

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
30 juillet 2009 (30.07.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/092950 A2

(51) Classification internationale des brevets :
C03B 5/235 (2006.01) *F23D 14/32* (2006.01)
F23C 5/08 (2006.01) *F23D 14/84* (2006.01)

(74) Mandataire : DE VLEESCHAUWER, Natalie; 75 quai
d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/050034

(22) Date de dépôt international : 9 janvier 2009 (09.01.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0850134 10 janvier 2008 (10.01.2008) FR

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,
IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,
RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : L'AIR
LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'ÉTUDE
ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS GEORGES
CLAUDE [FR/FR]; 75 quai d'Orsay, F-75007 Paris (FR).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DOC-
QUIER, Nicolas [BE/US]; 1700 Walnut Street Unit
9C, Philadelphia, PA 19103 (US). JOUMANI, Youssef
[FR/FR]; 68 rue René Boulanger, F-75010 Paris (FR).
KALCEVIC, Robert [FR/FR]; Entrée A2, 84 Avenue
de Paris, F-78000 Versailles (FR). LEDERLIN, Thomas
[FR/FR]; 1, rue Rivarès, F-64000 Pau (FR).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport

(54) Title: GLASS FURNACE AND GLASS MAKING METHOD

(54) Titre : FOUR VERRIER ET PROCÉDÉ DE FABRICATION DE VERRE

(57) Abstract: The invention relates to a glass furnace that comprises at least one burner with a directable flame in the downstream
portion of the melting area, and to a method for making glass by the melting of a load in such a furnace.

(57) Abrégé : Four verrier comprenant au moins un brûleur à flamme orientable dans la partie aval de la zone de fusion et procédé
de fabrication de verre par fusion d'une charge dans un tel four.



WO 2009/092950 A2

FOUR VERRIER ET PROCEDE DE FABRICATION DE VERRE

La présente invention concerne un four verrier et un procédé de fabrication de verre par fusion d'une charge de matières premières dans un four verrier.

L'invention concerne plus particulièrement un four verrier et un procédé de fusion d'une charge dans un four verrier dans lequel :

- la charge à fondre est introduite sous forme solide dans la zone d'enfournement située dans la partie amont du four,
- ladite charge sous forme solide est amenée dans la zone de fusion où elle est chauffée et fondue par l'intermédiaire d'au moins un brûleur avec obtention de verre fondu, et
- le verre fondu issu de la zone de fusion est amené vers la zone de prélèvement située dans la partie aval du four où le verre fondu est prélevé du four.

La fusion de verre dans un four est un procédé industriel à températures élevées qui permet de fabriquer du verre à partir d'un mélange de sables (silice) et d'additifs (colorants, fondants, etc.). Ce mélange est fondu dans la zone de fusion grâce à un apport de chaleur, en particulier par le au moins un brûleur, et subit plusieurs réactions chimiques (déshydratation, décarbonatation, libération de sulfates, réaction de composants avec l'atmosphère dans le four, en particulier la volatilisation d'agents alcalins, etc.) qui ont lieu tout au long du processus de fusion et qui dépendent de la température des réactifs.

Les fours verriers nécessitent des investissements conséquents. Ils sont également des très gros consommateurs d'énergie. Pour arriver à un fonctionnement rentable, les verriers cherchent à optimiser l'utilisation des matières premières et le rendement énergétique et à augmenter la durée de vie des fours.

Un des problèmes rencontrés dans les fours verriers est la présence dans les produits finaux (bouteilles, flacons, etc.) de bulles issues des réactions chimiques du mélange initial. Pour éviter la présence de bulles dans le produit final, on ajoute en général des affinants : sulfate, carbone,

nitrate/antimoine, NaCl. Ces affinants génèrent de grosses bulles qui vont se retrouver à la surface libre du verre fondu et non pas dans la masse. Ces grosses bulles forment un tapis de mousse sur la surface libre du verre fondu jouant un rôle d'écran ou isolation thermique entre les flammes du ou des brûleurs et le bain de verre et limite ainsi le rendement énergétique du four.

Un autre problème rencontré dans les fours verriers est la volatilisation de composants volatilisables de la charge et en particulier d'alcalins.

Par exemple, dans un four verrier pour verre silico-sodo-calcique, le Na_2O du verre à l'état vitreux/état fondu réagit en fonction de la température avec la vapeur d'eau et le sodium est volatilisé sous forme de soude (NaOH).

La volatilisation des composants volatilisables dépend :

- du type de verre, c'est-à-dire de la nature et de la teneur en composants volatilisables, tels que Na, K, Pb, B, etc., en particulier les alcalins volatilisables, dans la charge,
- de la température à la surface libre du verre fondu, et
- du type de combustion utilisé pour le chauffage de la charge (vitesse de la flamme, nature de l'oxydant, composition des fumées/gaz dans le four, notamment leur teneur en eau).

Les phénomènes de formation de mousse et de volatilisation ont lieu en grande partie au niveau du point chaud de la surface du verre fondu, c'est-à-dire légèrement en aval de la ligne de batch.

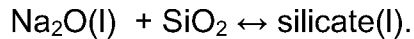
La volatilisation entraîne non seulement une perte de composants, mais peut également conduire à un autre problème : la corrosion des parois du four, en particulier de la voûte du four.

En effet, les composants volatilisés sont emportés par les produits de combustion (fumées), soit vers l'extérieur soit vers les parois du four. Si les composants volatilisés, et en particulier les alcalins volatilisés, atteignent les parois, et notamment la voûte du four, ils peuvent condenser sur les parois/la voûte si sa température est en dessous de la température de condensation du composant volatilisé, tel que le NaOH , et même attaquer, c'est-à-dire corroder la paroi/la voûte du four, ce qui limite la durée de vie du four.

Par exemple, dans un four verrier pour verre sillico-sodo-calciques équipé de briques réfractaires en silice, l'attaque desdites briques résulte du mécanisme suivant :

$2\text{NaOH(g)} \leftrightarrow \text{Na}_2\text{O(l)} + \text{H}_2\text{O(g)}$ (avec (g) = phase gazeuse et (l) = phase liquide)

Le $\text{Na}_2\text{O(l)}$ pénètre dans les briques en silice par diffusion et action capillaire et réagit avec le silice suivant la réaction :



La corrosion des parois du four, en particulier de la voûte du four, dépend notamment :

- de la composition des parois du four : les briques en silice étant particulièrement susceptibles à la corrosion,
- de la température desdites parois,
- de la vitesse d'écoulement des fumées/gaz en contact avec les parois et
- de la composition des fumées/gaz en contact avec les parois (nature et teneur en composants volatilisé).

La présente invention a pour but d'optimiser l'utilisation des matières premières, le rendement énergétique et la durée de vie du four dans des procédés de fusion de verre au vu notamment des problèmes cités ci-dessus.

A cette fin, la présente invention propose un nouveau four verrier et un nouveau procédé pour la fusion d'une charge contenant du silice.

Dans la description ci-après de l'invention, référence est faite aux figures 1a, b et c et 2 :

- les figures 1a, b et c représentent un schéma de principe de la variation de l'orientation de la flamme d'un oxybrûleur au moyen d'actuateurs fluides, et
- la figure 2 l'évolution de la concentration en CO, en fonction de la distance par rapport à l'axe de la flamme d'un oxybrûleur opéré en régime stoechiométrique.

Le four verrier suivant l'invention présente une partie amont et une partie aval. La partie amont est la partie du four dans laquelle, pendant le

procédé de fusion, la charge est au moins partiellement présente sous forme solide. La partie aval est la partie du four dans laquelle, pendant le procédé de fusion, la charge est présente entièrement sous forme de verre fondu.

Le four comprend en particulier:

- une zone d'enfournement pour l'enfournement de la charge sous forme solide, ladite zone d'enfournement étant située dans la partie amont,
- une zone de fusion équipée de brûleurs pour le chauffage et la fusion de la charge avec obtention de verre fondu, ladite zone de fusion étant située partiellement dans la partie amont et partiellement dans la partie aval, et
- une zone de prélèvement pour le prélèvement du four du verre fondu, la zone de prélèvement étant située dans la partie aval.

Suivant l'invention, la zone de fusion du four est équipée dans la partie aval du four d'au moins un, de préférence d'au moins deux brûleurs à flamme orientable, c'est-à-dire d'au moins un et de préférence d'au moins deux brûleurs à flamme d'orientation variable.

Le four comprend en général également une zone d'affinage en aval de la zone de fusion et en amont de la zone de prélèvement. Dans ce cas, le verre fondu issu de la zone de fusion traverse la zone d'affinage où le verre fondu est amené à la température et la viscosité désirées avant d'entrer dans la zone de prélèvement.

Dans le présent contexte, les termes « aval » et « amont » sont utilisés par rapport au trajet suivi par la charge à partir de son enfournement dans le four.

Comme il sera démontré ci-après, la présence d'un ou de plusieurs brûleurs à flamme orientable dans la partie aval de la zone de fusion du four permet d'améliorer le rendement énergétique et/ou la durée de vie du four, sans que les problèmes cités ci-dessus deviennent plus importants.

Le ou les brûleurs à flamme orientable sont de préférence des brûleurs dont l'orientation de la flamme peut être variée dans un plan en substance vertical (flamme à axe/direction horizontal(e), à axe/direction orienté(e) vers le haut ou à axe/direction orienté(e) vers le bas). Dans le présent contexte, on comprend par angle de la flamme, l'angle entre l'axe ou

direction de la flamme et le plan vertical, un angle de flamme de 0° signifiant une flamme dirigée verticalement vers le bas, un angle de flamme de 90° signifiant une flamme horizontale et un angle de flamme de 180° signifiant une flamme dirigée verticalement vers le haut.

De préférence, l'orientation de la flamme du ou des brûleurs à flamme orientable est modifiée ou réglée par des actionneurs non-mécaniques. En effet, l'utilisation d'actionneurs mécaniques, tels que des pivots, est peu durable dans l'environnement hostile d'un four verrier, étant donné que les actionneurs mécaniques y subissent des températures particulièrement élevées, des attaques chimiques et mécaniques et des dépôts de polluants présents dans l'atmosphère du four.

Ainsi, la variation de l'orientation de la flamme est de préférence assurée par interaction fluidique entre plusieurs jets de fluide. Dans ce cas, l'orientation de la flamme est modifiée ou réglée par le biais d'un ou plusieurs jets de fluide(s) secondaires, typiquement des jets de gaz secondaires, appelés actuateurs fluides.

Par exemple, le ou les brûleurs à flamme orientable peuvent comporter :

- un canal pour l'injection d'au moins un jet principal de comburant et/ou de combustible et/ou d'un prémélange de comburant et combustible et
- au moins un injecteur d'un actuateur fluide débouchant dans ledit canal ou à proximité de celui-ci.

Le canal d'injection et l'injecteur sont orientés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que l'actuateur fluide impacte le jet principal et permet ainsi une variation de l'orientation de la flamme par interaction fluidique entre le jet principal et le ou les actuateurs fluides du au moins un injecteur. Le canal d'injection et l'injecteur sont avantageusement orientés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que l'actuateur fluide impacte le jet principal sous un angle α supérieur à 0° et inférieur ou égal à 90° , de préférence de 45° à 90° et plus de préférence de 60° à 90° .

De préférence, le au moins un injecteur d'actuateur fluide débouche dans le canal d'injection du brûleur, c'est-à-dire en amont de l'ouverture de sortie dudit canal.

Les figure 1a, b et c est représentent un schéma de principe de la variation de l'orientation de la flamme d'un brûleur au moyen d'actuateurs fluides.

Comme montré dans les figures 1a et 1c, le jet principal 42 à contrôler issu du canal d'injection 41 vient interagir avec l'actuateur fluide 46 issu de l'injecteur 45 créant ainsi un jet résultant et donc une flamme 48 de direction différente de la direction XX' du jet principal/de la flamme en l'absence d'un actuateur fluide 46 (figure 4b).

Sur les figures 1a et c, l'injecteur 45 véhicule l'actuateur fluide 46 et a la forme d'une canalisation qui traverse la matière 43, par exemple un bloc entourant le canal 41, l'actuateur fluide 46 débouchant par l'intermédiaire de l'injecteur 45, de préférence sensiblement perpendiculairement au jet principal 42 ($\alpha = 90^\circ$). L'actuateur fluide 46 débouche ici à l'intérieur de la matière 43, c'est à dire avant l'éjection du jet principal 42 du canal d'injection 41 par l'ouverture de sortie 49.

Comme illustré dans la figure 1a, un actuateur fluide 46 dirigé vers le haut permet de dévier le jet résultant et donc la flamme 48 vers le haut. Comme illustré dans la figure 1c, un actuateur fluide 46 dirigé vers le bas permet de dévier le jet résultant et donc la flamme 48 vers le bas.

Un actuateur fluide allant de gauche à droite permet de dévier le jet résultant et donc la flamme vers la droite et un jet actuateur fluide allant de droite à gauche permet de dévier le jet résultant et donc la flamme 48 vers la gauche (une orientation vers la gauche étant par exemple une orientation vers la zone d'enfournement et une orientation vers la droite une orientation vers la partie aval, zone de prélèvement).

Il est également possible de dévier le jet principal et donc la flamme selon une direction intermédiaire en combinant deux actuateurs fluides de directions différentes.

Ainsi, la combinaison d'un actuateur fluide vers le haut avec un actuateur allant de droite à gauche permet de dévier le jet résultant et donc la flamme obliquement vers le haut et la gauche.

L'interaction entre les deux jets a lieu à une distance L de la face avant 44 de laquelle débouche le jet principal 42.

Bien entendu, même s'il s'avère préférable selon l'invention que l'actuateur fluide 46 agisse sur le jet principal 42 avant l'éjection de celui-ci par la face avant 44 du bloc de matière 43, on peut envisager une action sensiblement identique si l'injecteur 45 débouchait quasiment au niveau de la sortie 49 du jet principal 42. On peut même envisager un injecteur tel que l'interaction entre l'actuateur fluide et le jet principal ait lieu à l'extérieur du bloc de matière 43, mais très près de l'ouverture de sortie 49.

La distance L peut varier en règle générale, de préférence, entre 0 et 20 cm, plus préférentiellement 0 et 10 cm. L'injecteur 45 peut également déboucher jusqu'à quelques centimètres au delà de l'endroit où débouche le jet principal 42. Pour permettre à l'actuateur fluide d'agir le plus efficacement possible sur le jet principal, il convient d'injecter l'actuateur fluide sensiblement perpendiculairement à la direction du jet principal. En pratique, pour assurer cette orthogonalité, il conviendra de prévoir un injecteur 45 de hauteur ℓ et d'épaisseur e, avec la relation $\frac{\ell}{e} \geq 0,5$, de préférence $0,5 \leq \frac{\ell}{e} \leq 5$.

Par un positionnement approprié des injecteurs 45, les actuateurs fluides 46 peuvent être utilisés pour faire varier l'orientation de la flamme dans un plan horizontal ou dans un plan vertical, voire les deux. Comme indiqué ci-dessus, il est préférable que l'orientation de la flamme puisse être variée dans un plan en substance vertical.

Des brûleurs de ce type sont décrits plus en détail dans les demandes de brevet FR-A-2903325 et PCT/FR2007/051597 de la demanderesse.

Le ou les brûleurs à flamme orientable peuvent être des brûleurs latéraux, c'est-à-dire des brûleurs à flamme d'orientation variable montés dans les parois latérales du four.

Quand le four verrier comprend plusieurs brûleurs à flamme d'orientation variable montés dans les parois latérales du four, ces brûleurs peuvent être montés face à face, si on souhaite privilégier la compacité à cet endroit, ou en quinconce, ce qui permet un taux de couverture plus élevé et limite la déviation de la flamme vers la voûte du four.

Le ou les brûleurs à flamme orientable peuvent être des aérobrûleurs, c'est-à-dire des brûleurs utilisant de l'air comme combustible ou oxydant.

Etant donné le rendement énergétique plus élevé de l'oxycombustion, le ou les brûleurs à flamme orientable sont de préférence des oxybrûleurs. On entend par oxybrûleur un brûleur dont le gaz associé au combustible ou oxydant est plus riche en oxygène que l'air, par exemple un gaz comportant au moins 40 % et de préférence au moins 50 % d'oxygène, par exemple un mélange d'air et d'oxygène.

Le four suivant l'invention comprend de préférence une installation de contrôle pour l'asservissement du ou des brûleurs à flamme orientable, notamment pour le réglage de l'orientation, et en particulier de l'angle de la flamme et l'alimentation en carburant et en combustible du brûleur. En réglant l'alimentation en carburant et combustible, l'installation de contrôle permet de régler la puissance de la flamme, ainsi que le rapport carburant/combustible du brûleur.

L'installation de contrôle peut être une installation pour l'asservissement du ou des brûleurs à flamme orientable en boucle ouverte ou encore une installation pour l'asservissement du ou des brûleurs à flamme orientable en boucle fermée. De préférence l'installation de contrôle permettra les deux types d'asservissement.

Suivant un mode de réalisation du four, l'installation de contrôle comprend un détecteur de volatilisation pour la détection du taux de volatilisation. Ledit détecteur de volatilisation peut notamment être détecteur mesurant la concentration en alcalins volatilisés dans les gaz au-dessus de la surface libre du verre fondu et/ou un analyseur de spectre gazeux (spectromètre). Quand le taux de volatilisation détecté par le détecteur de volatilisation dépasse une valeur limite de volatilisation prédéterminée, l'installation de contrôle peut modifier l'orientation de la flamme et/ou le rapport carburant/combustible du brûleur de manière à réduire le taux de

volatilisation à un niveau en dessous de cette valeur limite de volatilisation. De préférence, quand le taux de volatilisation détecté par le détecteur de volatilisation dépasse la valeur limite de volatilisation prédéterminée, l'installation de contrôle augmentera temporairement l'angle de la flamme et/ou modifiera l'alimentation en carburant et en combustible du brûleur de manière à ce que le ou les brûleurs à flamme orientable opèrent en surstoechiométrie.

De préférence, l'installation de contrôle augmentera temporairement l'angle de la flamme ou encore augmentera temporairement l'angle de la flamme et modifiera temporairement l'alimentation en carburant et combustible comme décrit ci-dessus.

En augmentant l'angle de la flamme, on éloigne la flamme de la surface libre de verre fondu, et on diminue ainsi la vitesse des gaz au-dessus de cette surface libre et/ou la température du verre fondu à la surface libre, ce qui entraîne une réduction du taux de volatilisation. En opérant le ou les brûleurs à flamme orientable en surstoechiométrie, on réduit la concentration en H_2O au-dessus de la surface libre du verre fondu, ce qui entraîne une réduction du taux de volatilisation des alcalins.

On comprend par opération en stoechiométrie du brûleur ou de la combustion, une opération dans lequel l'alimentation en comburant est celle nécessaire pour la combustion complète du combustible dans les conditions préconisées par le procédé. Par exemple, dans le cas d'aérocombustion, l'alimentation en comburant (air) du brûleur est typiquement telle que l'alimentation en comburant du brûleur est entre 100% et 110% de l'alimentation stoechiométrique théorique en comburant nécessaire pour la combustion complète du combustible et dans le cas d'oxycombustion, typiquement entre 100% et 105% de l'alimentation stoechiométrique théorique en comburant nécessaire pour la combustion complète du combustible.

On comprend par opération en surstoechiométrie du brûleur ou de la combustion, une opération dans laquelle l'alimentation en comburant et en combustible du brûleur est telle que l'alimentation en comburant du brûleur

est supérieure à l'alimentation en comburant du brûleur en opération en stoechiométrie telle que définie ci-dessus.

On comprend par opération en sous-stoechiométrie du brûleur ou de la combustion, une opération dans laquelle l'alimentation en comburant et en combustible du brûleur est telle que l'alimentation en comburant du brûleur est inférieure à l'alimentation en comburant du brûleur en opération en stoechiométrie telle que définie ci-dessus.

L'installation de contrôle peut également comprendre un détecteur de mousse pour la détection du taux de mousse sur la surface libre du verre fondu. Ledit détecteur de mousse peut notamment être un détecteur à ultrasons ou un détecteur mesurant la concentration de sulfate au-dessus de la surface libre du verre fondu, le taux de sulfate émis étant un témoin du taux de mousse. Quand le taux de mousse détecté par le détecteur de mousse dépasse une valeur limite de mousse prédéterminée, l'installation de contrôle peut modifier l'orientation de la flamme et/ou le rapport carburant/combustible du brûleur de manière à réduire le taux de mousse à un niveau en dessous de cette valeur limite de mousse. De préférence, quand le taux de mousse détecté par le détecteur de mousse dépasse la valeur limite de mousse prédéterminée, l'installation de contrôle réduira temporairement l'angle de la flamme et/ou modifiera l'alimentation en carburant et en combustible du brûleur de manière à ce que le ou les brûleurs à flamme orientable opèrent en sous-stoechiométrie :

- en réduisant l'angle de la flamme, la flamme se rapproche de la surface libre de verre fondu, voire impacte cette surface libre, de manière à désintégrer l'écran thermique de mousse présent sur la surface.

La désintégration de l'écran thermique de mousse par une réduction de l'angle de la flamme (rapprochement la flamme et la surface libre de verre fondu) peut être réalisée de manière mécanique.

Dans ce cas, la mousse est dispersée par la flamme (mangeur de mousse).

La destruction de la mousse par une réduction de l'angle de la flamme peut également avoir une raison chimique.

En effet, comme montré dans la figure 2, la concentration en CO (exprimé en % vol.) augmente considérablement au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'axe de la flamme.

Ainsi, en rapprochant la flamme vers la surface libre du verre fondu, on rapproche également la mousse de la zone riche en CO de la flamme. Le CO réagit avec la mousse et détruit chimiquement l'écran thermique de mousse sur la surface libre du verre fondu.

- en opérant le ou les brûleurs à flamme orientable en sous-stœchiométrie, on injecte plus de CO dans l'atmosphère du four qu'en opération stœchiométrique. Comme indiqué ci-dessus, le CO réagit avec la mousse et désintègre l'écran thermique de mousse sur la surface libre du verre fondu.

De préférence, l'installation de contrôle réduira temporairement l'angle de la flamme, ou encore réduira temporairement l'angle de la flamme et modifiera temporairement la stœchiométrie telle que décrite ci-dessus.

La figure 2 montre l'évolution de la concentration en CO (exprimé en % vol.) en fonction de la distance d (exprimée en mm) par rapport à l'axe de la flamme d'un oxybrûleur opérée en régime stœchiométrique. Les valeurs données pour la distance d sont négatives, étant donné que les mesures ont été effectuées en dessous de la flamme.

On constate qu'à partir d'une certaine distance d_1 , ici de 500 mm, l'axe de la flamme, la concentration en CO est quasi-nulle.

En revanche, à proximité de l'axe de la flamme, la concentration en CO est beaucoup plus élevée.

En installant un brûleur à la distance d_1 de la surface libre du verre fondu, on assure, avec une orientation horizontale de la flamme, une atmosphère neutre au niveau du verre.

Si de la mousse se forme à un endroit couvert par la flamme du brûleur à flamme orientable ou susceptible d'être couvert par la flamme d'un tel brûleur après une réorientation de celle-ci, il est possible, grâce à la présence de ce brûleur à flamme orientable, de rapprocher la flamme du bain et d'augmenter ainsi (temporairement) la concentration en CO en contact avec la mousse, par exemple jusqu'à 15 %.

Il en découle que l'invention permet une destruction chimique (réaction avec CO, de la mousse même si le brûleur est opéré en régime stoechiométrique.

L'orientation de la flamme vers la surface du verre peut être faite de plusieurs manières :

- avec un mouvement de balayage de la flamme de gauche à droite dans un secteur angulaire pouvant par exemple varier de -40° à $+40^{\circ}$,
- avec un mouvement de haut en bas à partir d'une orientation horizontale jusqu'à impact de la flamme aux endroits couverts de mousse.

Suivant une forme de réalisation, l'installation de contrôle comprend un ou des détecteurs de température pour la détection de la température de voûte du four. Quand la température de voûte détectée par le ou les détecteurs de température est en dessous d'une température limite prédéterminée, l'installation de contrôle peut modifier l'orientation et/ou la puissance de la flamme d'au moins un brûleur à flamme orientable de manière à faire monter la température de la voûte au-dessus de la température limite prédéterminée. La température limite prédéterminée est typiquement la température de condensation des composants volatilisables/volatilisés pouvant conduire à une corrosion de la voûte. De préférence, quand le ou les détecteurs de température détectent une température de voûte inférieure à la température limite prédéterminée, l'installation de contrôle augmentera temporairement l'angle de la flamme et/ou modifiera l'alimentation en carburant et en combustible du brûleur de manière à augmenter la puissance du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à augmenter le transfert thermique vers la voûte.

L'invention concerne également une installation verrier comprenant un four verrier tel que décrit ci-dessus. L'invention concerne en particulier une installation verrier comprenant un four tel que décrit ci-dessus, un dispositif de formage de verre, tel qu'un dispositif de formage de bouteilles de verre ou un dispositif de formage de fibres de verre, et un canal d'alimentation entre la zone de prélèvement du four et le dispositif de formage pour l'alimentation en verre fondu dudit dispositif.

La présente invention concerne également un procédé de fabrication de verre au moyen d'un four verrier suivant une des modes de réalisation décrits ci-dessus.

L'invention concerne ainsi un procédé de fabrication de verre dans un four par fusion d'une charge contenant du silice, ledit four ayant une partie amont dans laquelle la charge est au moins partiellement présente sous forme solide et une partie aval dans laquelle la charge est entièrement présente sous forme de verre fondu. La ligne qui démarque la partie du four dans laquelle la charge est au moins partiellement présente sous forme solide (partie amont) de la partie dans laquelle la charge est entièrement présente sous forme de verre fondu (partie aval) est généralement appelée la ligne de batch.

Selon ce procédé, la charge est introduite dans le four sous forme solide dans une zone d'enfournement située dans la partie amont du four. Elle est ensuite amenée sous forme solide de la zone d'enfournement vers une zone de fusion équipée de brûleurs et située partiellement dans la partie amont et partiellement dans la partie aval du four. Dans la zone de fusion, la charge est chauffée et fondue au moyen desdits brûleurs avec obtention de verre fondu. Le verre fondu issu de la zone de fusion est amené vers une zone de prélèvement, située dans la partie aval du four, où le verre fondu est prélevé du four.

Suivant l'invention, la zone de fusion est équipée dans la partie aval du four d'au moins un et de préférence d'au moins deux brûleurs à flamme orientable.

Comme déjà mentionné, la zone de fusion est de préférence équipée dans la partie aval du four d'au moins un, de préférence d'au moins deux brûleurs à flamme orientable dont la variation de l'orientation de la flamme est réalisée par interaction fluide entre plusieurs jets de fluide, suivant l'une ou l'autre des formes de réalisation décrites ci-dessus par rapport au four suivant l'invention.

Ainsi, le ou les brûleurs à flamme orientable peuvent notamment comporter :

- un canal d'injection d'au moins un jet principal de comburant et/ou de combustible et/ou d'un prémélange de comburant et combustible et
- au moins un injecteur d'un actuateur fluide débouchant dans ledit canal ou à proximité de celui-ci.

Le canal d'injection et l'injecteur sont orientés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que l'actuateur fluide impacte le jet principal et permet ainsi une variation de l'orientation de la flamme par interaction fluïdique entre le jet principal et le ou les actuateurs fluides du au moins un injecteur.

Le ou les brûleurs à flamme orientable peuvent être des brûleurs latéraux

Le ou les brûleurs à flamme orientable peuvent être des aérobûleurs, mais sont de préférence des oxybûleurs.

Un avantage du four et du procédé suivant l'invention est qu'ils permettent de prolonger la durée de vie du four verrier en limitant la volatilisation des composants volatiles et en limitant la corrosion des parois du four tout en conservant un rendement énergétique acceptable.

Dans la partie aval de la zone de fusion, l'orientation des flammes est normalement en substance horizontale et donc parallèle à la surface libre du verre fondu. Dans le présent contexte, on considère qu'une flamme est en substance horizontale quand l'angle entre la direction de flamme et le plan horizontal est inférieur ou égal à 10° , voire inférieur ou égal à 5° , c'est-à-dire un angle de flamme entre 80° et 100° , voire entre 85° et 95° .

Si après un certain temps d'opération du four verrier, on constate une corrosion des parois et en particulier de la voûte due à une condensation sur les parois/la voûte de composants volatilisés, la présente invention permet, sans avoir à interrompre l'opération du four, sans remplacement de brûleur(s) et sans modification de la structure du four, de modifier l'orientation de réorienter la flamme du ou des brûleurs à flamme orientable plus vers le haut, c'est-à-dire un peu plus vers la voûte. De cette manière la flamme du ou des brûleurs à flamme orientable est éloignée de la surface libre du verre fondu et la volatilisation et la corrosion sont réduites, tout en maintenant un rendement énergétique acceptable. La réorientation de la flamme peut éventuellement être accompagnée d'une adaptation de la

puissance de la flamme. Il est à noter que la réorientation de la flamme est généralement faible, de quelques degrés seulement.

De manière analogue, en cas de changement de la composition de la charge à fondre entraînant un changement dans la volatilisation et éventuellement dans la corrosion due à une condensation de composants volatilisés, la présente invention permet sans avoir à interrompre l'opération du four, sans remplacement de brûleur(s) et sans modification de la structure du four, de réorienter la flamme du ou des brûleurs à flamme orientable et d'optimiser le rendement énergétique tout en limitant la volatilisation et la corrosion. Cette réorientation peut éventuellement être accompagnée d'une adaptation de la puissance de la flamme.

La propriété du four et du procédé suivant l'invention de permettre un contrôle actif de la volatilisation et de la corrosion est particulièrement intéressante dans le cas où le verre est du verre silico-sodo-calcique et/ou dans le cas où les parois/la voûte du four contient des matériaux réfractaires en silice. L'invention permet également d'intervenir ponctuellement dans le procédé de fusion de manière à améliorer le transfert thermique vers le verre fondu par désintégration de l'écran thermique de mousse sur le verre fondu et/ou de manière à réduire la volatilisation de composants volatilisables et/ou de manière à réduire la corrosion en limitant la condensation de composants volatilisés sur les parois et en particulier sur la voûte.

Ainsi, suivant une forme de réalisation du procédé suivant l'invention, dans lequel normalement, c'est-à-dire durant la plus grande partie du procédé, le ou les brûleurs à flamme orientable sont opérés en stoechiométrie et de manière à orienter la flamme selon un premier angle de flamme, et dans lequel on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique.

L'opération du ou des brûleurs à flamme orientable stoechiométrique et selon le premier angle de flamme correspond à l'opération normale/principale du four verrier. Comme indiqué ci-dessus, ce premier angle de flamme est généralement entre 80° et 100°, voire entre 85° et 95°.

Comme déjà exposé, l'opération momentanée du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique correspond à une phase (opération temporaire) antivolatilisation. Pour les phases antivolatilisation, l'opération momentanée du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme est préférée.

La fréquence et la durée des phases antivolatilisation sont choisis en fonction des paramètres du four verrier, de la composition de la charge et de la tirée, et ne dépassera normalement pas l'ordre de quelques minutes par heure d'opération.

De manière analogue, le procédé suivant l'invention peut inclure des phases antimousse.

Dans ce cas, le ou les brûleurs à flamme orientable sont normalement opérés en stoechiométrie et de manière à orienter la flamme selon un premier angle de flamme, et dans lequel on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement sous-stoechiométrique.

Comme déjà exposé, l'opération momentanée du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique correspond à une phase antimousse. Pour les phases antimousse, l'opération momentanée du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme, est préférée, la flamme étant alors avantageusement dirigée vers la surface libre du verre fondu.

La fréquence et la durée des phases antimousse sont également choisies en fonction des paramètres du four verrier, de la composition de la charge et de la tirée. Une phase antimousse peut avoir une durée très courte, quelques secondes peuvent suffire pour désintégrer l'écran thermique de mousse.

De préférence, le procédé suivant l'invention comprendra à la fois des phases antivolatilisation et des phases antimousse.

Dans ce cas :

- le ou les brûleurs à flamme orientable sont normalement opérés en stoechiométrie et de manière à orienter la flamme selon un premier angle de flamme (opération normale),
- on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique (phase antivolatilisation), et
- on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement sous-stoechiométrique (phase antimousse).

De manière avantageuse, le ou les brûleurs à flamme orientable sont normalement opérés en opération normale (stoechiométrie et la flamme selon le premier angle de flamme) pendant au moins 75% de la durée du procédé, de préférence pendant au moins 80% de la durée du procédé et encore de préférence pendant au moins 90% de la durée du procédé. Ledit ou lesdits brûleurs à flamme orientable ne sont donc opérés à un angle de la flamme autre que le premier angle de flamme que pendant au plus 25% de la durée du procédé, respectivement pendant au plus 20% voire au plus 10% de cette durée. Le réglage des différentes phases du procédé suivant l'invention peut se faire en boucle fermée ou en boucle ouverte.

Comme décrit ci-dessus, le four est avantageusement équipé d'une installation de contrôle pour l'asservissement du ou des brûleurs à flamme orientable.

Cette installation de contrôle comprend de manière utile un détecteur de mousse pour la détection du taux de mousse sur la surface du verre fondu. Quand le taux de mousse détecté par le détecteur de mousse dépasse une valeur limite de mousse prédéterminée, on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement sous-stoechiométrique (passage

momentané en phase antimousse). Le détecteur du taux de mousse peut par exemple être un détecteur à ultrasons ou un détecteur mesurant la concentration de sulfate au-dessus de la surface libre du verre fondu.

L'installation de contrôle peut aussi comprendre un détecteur de volatilisation pour la détection du taux de volatilisation. Quand le taux de volatilisation détecté par le détecteur de volatilisation dépasse une valeur limite de volatilisation prédéterminée, on modifie momentanément l'opération du des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique quand le taux de volatilisation détecté par le détecteur de volatilisation dépasse une valeur limite de volatilisation prédéterminée (passage momentané en phase antivolatilisation). Le détecteur de volatilisation peut notamment mesurer la vitesse de gaz au-dessus de la surface libre du verre fondu ou la concentration en alcalins au-dessus de la surface libre du verre fondu, de préférence par mesure spectrale.

Suivant un mode de réalisation avantageux, l'installation de contrôle comprend un ou des détecteurs de température pour la détection de la température de voûte du four. Quand la température de voûte du four détectée par le ou les détecteurs de température descend en dessous d'une température limite prédéterminée (point froid), on oriente momentanément la flamme d'au moins un brûleur à flamme orientable plus vers la voûte, et en particulier vers le point froid de manière à faire remonter la température de la voûte au-delà de la température limite prédéterminée (passage momentané en phase anticorrosion).

Suivant une forme de réalisation du procédé suivant l'invention, le verre fondu prélevé du four est amené dans un canal d'alimentation d'un dispositif de formage, tel qu'un dispositif pour le formage de bouteilles en verre ou un dispositif pour le formage de fibres de verre.

En général, l'invention est notamment utile pour application dans la production de verres techniques, du verre plat, des bouteilles en verre et des fibres de verre, et en particulier dans le cas de verres silico-sodo-calciques, et/ou dans les fours dont les parois et/ou la voûte contiennent des matériaux réfractaires en silice.

Suivant une application particulière, le four est un four de type « float ».

Les formes de mise en œuvre avec un ou plusieurs oxybrûleurs à flamme orientable dans la partie aval de la zone de fusion sont particulièrement utiles pour l'oxyboosting d'un four verrier, et en particulier pour l'oxyboosting d'un four verrier équipé d'aérobrûleurs.

Cette application du four et du procédé suivant l'invention permet notamment d'augmenter la tirée du four.

Dans ce cas, l'installation d'un ou plusieurs oxybrûleurs à flamme orientable suivant l'invention permet d'augmenter ponctuellement ou de manière permanente la tirée ou de la maintenir lorsque par exemple les régénérateurs du four sont endommagés ou que la charge à fondre requiert plus d'énergie que la charge habituellement exploitée. Dans le cas d'un procédé d'oxyboosting suivant l'invention, la mise en œuvre du procédé peut inclure l'installation d'un ou plusieurs oxybrûleurs à flamme orientable dans la partie aval du four. Suivant une forme de réalisation particulière, on installe au moins un et de préférence deux oxybrûleurs à flamme orientable directement en aval des derniers brûleurs à air du four. De cette façon, la zone de fusion est en fait étendue vers l'aval du four, ces oxybrûleurs à flamme orientable étant les derniers brûleurs rencontrés par la charge à la sortie de la zone de fusion du four. Dans le cas d'un four déjà équipé pour l'oxyboosting, la mise en œuvre du procédé suivant l'invention peut inclure le remplacement d'au moins un oxybrûleur préexistant dans la partie aval du four par un oxybrûleur à flamme orientable.

Cette application est particulièrement intéressante pour la fusion de verre destinée à la fabrication des écrans plasma.

REVENDICATIONS

1. Four verrier pour la fusion d'une charge contenant du silice, ledit four ayant :

- une partie amont dans laquelle, pendant la fusion, la charge est au moins partiellement présente sous forme solide et
- une partie aval dans laquelle, pendant la fusion, la charge est entièrement présente sous forme de verre fondu,

le four comprenant :

- une zone d'enfournement pour l'enfournement de la charge sous forme solide, ladite zone d'enfournement étant située dans la partie amont,
- une zone de fusion équipée de brûleurs pour le chauffage et la fusion de la charge avec obtention de verre fondu, ladite zone de fusion étant située partiellement dans la partie amont et partiellement dans la partie aval,
- une zone de prélèvement pour le prélèvement du four du verre fondu, la zone de prélèvement étant située dans la partie aval, caractérisé :

- en ce que la zone de fusion est équipée dans la partie aval du four d'au moins un et de préférence d'au moins deux brûleurs à flamme orientable et dont l'orientation de la flamme peut être variée dans un plan en substance vertical,

- le four comporte une installation de contrôle pour l'asservissement du ou des brûleurs à flamme orientable y compris pour le réglage de l'orientation, et en particulier l'angle de la flamme du ou desdits brûleurs à flamme orientable.

2. Four suivant la revendication 1, dans lequel le ou les brûleurs à flamme orientable comportent :

- un canal pour l'injection d'au moins un jet principal de comburant et/ou de combustible et/ou d'un prémélange de comburant et combustible et

- au moins un injecteur pour l'injection d'un actuateur fluide débouchant dans le canal ou à proximité de celui-ci,

ledit canal d'injection et ledit injecteur étant orienté l'un par rapport à l'autre de manière à ce que l'actuateur fluide impacte le jet principale de manière à permettre une variation de l'orientation de la flamme par interaction fluidique entre le jet principal et le ou les actuateurs fluides du au moins un injecteur.

3. Four suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le four comprend également une zone d'affinage située dans la partie aval entre la zone de fusion et la zone de prélèvement.

4. Four suivant l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le ou les brûleurs à flamme orientable sont des oxybrûleurs.

5. Installation de fusion de verre, comprenant un four suivant l'une des revendications précédentes, un dispositif de formage et un canal d'alimentation entre la zone de prélèvement du four et le dispositif de formage.

6. Procédé de fabrication de verre par fusion d'une charge contenant du silice dans un four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, procédé dans lequel :

- la charge est introduite dans le four sous forme solide dans la zone d'enfournement située dans la partie amont du four,
- la charge est amenée sous forme solide de la zone d'enfournement vers la zone de fusion où la charge est chauffée et fondue avec obtention de verre fondu,
- le verre fondu issu de la zone de fusion est amené vers la zone de prélèvement où le verre fondu est prélevé du four et dans lequel l'orientation et en particulier l'angle de la flamme du ou des brûleurs à flamme orientable est réglé au moyen de l'installation de contrôle.

7. Procédé suivant la revendication 6, dans lequel le ou les brûleurs à flamme orientable sont normalement opérés en stoechiométrie et de manière à orienter la flamme selon un premier angle de flamme et dans lequel on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique.

8. Procédé suivant l'une des revendications 6 et 7, dans lequel le ou les brûleurs à flamme orientable sont normalement opérés en stoechiométrie et de manière à orienter la flamme selon un premier angle de flamme et dans lequel on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement sous-stoechiométrique.

9. Procédé suivant la revendication 7 ou 8, dans lequel le ou les brûleurs à flamme orientable sont opérés en stœchiométrie et de manière à orienter la flamme selon le premier angle de flamme pendant au moins 75% de la durée du procédé, de préférence pendant au moins 80% de la durée du procédé et encore de préférence pendant au moins 90% de la durée du procédé.

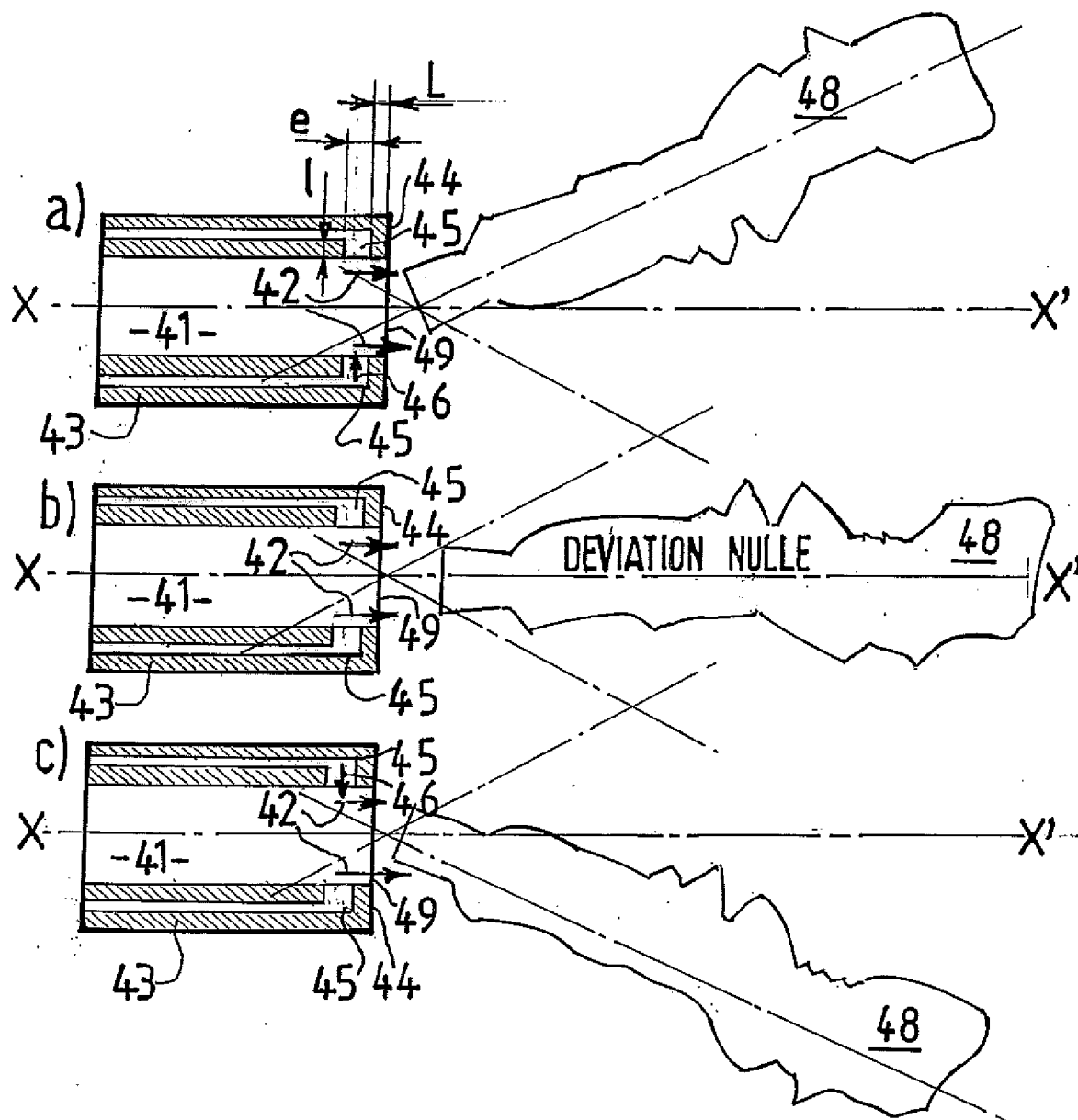
10. Procédé suivant l'une des revendications 6 à 9, dans lequel l'installation de contrôle comprend un détecteur de mousse pour la détection du taux de mousse sur la surface du verre fondu et dans lequel on modifie momentanément l'opération du ou des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme inférieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement sous-stoechiométrique quand le taux de mousse détecté par le détecteur de mousse dépasse une valeur limite de mousse prédéterminée.

11. Procédé suivant l'une des revendications 6 à 10, dans lequel l'installation de contrôle comprend un détecteur de volatilisation pour la détection du taux de volatilisation et dans lequel on modifie momentanément

l'opération du des brûleurs à flamme orientable de manière à orienter la flamme selon un angle de flamme supérieur au premier angle de flamme et/ou en fonctionnement surstoechiométrique quand le taux de volatilisation détecté par le détecteur de volatilisation dépasse une valeur limite de volatilisation prédéterminée.

12. Procédé suivant l'une des revendications 6 à 11, dans lequel le verre fondu prélevé du four est amené dans un canal d'alimentation d'un dispositif machine de formage.

1/2

FIG.1

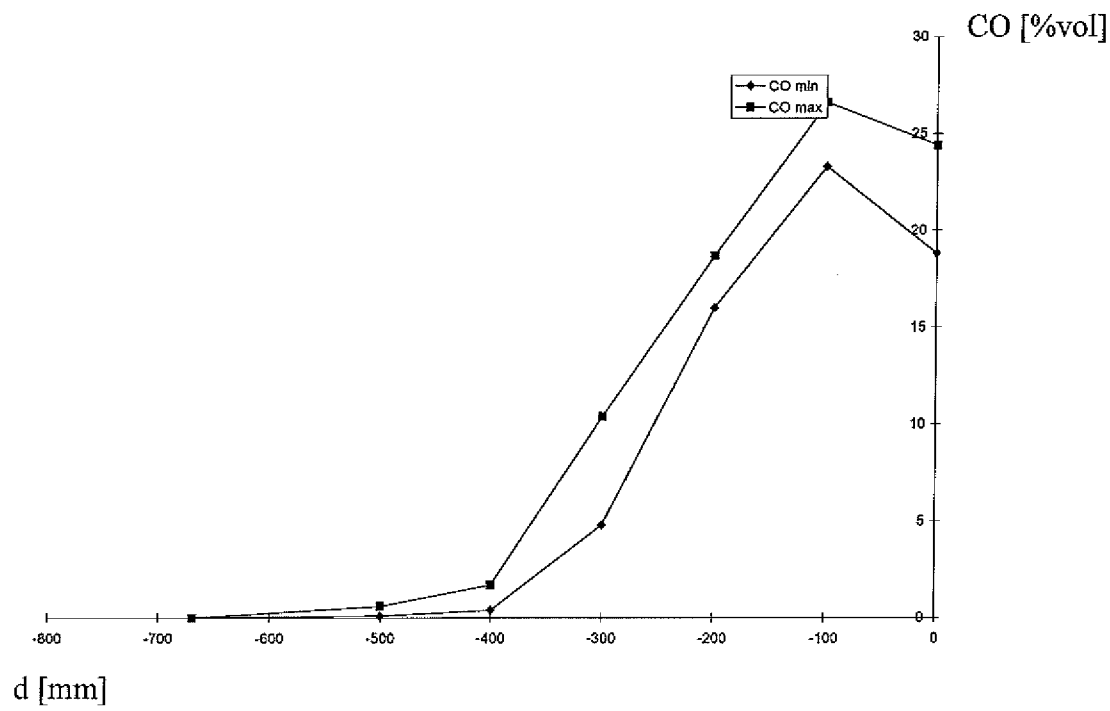


FIG. 2