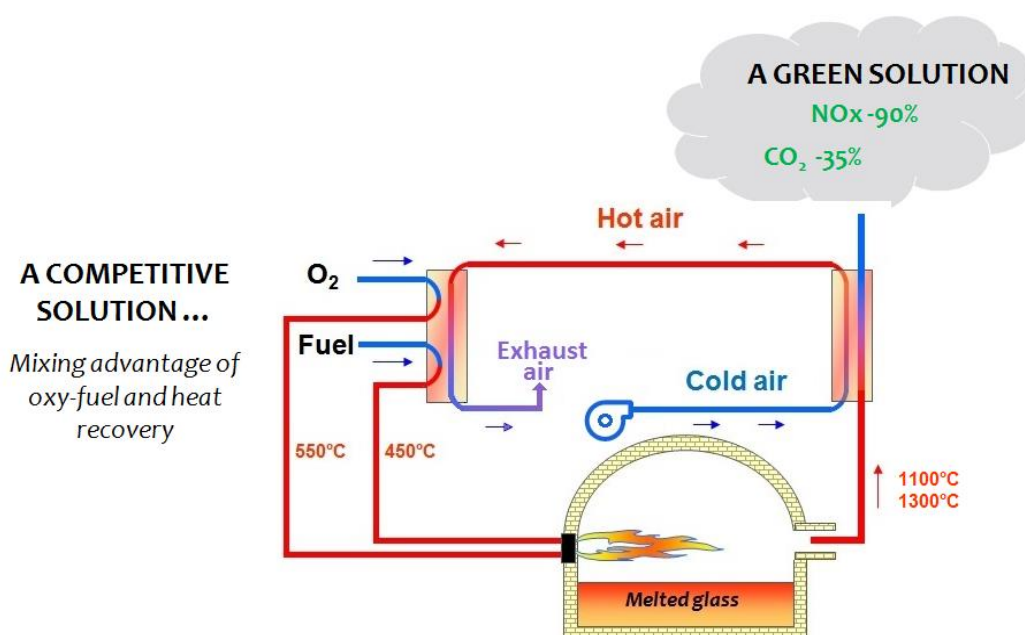
Air Liquide S.A. est une multinationale Française qui fournit du gaz industriel et des services à de nombreuses industries. Il s'agit du premier fournisseur mondial de gaz industriels en termes de revenus, et il opère dans plus de 80 pays. Avec plus de 50 000 employés à travers le monde, l'entreprise a apporté au projet LIFE Eco-HeatOx son expertise industrielle et manufacturière.

## 2. La technologie innovante proposée par LIFE Eco-HeatOx

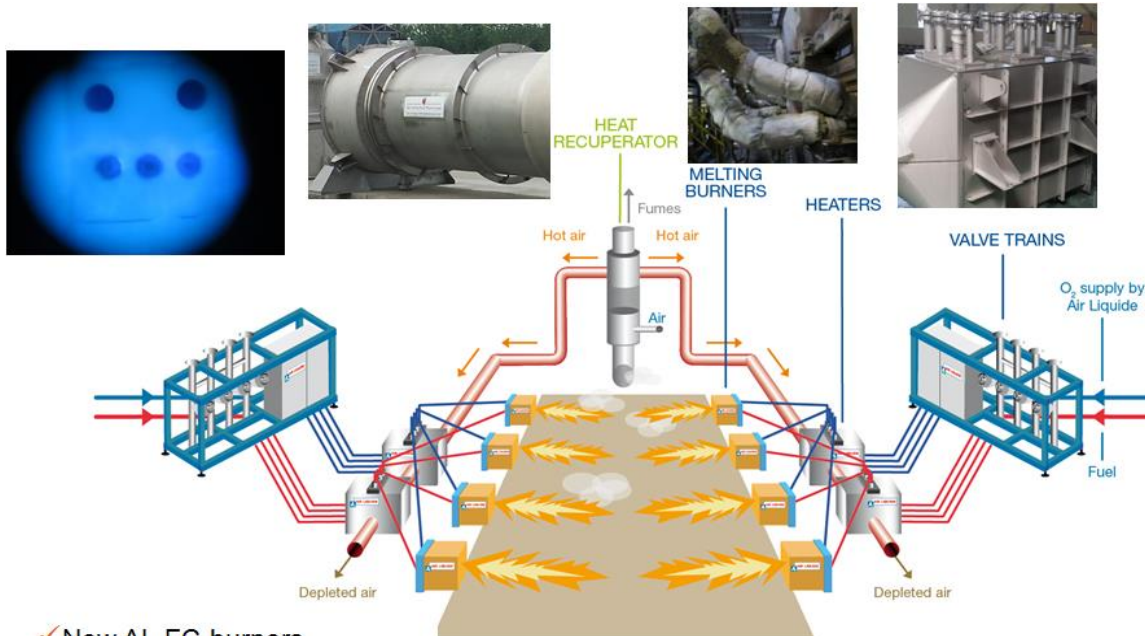
Le CO<sub>2</sub> est le principal GES émis durant la production de verre. Les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent essentiellement de la combustion du gaz naturel ou d'autres formes d'hydrocarbures, et de la décomposition de matières premières durant le processus de fusion du verre.

Usuellement, l'air est utilisé dans les fours verriers comme source d'oxygène. La combustion à oxy-combustible utilise l'oxygène comme oxydant sans azote afin que le gaz ait un volume moindre que celui de la combustion dans l'air, résultant en une meilleure efficacité. C'est une technologie qui a prouvé son efficacité dans la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et oxydes d'azote (NOx), qui sont nocives et pour l'homme et pour l'environnement.

Au cours des dernières années, Air Liquide a développé la technologie à combustion à oxy-combustible Eco-Heat (Eco-HeatOx). Eco-HeatOx est une technologie innovante qui rend la combustion oxy-combustible plus attractive que la combustion oxy-combustible traditionnelle, en préchauffant de l'oxygène pur et du gaz naturel à l'aide d'un fluide de transfert thermique intermédiaire (air) chauffé par l'énergie récupérée des gaz de conduits. La combustion traditionnelle se fait avec de l'O<sub>2</sub> et du gaz naturel à température ambiante (ColdOx). HeatOx, avec son oxygène à 550°C et son gaz naturel à 450°C, réduit la consommation en O<sub>2</sub> et GN de 10% comparativement à ColdOx, et même de 40% comparativement à une combustion dans l'air avec des fours récupérateurs. Cela signifie que la réduction de CO<sub>2</sub> est aussi attendue à 40%. De plus, grâce à l'absence d'azote, la réduction de NOx (NO et NO<sub>2</sub>) est attendue à hauteur de 90%.



La technologie brevetée par Air Liquide **HeatOx** entend couvrir un large éventail de fours verriers, des contenants/vaisselle aux verres techniques.



- ✓ New AL FC burners
- ✓ New AL O2 & NG Heaters

Cette technologie innovante se compose de 5 blocs technologiques :

1. **Echangeur de chaleur primaire (récupérateur)** : il permet de chauffer l'air jusqu'à 700°C à l'aide de l'énergie disponible dans les émanations sortant des fours verriers. Cet équipement devrait être entièrement intégré aux conduits d'échappement des fours.
2. **Echangeur de chaleur secondaire propriétaire** : il permet le préchauffage de l'oxygène à 550°C et du gaz naturel à 450°C grâce à l'air chaud provenant de l'échangeur primaire.
3. **Brûleurs HeatOx NEXELIA propriétaires** : spécialement développés pour manipuler l'oxygène chaud ou froid et le gaz naturel.
4. **Trains de valve et équipements associés**: capable de contrôler et de mesurer les flux d'oxygène et de gaz naturel de chaque brûleur installé sur le four.
5. **Préchauffeur d'air** : (non montré sur le schéma ci-dessus) il permet de préchauffer l'air ambiant en récupérant l'énergie toujours disponible dans l'air expulsé de l'échangeur secondaire après avoir préchauffé l'oxygène et le gaz naturel, et par là réduit la taille de l'échangeur primaire.

L'utilisation d'un préchauffeur d'air permet d'accroître la température de la paroi de l'échangeur de chaleur, aidant alors à maintenir les émanations à une température élevée, et empêchant la condensation d'espèces corrosives venant du verre (ou d'un autre produit corrosif). L'utilisation de ce préchauffeur d'air permet également de prolonger la durée de vie des échangeurs de chaleur primaires.

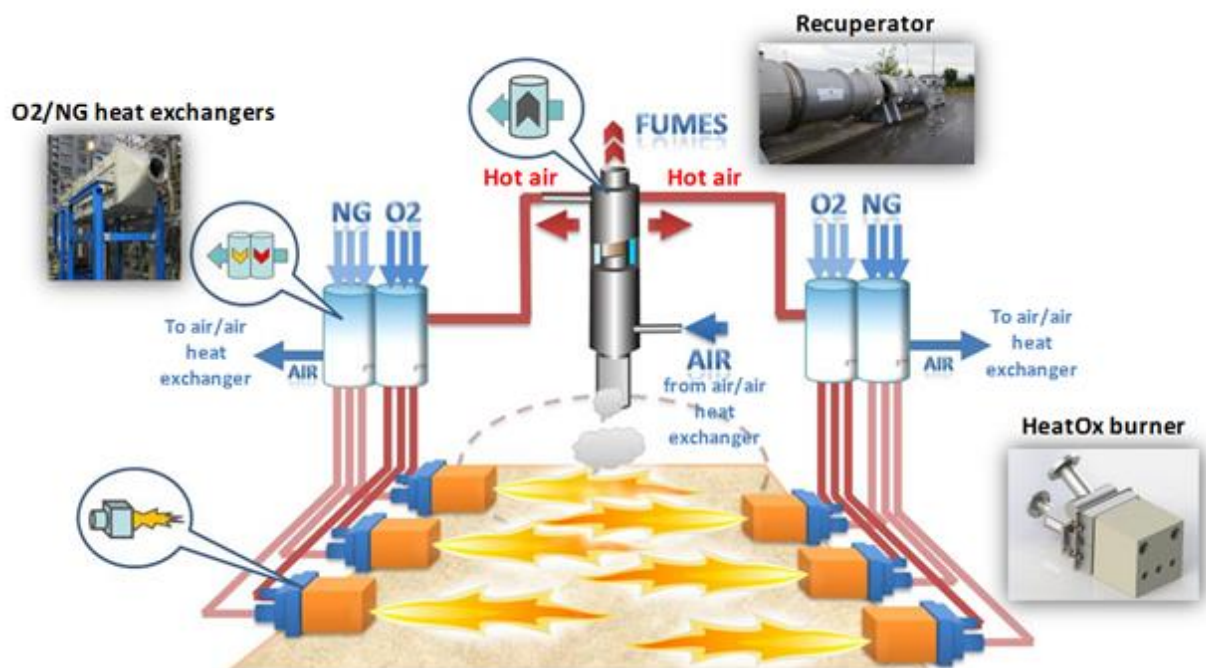


### 3. Principales activités du projet et accomplissements

#### Installation du système HeatOx

Le principal challenge dans l'installation du système HeatOx était que le four n'était pas conçu à l'origine pour intégrer le système HeatOx. Ainsi, la plupart des modifications apportées au four ont dû être faites alors que le four était actif, ce qui ne représente pas une tâche triviale.

Les ouvertures des canaux de gaz ont été conçues pour accueillir un récupérateur à deux phases (échangeur de chaleur primaire) dans chaque canal des fumées. Lorsqu'un canal de fumée a été modifié, tous les gaz sont circulés dans l'autre pour ne pas avoir une incidence sur la production de verre. La pression du four a été soigneusement surveillée pendant cette étape pour éviter un dépassement de pression.



Les échangeurs thermiques de gaz naturel et d'oxygène étaient positionnés de telle sorte pour minimiser la complexité de la tuyauterie. La diffusion thermique fut correctement considérée dans la conception et monitorée durant le lancement de HeatOx.

L'installation du brûleur HeatOx a requis des efforts significatifs, car un bloc de brûleur requiert une attention particulière lorsqu'il est installé sur un four en activité. Les brûleurs HeatOx furent installés l'un après l'autre, et l'ensemble des huit brûleurs mit 3 mois à être installé.

Le nouveau processus et les nouvelles procédures de sécurité furent programmés par rapport à la pression alimentant le brûleur (PLC). Durant la commande, toutes les procédures de sécurité furent testées sévèrement, ce qui fait que ces procédures étaient confirmées lors de l'activation physique.

### Résolution de problèmes

Suite à l'activation, nous sommes intervenus pour dépanner plusieurs problèmes, dont les principaux :

Isolation des conduites de gaz : Dès que l'on a remarqué que la température des conduites de gaz était plus faible que prévu, l'isolation du système de conduites de gaz fut revue et corrigée. Cette isolation a permis d'atteindre la bonne température dans les récupérateurs et de minimiser les arrivées d'air dans les conduites de gaz.

Fuites d'air chaud : des fuites d'air chaud furent minimisées dans les conduites et l'isolation thermique améliorée.

Etuve de dérivation : son rôle était critique, car il permettait au gaz de s'écouler au travers des récupérateurs. Durant la campagne de tests initiale, comme l'étuve perdait son intégrité mécanique, la performance globale en fut affectée. Ainsi, de nouveaux designs d'étuve furent mis à l'essai afin de minimiser les fuites de gaz dans le dérivateur, et ceux-ci étaient bien robustes.

Encrassement des conduits d'interconnexions de gaz : nous avons découvert assez tôt que durant le fonctionnement, les conduites de gaz s'encrassaient au niveau des connexions avec les récupérateurs. Ceci causait une forte chute de pression et donc un chargement du ventilateur en aval indésirable. La mesure de la pression différentielle fut effectuée par endoscopie afin de voir l'encrassement. Les analyses en laboratoire des échantillons du dépôt ont montré une condensation de sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). La cause envisagée est double : i) un flux aérodynamique non favorable de gaz dû des limites structurelles, ii) des effets de transition, comme une faible vitesse ou une faible température dans les conduites durant les premiers temps de fonctionnement, qui sont connus pour favoriser la condensation et l'agglomération. Pour résoudre ces problèmes, des conceptions différentes ont été intégrées dans les conduites de gaz, qui permettent un nettoyage sans devoir interrompre les opérations, et avec un impact minimal sur les performances de HeatOx.

Dépôts de suie au bout des brûleurs : Deux brûleurs HeatOx sur huit installés présentaient des dépôts de suie à leur extrémité. Ainsi, AL a fourni de nouveaux designs à Pasabahce pour résoudre le problème.

Comme indiqué précédemment, le principal défi relevé durant l'installation du système HeatOx était que le four n'était pas initialement prévu pour recevoir le système HeatOx. Néanmoins, les problèmes ci-dessus ont été résolus grâce à un travail intense de l'équipe et à un engagement fort face à des conditions rudes durant les périodes de dépannage.



### Statut actuel

Les procédures logiques et sécuritaires sont robustes et rendent le système aisé d'utilisation. Cependant, la performance de récupération de chaleur est légèrement plus faible que prévu, due à une température O<sub>2</sub>/GN plus faible, résultant d'un air plus frais. Cette température d'air plus basse était spécifique à une configuration, dans laquelle les récupérateurs furent conçus pour supporter les contraintes structurelles. Etant donnée cette température de O<sub>2</sub>/GN, HeatOx fonctionne comme prévu, c'est à dire, économise environ 1% tous les 100°C supplémentaires des réactifs.

### Activités de dissémination

Afin d'attirer l'attention du public et des industriels, plusieurs activités de dissémination ont été menées. Des panneaux d'affichage, aussi bien en centre-ville que sur site, ont été installés pour accroître la visibilité (public et employés) du projet.



En complément, plusieurs conférences et salons en interne/externe ont été tenus.

### Conférences :

04/11/2013: GRT Gaz (Sèvres, France)

20/09/2014: AFRC (Houston, US)

22/09/2014: ATIV-ESG Conférence (Parma, Italie)

01/10/2014: 6ème Conférence sur le Verre des Balkans (Nessebar, Bulgarie)

15/05/2015: ICG Conférence (Bilbao, Espagne)

04/11/2015: 76th Glass Problems Conference (Columbus, US)

11/04/2016: ICG (Chine)

07/06/2016: DGG (Goslar, Allemagne)

21/10/2016: ATIV 2016 (Parma, Italie)

08/11/2016: 77th Glass Problems Conference (Columbus, US)

08/06/2017: Society of Glass Technology Furnace Solutions 12, (Stoke-on-Trent, UK)



Le « Michael Garvey Award » - pour la meilleure présentation du jour à la conférence « Furnace Solutions », est remis au Dr. Tunç Görüney de Şişecam. Cette récompense est remise en mémoire de Michael Garvey (un conférencier, tristement décédé après avoir présenté ses travaux en 2008). L'évènement est sponsorisé par Guardian Industries, employeur de Mr. Garvey. Le prix est une pièce artistique en verre spécialement conçue pour l'occasion.

Cela a également été publié au sein du Magazine International du Verre le 13 Juin 2017 en première, et est accessible depuis les liens suivants :

<http://www.glass-international.com/news/view/sisecams-tunc-goruney-wins-furnace-solutions-award>

<https://mxm.mxmf.com/rsps/m/YZwMFzd62hnhmtpHuuz2Q-y7DXbi2eRLIKjrZN7Jytc>

#### Rencontres avec les parties prenantes :

18/11/2014: IFRF French section (Albi, France)

06/02/2015: Glass conference in Ceramic society of Japan (Tokyo, Japon)

04/09/2015: TC09 Meeting (Bilbao, Espagne)

#### Salons :

08/05/2015: Glassman Lyon (France)

11/04/2016: 27th China International Glass

#### Promotions internes :

07/11/2014 Présentation au 29<sup>ème</sup> symposium du Verre à Şişecam (İstanbul)

2014/2015 Présentation aux visiteurs (10 visites) (France)

21/10/2016 Présentation au 31<sup>ème</sup> symposium du Verre à Şişecam (İstanbul)

Visites sur site (Şişecam, AL Bulgarie)

Meeting en Avril 2017 avec une autre branche de Sisecam

12/05/2017 Internal Award and Recognition (Stars Parade, meilleur projet de l'entreprise)



### Autres activités de dissémination

Visite du management d'AL Europe de l'Est en 2015

Visite du système HeatOx en Avril 2017 de Asahi Glass Company  
Visite de l'équipe Japonaise d'AL en Avril 2017



Sur invitation du Ministre Bulgare de l'environnement et des Eaux au 'EU-nited for a better LIFE International Networking Event', une présentation a été faite pour partager les best practices du projet LIFE Eco-HeatOx. L'évènement a également permis de créer un réseau avec deux autres projets LIFE et des acteurs politiques nationaux.



## 4. Bénéfices à long terme du projet et prochaines étapes

### Bénéfices environnementaux

Le tableau 1 montre les accomplissements globaux en termes d'impact environnemental. Eco-HeatOx fut capable de réduire d'environ 8% les rejets de CO<sub>2</sub> de combustion, pour un objectif de 9.27%. La température de préchauffage de O<sub>2</sub>/GN plus faible (400°C ou en dessous), fut la principale raison de cette performance plus basse que prévu, mais l'estimation initiale de 1% d'économies tous les 100% supplémentaires des réactifs a été atteint. Ainsi, nous devrions être capables d'atteindre l'objectif de 9.27%, en atteignant 450°C pour l'O<sub>2</sub> et 450°C pour le GN.

La combustion ColdOx n'a pas dépassé la combustion dans l'air dans la mesure de ce qui était promis (efficacité énergétique de 8% atteint VS 10% prévu). Considérant le vieillissement du four, l'efficacité énergétique du dernier four est améliorée de 19% grâce à HeatOx et la réduction globale de CO<sub>2</sub> est estimée à 10% par rapport à la combustion dans l'air, ce qui est moins bon que l'objectif de 11.7%.

Ce résultat, cependant, n'est pas spécifique à la technologie HeatOx, mais aux conditions en usine. Nous pensons fortement qu'un objectif de HeatOx peut être atteint grâce aux acquis du projet Eco-HeatOx appliqués au nouveau design du four.

| SAVINGS  | OBJECTIVES         |                       | RESULTS           |                       |
|--|--------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
|  | Eco HeatOx vs Air. | Eco HeatOx vs ColdOxy | Eco HeatOx vs Air | Eco HeatOx vs ColdOxy |
| Energy Consumption (GJ/ton)  | 22,64%             | 8,89%                 | 19%               | 8%                    |
| O <sub>2</sub> Consumption (Nm <sup>3</sup> /h)                                | -                  | 9,00%                 | -                 | 8%                    |
| Dust (kg/ton)  | 61,54%             | -                     | ?                 | -                     |
| NOx (kg/ton)   | 90,00%             | -                     | 90%               | -                     |
| CO <sub>2</sub> from Combustion (kg/ton)                                       | 23,47%             | 9,27%                 | 19%               | 8%                    |
| CO <sub>2</sub> from raw materials (kg/ton)                                    | -                  | -                     | -                 | -                     |
| Total CO <sub>2</sub> (comb+raw mat.) (kg/ton)                                 | 15,44%             | 5,74%                 | 14%               | 5%                    |
| CO <sub>2</sub> production from O <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /ton glass) | -                  | 7,50%                 | -                 | 8%                    |
| Total CO <sub>2</sub> Process (kg/ton)   | 11,71%             | 5,81%                 | 10%               | 5%                    |

Tableau 1. Résultats environnementaux généraux, objectifs avec 450°C O<sub>2</sub> et GN et Résultats avec 400°C ou moins pour l'O<sub>2</sub> et GN

Des informations détaillées sur les émissions de NOx apparaissent Tableau 2 et 3. Les émissions de NOx ont été mesurées pour différentes capacités, et les niveaux de NOx ont été corrélés à un niveau référence de 8% (oxygène). Comparativement à une combustion dans l'air, les émissions de NOx de ColdOx étaient toujours plus basses de 83-93%. Aussi, les émissions de NOx de HeatOx ont été mesurées et sont 86-91% plus faibles, ce qui est aussi bien que ColdOx malgré une température plus

élevée des réactifs. Ces résultats valident la cible d'HeatOx de 90% de réduction des émissions de NOx comparé à l'état de l'art, la combustion dans l'air.

| Mode                  | ColdOx-B | ColdOx-B | ColdOx-B | ColdOx-B | Air-fuel Comb |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| NOx as NO2 (kg/T)     | 0,424    | 0,459    | 0,410    | 0,181    | 2,677         |
| Glass Pull Rate (TPD) | 202      | 196      | 182      | 192      | 215           |

Tableau 2: mesures de NOx **ColdOx vs Combustion dans l'air**

| Mode                  | HeatOx-B | HeatOx-B | HeatOx-B | HeatOx-B | Air-fuel Comb |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| NOx as NO2 (kg/T)     | 0,238    | 0,280    | 0,364    | 0,374    | 2,677         |
| Glass Pull Rate (tpd) | 200      | 198      | 204      | 208      | 215           |

Tableau 3: mesures de NOx **HeatOx vs combustion dans l'air**

### Bénéfices socio-économiques

Air Liquide a employé 5 collaborateurs à plein temps pour le déploiement mondial de HeatOx et 2.5 FTE de sous-traitance sont attendus pour chaque nouveau projet, comme nécessaire durant l'implémentation de ce pilote. Ce nombre n'inclut pas l'emploi indirect pour le développement de la technologie et l'assistance nécessaire, l'emploi véritable devrait être donc plus important. Jusqu'ici 8 employés Air Liquide et 18 Pasabahce ont été formés, et 3 d'entre eux avaient des fonctions managériales.

Le projet a permis une plus grande visibilité de l'entreprise Pasabahce Bulgaria aux yeux du public en tant qu'entreprise verte. Pasabahce a travaillé avec les politiques pour mettre en lumière l'importance d'attirer l'attention du public sur les questions des technologies de production respectueuses de l'environnement (conformité BREF BAT), et a travaillé avec eux (Ministère Bulgare de l'Environnement et de l'Eau) à définir les meilleurs moyens de communication avec le public. Le comité d'informations Eco-HeatOx, à Targovishte, a été appointé avec l'approbation du Maire.



Ces bénéfices socio-économiques ne peuvent être diffusés que par la prolifération des solutions. Cependant, le prix actuel historiquement bas du GN rend la situation moins favorable pour la technologie. Les intentions sont d'améliorer encore plus la performance et la viabilité économique de la technologie.

## 5. Prochaines étapes : répliquabilité et transférabilité

En termes de répliquabilité, il est estimé qu'environ **628 fours** sont en activité en Europe, pour une production de 43 Millions de tonnes de tous types de verres chaque année. Une majorité, 490 unités, sont des fours régénératifs ou récupérateurs, qui fondent le verre par combustion dans l'air à l'aide de combustibles fossiles liquides ou gazeux.

| Type of glass                                    | Total Number of glass furnaces EU-27 estimated |
|--|--|
| <b>Domestic glass (tableware)</b>                | <b>300</b> (60 above 20 tonnes/day)            |
| <b>Flat glass (float glass) *</b>                | <b>58</b>                                      |
| <b>Container glass*</b>                          | <b>175</b>                                     |
| <b>Technical glass and fiberglass and others</b> | <b>95</b>                                      |
| <b>Total*</b>                                    | <b>628</b>                                     |

Tableau 4: Nombre de fours verriers en Europe

\*Source: Best Available Techniques (BAT)

Reference Document for the Manufacture of Glass Industrial Emissions: EC Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)

Aujourd'hui, environ 35 fours sont en activité avec une oxy-combustion en Europe, pour de la fibre de verre et du verre technique principalement. La capacité de réservoir pour la production de verre domestique (production d'environ 20 tonnes/j), contenant et verre flottant, représente à peu près 82% du tonnage de verre produit. Ceci représente 293 unités pouvant être converties à HeatOx.

Puisque HeatOx peut fonctionner avec tout type de verre et de combustible, la technologie pourrait être adaptée à n'importe quel nouveau four.

Au terme du cycle de vie usuel d'un four (7 à 12 ans), quand la décision d'investir doit être prise pour rénover, HeatOx peut être implémenté. Alors, d'ici 15 ans, à la suite du déploiement de la technologie sur le marché, un certain nombre de fours verriers pourraient être convertis à l'oxy-combustion.

Même avec un prix du gaz naturel très défavorable, il y a plusieurs entreprises de verre qui considèrent la possibilité de HeatOx comme une solution « propre ».

De plus, Sisecam, qui possède de l'expérience dans cette technologie, considère la répliquabilité de la technologie HeatOx pour les fours de verre flottant et de fibre de verre à travers le monde.

Air Liquide est aussi en train d'étudier la possibilité de transférer la technologie HeatOx vers d'autres applications industrielles, comme le ciment et la céramique. Encore une fois, un taux plus faible que prévu de répliquabilité est dû au prix historiquement bas du GN, qui n'a pas vocation à augmenter à court terme, selon différentes prévisions. Dans le but de rendre HeatOx plus attractive, tous les coûts d'équipements sont en cours d'optimisation. De plus, les intentions sont d'améliorer encore plus la performance et la viabilité économique de la technologie.