

INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE DISTRIBUTION D'UN MÉLANGE DE GAZ

La présente invention concerne une installation de distribution d'un mélange de gaz destiné à être utilisé par une unité consommatrice de gaz. L'installation permet une distribution du mélange directement sur le site d'utilisation ainsi qu'un ajustement du débit de mélange produit par l'installation en fonction du débit consommé par l'unité consommatrice. L'invention porte également sur un procédé de distribution de mélange mettant en œuvre une telle installation.

En particulier, une installation et un procédé selon l'invention sont destinés à distribuer des mélanges de gaz purs ou de pré-mélanges de gaz, notamment à distribuer des mélanges de gaz extraits de l'air, comme l'azote, l'argon, l'oxygène, de l'hélium, de l'hydrogène, des hydrocarbures tel le propane.

Notons que les termes « unité consommatrice de gaz », peuvent s'entendre aussi bien d'une entité consommatrice unique que de plusieurs entités alimentées en parallèle par le mélange de gaz, notamment plusieurs entités agencées en aval d'un boîtier de dérivation.

Habituellement, les mélanges de gaz sont conditionnés sous forme comprimée ou liquéfiée dans des bouteilles de gaz. Le remplissage d'une bouteille de gaz s'effectue en mode séquentiel, les constituants du mélange étant introduits les uns après les autres dans la bouteille. Pour chaque constituant, un contrôle de la quantité de gaz introduit dans la bouteille est réalisé, soit par suivi de la pression dans la bouteille pendant et après l'introduction du constituant, soit par pesée de la bouteille lors de l'introduction du constituant. Une telle installation de conditionnement de mélanges de gaz est notamment décrite dans le document WO2010/031940A1.

Afin de garantir à l'utilisateur la fiabilité et la reproductibilité des performances et/ou des résultats procurés par l'unité consommatrice de gaz, il est nécessaire de réaliser des mélanges de gaz offrant une grande précision sur les concentrations de chaque constituant. Selon les applications, la tolérance maximale de variation des valeurs effectives des concentrations par rapport aux valeurs cibles peut être de 10% (% relatif), voire 5% ou même moins. De telles tolérances sont d'autant plus difficiles à respecter que le nombre de constituants est grand et/ou que leurs teneurs sont faibles.

Selon la précision requise, les méthodes de conditionnement actuelles peuvent se révéler insuffisantes. En particulier, le conditionnement manométrique par contrôle de la pression offre une précision limitée intrinsèquement par la précision du capteur de pression et par les variations de la température qui influence le calcul de la quantité
5 de gaz. A l'incertitude sur les valeurs de concentration du mélange de gaz fabriqué s'ajoute les écarts de concentrations entre les mélanges conditionnés dans différentes bouteilles. De tels écarts peuvent faire varier sensiblement les résultats produits par l'unité consommatrice à chaque changement de bouteille.

Le conditionnement gravimétrique par pesée des constituants offre une plus grande
10 précision sur la composition du mélange mais impose toujours un procédé par étape avec remplissage de bouteilles.

Or, l'utilisation de bouteilles conduit à une autonomie limitée pour l'utilisateur avec un arrêt de la distribution difficilement prévisible lorsque la consommation du mélange de gaz varie. Les délais d'approvisionnement des mélanges de gaz pouvant être
15 relativement longs, l'utilisateur doit gérer son stock de bouteilles afin d'assurer une continuité de sa production.

De plus, la mise en bouteille des mélanges a lieu dans des centres de conditionnement aménagés spécifiquement pour ce type d'opérations. Les bouteilles doivent ensuite être acheminées vers leur site d'utilisation, ce qui impose une logistique dédiée. Des
20 contraintes liées au transport de marchandises dangereuses peuvent aussi se présenter, en particulier lorsqu'il s'agit de transporter des mélanges de gaz à constituants inflammables, pyrophoriques, toxiques et/ou anoxiants.

Par ailleurs, les opérations de connexion/déconnexion des bouteilles sont fastidieuses pour les utilisateurs et augmentent le risque de contaminer le mélange de gaz avec de
25 l'air ambiant. Les bouteilles nécessitent également une préparation spécifique avant remplissage incluant des étapes de nettoyage, passivation, ...

L'invention a pour but de pallier tout ou partie des inconvénients mentionnés ci-dessus, notamment en proposant une installation de distribution d'un mélange de gaz permettant de contrôler précisément la composition du mélange, tout en offrant une
30 continuité et une flexibilité de distribution, en fonction notamment des besoins au point de consommation du mélange.

A cette fin, la solution de l'invention est une installation de distribution d'un mélange de gaz comprenant :

- une source d'un premier gaz,
- une source d'un deuxième gaz,
- 5 - un dispositif mélangeur relié fluidiquement à la source de premier gaz et à la source de deuxième gaz, ledit dispositif mélangeur étant configuré pour produire à une sortie un mélange de gaz comprenant le premier gaz et le deuxième gaz,
- 10 - un premier organe régulateur de débit et un deuxième organe régulateur de débit configurés pour réguler respectivement le débit du premier gaz et le débit du deuxième gaz s'écoulant vers le dispositif mélangeur suivant une première consigne de débit et une deuxième consigne de débit définissant en fonctionnement, un débit de production du mélange de gaz à la sortie du dispositif mélangeur,
- 15 - une unité de commande configurée pour commander les premier et deuxième organes régulateurs de débit de façon à ajuster la première consigne de débit et la deuxième consigne de débit selon des proportions respectives par rapport au débit de production, lesdites proportions respectives étant déterminées en fonction d'au moins une teneur cible du mélange de gaz en le premier gaz et/ou
- 20 le deuxième gaz,
- 25 - un réservoir tampon relié fluidiquement à la sortie du dispositif mélangeur d'une part et à une ligne de distribution d'autre part, la ligne de distribution étant configurée pour distribuer le mélange de gaz vers une unité consommatrice avec un débit de consommation représentatif d'une consommation variable du mélange de gaz,
- 30 - au moins un capteur de mesure configuré pour mesurer une grandeur physique dont la variation est représentative d'une variation du débit de consommation distribué par la ligne de distribution et pour fournir un premier signal de mesure de ladite grandeur physique, l'unité de commande étant reliée au capteur de mesure et configurée pour élaborer un premier signal de commande à partir du premier signal de mesure, les organes régulateurs de débit étant configurés

pour ajuster la première consigne de débit et la deuxième consigne de débit en réponse audit premier signal de commande.

Selon le cas, l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques énoncées ci-après.

5 L'installation comprend une première boucle d'asservissement des première et deuxième consignes de débit sur le premier signal de mesure fourni par le capteur de mesure, ladite première boucle comprenant :

- 10 - un premier comparateur agencé au sein de l'unité de commande (5) et configuré pour élaborer au moins un premier signal d'erreur à partir du premier signal de mesure,
- un premier correcteur agencé au sein de l'unité de commande, en particulier du type proportionnel, intégral et dérivé, et configuré pour élaborer le premier signal de commande à partir du premier signal d'erreur,
- 15 - des actionneurs des premier et deuxième organes régulateurs de débit reliés au premier correcteur configurés pour recevoir le premier signal de commande et déplacer les premier et deuxième organes régulateurs de débit dans des positions respectives dans lesquelles la première consigne de débit et la deuxième consigne de débit sont conformes au premier signal de commande.

20 Le capteur de mesure comprend un capteur de débit ou débitmètre configuré pour mesurer le débit de consommation.

Le premier comparateur est configuré pour élaborer au moins un premier signal d'erreur représentatif d'une variation du débit de consommation et le premier correcteur est configuré pour élaborer un premier signal de commande commandant un déplacement des premier et deuxième organes régulateurs de débit de sorte que
25 les première et deuxième consignes de débits varient dans le même sens que celui de la variation du débit.

Le capteur de mesure comprend un capteur de pression configuré pour mesurer la pression régnant dans le réservoir tampon.

30 Le premier comparateur est configuré pour élaborer un premier signal d'erreur représentatif d'une variation de la pression dans le réservoir tampon et le premier correcteur est configuré pour élaborer au moins un premier signal de commande

commandant un déplacement des premier et deuxième organes régulateurs de débit de sorte que les première et deuxième consignes de débits varient dans un sens opposé à celui de la variation de la pression.

5 Le premier comparateur est configuré pour élaborer au moins un premier signal d'erreur à partir d'une comparaison du premier signal de mesure avec au moins un paramètre choisi parmi : un seuil de pression bas, un seuil de pression haut.

10 Chacun des premier et deuxième organes régulateurs de débit peut se déplacer entre une position fermée dans laquelle la première consigne de débit ou la deuxième consigne de débit est nulle et une position totalement ouverte dans laquelle la première consigne de débit ou la deuxième consigne de débit présentent respectivement une première valeur maximale de débit ou une deuxième valeur maximale de débit, les premier et deuxième organes régulateurs de débit pouvant occuper au moins une position intermédiaire entre la position fermée et la position ouverte avec ladite position intermédiaire correspondant de préférence à une première consigne de débit ou une deuxième consigne de débit égale à au moins 25%, de préférence encore au moins 35%, de sa première ou deuxième valeur maximale respective.

Le réservoir tampon a un volume interne égal à au moins la moitié du débit de production maximal de l'installation.

20 L'installation comprend une première unité d'analyse agencée en aval du réservoir tampon et configurée pour analyser au moins une teneur en le premier gaz et/ou le deuxième gaz du mélange distribué par la ligne d'alimentation.

25 L'installation comprend une deuxième unité d'analyse configurée pour mesurer au moins une teneur en le premier gaz et/ou le deuxième gaz du mélange de gaz produit à la première sortie du dispositif mélangeur et pour fournir en conséquence au moins un deuxième signal de mesure, l'unité de commande étant reliée à la deuxième unité d'analyse et configurée pour élaborer un deuxième signal de commande à partir du deuxième signal de mesure et pour modifier la proportion de la première consigne de débit et/ou la proportion de la deuxième consigne de débit par rapport au débit de production en réponse audit deuxième signal de commande.

30 L'installation comprend une deuxième boucle d'asservissement des proportions respectives de la première consigne de débit et/ou de la deuxième consigne de débit

par rapport au débit de production sur le deuxième signal de mesure fourni par la deuxième unité d'analyse, la deuxième boucle comprenant :

- 5 - un deuxième comparateur agencé au sein de l'unité de commande et configuré pour élaborer au moins un deuxième signal d'erreur à partir d'une comparaison du deuxième signal de mesure avec au moins un paramètre choisi parmi : une teneur cible en le premier gaz, une teneur cible en le deuxième gaz,
- un deuxième correcteur agencé au sein de l'unité de commande, en particulier du type proportionnel, intégral et dérivé, et configuré pour élaborer le deuxième signal de commande à partir du deuxième signal d'erreur,
- 10 - les actionneurs des premier et/ou deuxième organes régulateurs de débit étant reliés au deuxième correcteur et configurés pour déplacer les premier et/ou deuxième organes régulateurs de débit dans des positions respectives dans lesquelles les proportions des première consigne de débit et/ou de deuxième consigne de débit par rapport au débit de production sont conformes au
- 15 deuxième signal de commande.

L'unité de commande comprend une interface homme-machine comprenant :

- une interface de saisie, notamment un écran tactile, configurée pour la saisie par un utilisateur d'au moins une teneur cible du premier gaz et/ou du deuxième gaz dans le mélange de gaz,
- 20 - au moins une règle de calcul pour calculer, à partir de ladite teneur cible, les proportions prédéterminées de première consigne de débit et/ou de deuxième consigne de débit par rapport au débit de production.

L'installation elle est située sur le lieu d'utilisation du mélange de gaz par l'unité consommatrice.

- 25 En outre, l'invention concerne un procédé de distribution d'un mélange de gaz comprenant les étapes suivantes:

- a. passage du premier gaz dans un premier organe régulateur de débit de façon à distribuer le premier gaz avec une première consigne de débit vers un dispositif mélangeur,

- b. passage d'un deuxième gaz dans un deuxième organe régulateur de débit de façon à distribuer le deuxième gaz avec une deuxième consigne de débit vers le dispositif mélangeur,
- c. production par une sortie du dispositif mélangeur d'un mélange de gaz comprenant le premier gaz et le deuxième gaz avec un débit de production,
- d. ajustement par commande des premier et/ou deuxième organes régulateurs de débit de la première consigne de débit et de la deuxième consigne de débit selon des proportions respectives par rapport au débit de production, lesdites proportions respectives étant déterminées en fonction d'au moins une teneur cible du mélange de gaz en le premier gaz et/ou le deuxième gaz,
- e. introduction, via un réservoir tampon, du mélange produit à l'étape d) dans une ligne de distribution et distribution du mélange de gaz vers une unité consommatrice avec un débit de consommation représentatif d'une consommation variable de mélange de gaz,
- f. mesure d'une grandeur physique dont la variation est représentative d'une variation du débit de consommation distribué par la ligne de distribution,
- g. élaboration à partir de la mesure faite à l'étape f) d'au moins un premier signal de mesure et ajustement par commande des premier et deuxième organes régulateurs de débit de la première consigne de débit et la deuxième consigne de débit en fonction dudit premier signal de mesure.

L'invention va maintenant être mieux comprise grâce à la description détaillée suivante faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures annexées décrites ci-après.

Fig. 1 schématise le fonctionnement d'une installation selon un mode de réalisation de l'invention,

Fig. 2 schématise une première boucle d'asservissement selon un mode de réalisation de l'invention,

Fig.3 représente un exemple d'évolution dans le temps de la pression régnant dans le réservoir tampon et du débit de production de l'installation,

Fig. 4 représente un exemple d'évolution dans le temps du débit de mélange de gaz distribué par une installation selon un mode de réalisation de l'invention avec la teneur en un constituant du mélange mesurée au cours de cette évolution,

Fig. 5 représente un agrandissement de la courbe relative à la teneur mesurée de la figure 3.

- La figure 1 représente une installation selon l'invention comprenant une source de premier gaz 1 et une source de deuxième gaz 2. Le premier gaz 1 et le deuxième gaz 2 sont de nature différente. Il peut s'agir de corps purs, simples ou composés, ou de pré-mélanges de plusieurs corps purs, en particulier un corps pur dilué avec un autre. Chacune des sources de gaz peut être une bouteille de gaz, typiquement une bouteille pouvant présenter un volume en eau jusqu'à 50 L, un ensemble de bouteilles raccordées entre elles pour former un cadre de bouteilles ou un réservoir de plus grande contenance, notamment une contenance jusqu'à 1000 L, tel un réservoir de stockage cryogénique ou un réservoir agencé sur un camion-remorque. De préférence, les sources distribuent des fluides à l'état gazeux. Avant distribution, les fluides peuvent être stockés à l'état gazeux, à l'état liquide, i. e. de gaz liquéfiés ou à l'état diphasique liquide/gaz.
- La figure 1 illustre le cas où l'installation est configurée pour produire un mélange de gaz binaire, i. e. à deux constituants, à partir de deux sources de gaz. Bien entendu, une installation selon l'invention pourra comprendre plus de deux sources de gaz et produire des mélanges à plus de deux constituants, en particulier des mélanges de gaz ternaires ou quaternaires.
- Chacune des sources de premier gaz et de deuxième gaz est reliée par une première canalisation 21 et une deuxième canalisation 22 à des premier et deuxième organes régulateurs de débit respectifs 41, 42. Ceux-ci sont prévus pour réguler les débits de premier gaz et de deuxième gaz s'écoulant vers le dispositif mélangeur de gaz 3. De préférence, les canalisations 21, 22 se rejoignent en un point de raccordement 31 situé en amont du dispositif mélangeur 3 pour former une portion commune de canalisation reliée à une entrée 32 du dispositif mélangeur. Un mélange des premier et deuxième gaz entre ainsi dans le dispositif 3 pour y être encore mélangé et homogénéisé. Notons qu'il est aussi envisageable que les canalisations 21, 22 débouchent chacune dans deux entrées distinctes 32a, 32b du dispositif mélangeur 3.
- De préférence, chacune des canalisations 21, 22 est munie d'un détendeur et d'un capteur de pression afin de mesurer et de contrôler la pression régnant dans ces

canalisations. Les pressions des premier et deuxième gaz peuvent être chacune maintenue à constante, typiquement à une valeur comprise entre 1 et 10 bar.

Chaque organe régulateur de débit 41, 42 peut être tout moyen configuré pour régler, réguler, ajuster le débit d'écoulement d'un fluide pour l'amener à une valeur de débit
5 la plus proche de la valeur souhaitée.

Typiquement, les organes régulateurs de débit 41, 42 comprennent chacun un capteur de débit, ou débitmètre, associé à un organe de détente, tel une vanne, par exemple une vanne à réglage proportionnel. La vanne peut être pneumatique ou piézoélectrique, analogique ou numérique. La vanne comprend une partie mobile,
10 typiquement au moins un obturateur, qui est placé dans le débit de fluide et dont le déplacement permet de faire varier la section de passage, et ainsi faire varier le débit pour l'amener à la valeur de consigne. En particulier, les organes régulateurs de débit 41, 42 peuvent être des régulateurs de débit massique comprenant un capteur de débit massique et une vanne de contrôle proportionnelle. Notons que même si la régulation
15 est basée sur une mesure de masse de fluide, les valeurs de débits de consigne et mesurées ne sont pas nécessairement exprimées en masse. Ainsi, une consigne de débit volumique peut être exprimée en pourcentage d'ouverture de la vanne de contrôle proportionnelle, auquel correspond une valeur de tension à appliquer à la vanne de contrôle de l'organe régulateur. La conversion entre pourcentage d'ouverture
20 en valeur de débit massique ou volumique se fait en connaissant la valeur nominale du débit régulé pour une ouverture à 100%.

Selon une réalisation avantageuse, la vanne est piézoélectrique. Ce type de vanne offre une grande précision, une bonne reproductibilité permettant la surveillance de la tension appliquée à la vanne. De telles vannes sont aussi peu sensibles aux champs
25 magnétiques et au bruit radiofréquence. Leur consommation d'énergie est faible avec une génération de chaleur minimale. La surface de contrôle métal sur métal réduit, voire élimine, les réactions avec le gaz. Enfin, du fait d'un volume de cavité de contrôle de débit relativement faible, notamment par rapport à celui d'une électrovanne, il est possible d'avoir un remplacement rapide du gaz et une excellente réponse dynamique.

30 En pratique, les premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 permettent de réguler respectivement le débit du premier gaz et le débit du deuxième gaz entrant dans le mélangeur 3 suivant une première consigne de débit D1 et une deuxième

consigne de débit D2. A la sortie 33 du dispositif mélangeur 3 le mélange de gaz sort avec un débit de production DP qui correspond, dans le cas d'une installation à deux sources de gaz, à la somme des deux débits D1 et D2 de premier et deuxième gaz. Si l'installation comprend par exemple une source d'un troisième gaz, le débit DP sera la
5 somme de débits D1, D2, D3 régulés par des organes régulateurs de débit 41, 42, 43 correspondants en direction du dispositif mélangeur 3.

L'installation selon l'invention comprend en outre une unité de commande 5 qui est reliée aux premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 de façon à commander leur fonctionnement, en particulier de façon à ajuster les valeurs de
10 consigne D1, D2 pour les amener à des valeurs qui sont déterminées et adaptées en fonction de conditions de fonctionnement de l'installation.

Pour ce faire, les organes régulateurs de débit 41, 42 comprennent chacun avantageusement un système à boucle fermée qui se voit donner des consignes de débit par l'unité de commande 5. Ces consignes sont ensuite comparées par le
15 système à boucle fermée avec les valeurs mesurées par les organes régulateurs de débit 41, 42 et leurs positions sont ajustées par ledit système en conséquence pour envoyer les débits les plus proches possibles de D1, D2 vers le dispositif mélangeur 3.

Avantageusement, l'unité de commande 5 comprend un automate programmable, également appelé système « PLC » pour « Programmable Logic Controller » en anglais, c'est-à-dire un système de contrôle d'un procédé industriel comprenant une interface homme-machine pour la supervision et un réseau de communication numérique. Le système PLC peut comprendre plusieurs contrôleurs modulaires qui commandent les sous-systèmes ou équipements de contrôle de l'installation. Ces
20 équipements sont configurés chacun pour assurer au moins une opération parmi : l'acquisition des données d'au moins un capteur de mesure, le contrôle d'au moins un actionneur relié à au moins un organe contrôleur de débit, la régulation et l'asservissement de paramètres, la transmission de données entre les différents équipements du système.

30 L'unité de commande 5 peut ainsi comprendre au moins l'un parmi : un microcontrôleur, un microprocesseur, un ordinateur. L'unité de commande 5 peut être reliée aux différents équipements de contrôle de l'installation, notamment aux organes

régulateurs de débit 41, 42, au capteur 8, et communiquer avec lesdits équipements par des liaisons électriques, Ethernet, Modbus... D'autres modes de liaisons et/ou transmission d'informations, sont envisageables pour tout ou partie des équipements de l'installation, par exemple par liaisons radiofréquence, WIFI, Bluetooth...

- 5 Dans un premier temps, la logique électronique 5 calcule une proportion prédéterminée du débit D1 par rapport à un débit de production DP et/ou une proportion prédéterminée du débit D2 par rapport à DP, i. e. des ratios D1/DP et/ou D2/DP prédéterminés, en fonction d'une teneur cible C1 du mélange de gaz en le premier gaz et/ou d'une teneur cible C2 du mélange de gaz en le deuxième gaz.
- 10 De préférence, la logique électronique 5 n'effectue pas de calcul du débit du deuxième gaz D2 à partir d'une teneur cible C2 en deuxième gaz mais règle D2 par déduction à partir de D1. D2 correspond alors à DP auquel on soustrait D1. De préférence, la logique électronique 5 calcule une proportion prédéterminée du débit D1 par rapport à DP à partir d'une teneur cible C1 qui est celle du gaz minoritaire du mélange.
- 15 Notons que pour un mélange ternaire par exemple, le réglage de D1 et D2 pourra se faire à partir de teneurs cibles respectives C1, C2, la troisième consigne de débit D3 en le troisième gaz étant déduite des valeurs de D1 et D2.

- Selon une possibilité de mise en œuvre, l'unité de commande 5 comprend une interface homme-machine 300 comprenant une interface de saisie, par exemple un
- 20 écran tactile, permettant la saisie par un utilisateur de ladite au moins une teneur cible du premier gaz et/ou du deuxième gaz dans le mélange de gaz. Par exemple, les teneurs peuvent être exprimées en pourcentage volumique de premier ou deuxième gaz présent dans le mélange de gaz. De façon plus générale, l'interface homme-machine 300 peut permettre à l'utilisateur de donner des instructions à l'unité de
- 25 commande 5.

- Les organes régulateurs de débit 41, 42 reçoivent pour consigne de l'unité de commande 5 de réguler l'écoulement des premier et deuxième gaz aux consignes respectives D1, D2 déterminées à partir de la composition cible pour le mélange de gaz. C'est avec ces débits que le premier gaz et le deuxième gaz entrent dans le
- 30 dispositif mélangeur 3.

Typiquement, le dispositif mélangeur 3 comprend un volume mélangeur commun dans lequel débouchent la ou les entrées et la sortie 33 et dans lequel le mélange est

homogénéisé. On pourra par exemple utiliser un mélangeur 3 du type mélangeur statique permettant un mélange en continu des fluides entrant dans le mélangeur. Ce type de mélangeur comprend généralement au moins un élément perturbateur, telle une plaque, une portion de tuyau, un insert, apte à perturber l'écoulement des fluides, 5 générer des pertes de charges et/ou des turbulences pour favoriser le mélange des fluides et son homogénéisation.

Un mélange des premier et deuxième gaz est donc produit à la sortie 33 du dispositif mélangeur 3 avec un débit de production DP. Les débits D1 et D2 sont conditionnés par le débit DP et par les teneurs C1, C2 souhaitées en premier et deuxième gaz.

10 Un problème qui se pose concerne la distribution d'un mélange de gaz vers une unité consommatrice 10 dont la demande en mélange de gaz est fluctuante. Il s'ensuit que le débit d'acheminement du mélange de gaz vers le point 10 va varier.

Afin d'adapter le débit de mélange de gaz produit en sortie du dispositif mélangeur au débit de gaz consommé, la présente invention propose de relier la sortie 33 du 15 mélangeur 3 à l'entrée d'un réservoir tampon 7 par une canalisation 23. Une ligne de distribution 6 est reliée fluidiquement à une sortie du réservoir tampon 7 et permet, en fonctionnement, de distribuer le mélange de gaz vers l'unité consommatrice 10.

Notons que l'installation peut comprendre une ligne de mise à l'air 25 reliée fluidiquement au réservoir tampon 7 avec un évent 15 associé à une soupape, utile en 20 cas de surpression, et à une vanne contrôlant le passage du mélange vers une unité de traitement de gaz. La vanne permet, au cours des phases de démarrage de la distribution à l'unité consommatrice, de purger les canalisations de l'installation et le réservoir tampon 7.

La distribution du mélange de gaz à l'unité consommatrice 10 a donc lieu à partir du 25 réservoir tampon 7 avec un débit de consommation DC correspondant à la consommation en mélange de l'unité consommatrice 10. Si le débit DC varie au cours du fonctionnement de l'installation de distribution, le débit de production DP en amont du réservoir tampon 7 peut ne plus correspondre à la demande en mélange. Le réservoir tampon 7, grâce au volume supplémentaire qu'il procure sur le circuit de 30 fluide, permet d'assurer une distribution au débit DC même s'il ne correspond pas au débit DP. En particulier, si DP est supérieur à DC, le réservoir 7 évite que le mélange de gaz ne soit forcé vers la ligne de distribution et absorbe ainsi la surproduction. Et si

DP est inférieur à DC, le réservoir tampon 7 forme une réserve de mélange dans laquelle l'utilisateur peut puiser, par exemple lorsqu'une consommation débute trop rapidement avec un débit de consommation élevé, ce qui permet d'assurer la distribution au débit DC même en situation de sous-production.

- 5 En outre, l'installation comprend un capteur de mesure 8 qui mesure une grandeur physique dont la variation est représentative d'une variation du débit de consommation DC s'écoulant dans la ligne de distribution 6 et fournit un premier signal de mesure correspondant à l'unité de commande 5. En particulier, le premier signal de mesure peut comprendre plusieurs mesures successives réalisées par le capteur 8. L'unité 5
- 10 le reçoit et élabore un premier signal de commande qui est transmis aux organes régulateurs de débit 41, 42 de façon à ajuster la première consigne de débit D1 et la deuxième consigne de débit D2 conformément au premier signal de commande.

- La présente invention permet ainsi de recalculer les consignes de débit D1, D2 paramétrées initialement pour les adapter à une variation du débit de consommation
- 15 DC et donc à la demande de l'utilisateur. Le dispositif mélangeur 3 produit un débit de mélange dont le contrôle est associé au débit consommé.

Notons qu'en parallèle, l'unité de commande 5 continue de contrôler les ratios D1/DP et D2/DP de manière à ce qu'ils soient conformes aux teneurs en premier gaz et deuxième gaz souhaitées pour le mélange de gaz.

- 20 Le procédé selon l'invention met avantageusement en œuvre une phase dite de démarrage lors du début d'une consommation de mélange par l'unité consommatrice, alors qu'aucune consommation n'était détectée avant. Pendant cette phase de démarrage, on passe d'un débit de production DP nul à une production d'un mélange des premier et deuxième gaz avec un débit de production DP prédéterminé.
- 25 En pratique, en phase de démarrage, l'utilisateur peut démarrer la production de mélange de gaz avec un débit DP prédéterminé qui peut être fixé à une valeur minimale dite de démarrage correspondant à un pourcentage prédéterminé du débit de production maximal pouvant être produit. Ce débit de production maximal correspond à la somme d'une première valeur maximale de débit et d'une deuxième
- 30 valeur maximale de débit que les premier et deuxième organes régulateurs 41, 42 sont conçus pour distribuer. Avantageusement, le pourcentage prédéterminé est d'au moins 25%, de préférence au moins 35 % et de préférence encore au moins 50% du

débit de production maximal. Cela permet d'utiliser le capteur qui mesure le débit dans les régulateurs de débit D1, D2 dans sa plage de fonctionnement optimale et la plus précise.

Notons qu'avant de distribuer le mélange à l'unité consommatrice 10, le mélange de gaz produit peut être distribué à l'évent 15, dans le cas notamment où la composition du mélange ne serait pas conforme à la composition cible.

L'utilisateur peut éventuellement dans un premier temps paramétrer un débit de production plus élevé que le débit de consommation DC attendu afin de remplir le réservoir tampon 7 et y constituer une réserve de mélange.

Après la phase de démarrage de la consommation, suit une phase de régulation de la production au cours de laquelle le débit de production DP est ajusté en fonction du débit de consommation DC. Au cours de la phase de régulation, l'unité de commande 5 surveille le débit de consommation DC via les mesures reçues du capteur de mesure 8. Si une modification du débit de consommation DC est détectée, l'unité de commande 5 élabore un premier signal de commande pour adapter les débits D1, D2 distribués en amont du mélangeur afin d'amener le débit DP en adéquation avec le débit DC modifié.

De préférence, le capteur de mesure 8 réalise des mesures en continu ou quasi-continu. De préférence, l'unité de commande 5 est configurée de sorte que l'élaboration du premier signal de commande et/ou la transmission du premier signal de commande aux organes régulateurs de débit n'a lieu qu'à un intervalle de temps prédéterminé, en particulier un intervalle de l'ordre de l'ordre de 1 à 60 secondes. Dit autrement, les consignes de débit sont maintenues pendant cet intervalle de temps, sans qu'un ajustement des consignes ne soit commandé par l'unité de commande 5. Cela permet d'éviter une réaction de l'installation suite à des fluctuations intempestives du débit DC ou bien d'éviter de générer des variations trop rapides du débit DP qui pourraient donner lieu à des erreurs de fonctionnement.

Eventuellement, selon l'amplitude et/ou la vitesse de variation du débit DC, l'unité de commande 5 peut être configurée pour, au moins temporairement, maintenir le débit de production DP. Par exemple, si le débit de consommation DC augmente, l'unité consommatrice connectée à l'unité consommatrice 10 peut puiser dans le réservoir tampon 7 pour palier la sous production du mélangeur 3. Si le débit de consommation

DC diminue, le réservoir tampon 7 peut se remplir pour amortir la surproduction du mélangeur 3.

De préférence, l'unité de commande 5 est configurée de façon à arrêter les flux de gaz lorsque la grandeur physique mesurée par le capteur 8 est représentative d'un débit de consommation DC nul. Ainsi, en l'absence de demande, l'installation ne produit pas de mélange de gaz. L'unité de commande 5 peut aussi être configurée pour arrêter les flux de gaz si la grandeur physique mesurée par le capteur 8 est représentative d'un débit de consommation DC est faible, i. e. inférieur à un seuil de débit bas donné, afin d'éviter une surpression dans le réservoir tampon 7. L'unité de commande 5 peut aussi être configurée pour générer un signal d'alarme lorsque la grandeur physique mesurée par le capteur 8 est représentative d'un débit de consommation DC supérieur à un seuil de débit haut donné.

Avantageusement, l'installation selon l'invention met en œuvre une première boucle d'asservissement des première et deuxième consignes de débit D1, D2 sur le premier signal de mesure. Par « boucle d'asservissement » on entend généralement un système de contrôle d'un procédé dans lequel une grandeur réglante agit sur une grandeur réglée, i. e. une grandeur à asservir, pour l'amener le plus rapidement possible à une valeur de consigne et l'y maintenir. Le principe de base d'un asservissement est de mesurer, en permanence, l'écart entre la valeur réelle de la grandeur à asservir et la valeur de consigne que l'on désire atteindre, et de calculer la commande appropriée à appliquer à un ou plusieurs actionneurs de façon à réduire cet écart le plus rapidement possible. On parle également de système commandé en boucle fermée.

Dans la première boucle d'asservissement, la grandeur réglante est la grandeur physique mesurée par le capteur de mesure 8, la grandeur réglée est le débit de production DP, via le réglage des débits D1 et D2 de premier et deuxième gaz. La consigne est variable selon les conditions de consommation du mélange.

Outre le capteur 8, la première boucle d'asservissement comprend un premier comparateur 11A agencé au sein de l'unité de commande 5 et configuré pour élaborer au moins un premier signal d'erreur à partir du premier signal de mesure. Le premier signal d'erreur peut être représentatif d'une variation de la grandeur physique mesurée.

Il est avantageusement obtenu par comparaison avec au moins une mesure de ladite grandeur physique effectuée à un autre instant.

De plus, la première boucle comprend un premier correcteur 12A agencé au sein de l'unité de commande 5 et configuré pour élaborer le premier signal de commande à partir du premier signal d'erreur.

Le premier correcteur 12A envoie le signal de commande à des actionneurs qui commandent un déplacement, en réponse au premier signal de commande, des premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 dans des positions respectives dans lesquelles la première consigne de débit D1 et la deuxième consigne de débit D2 sont ajustées conformément au premier signal de commande. Typiquement, les actionneurs commandent le déplacement de parties mobiles au sein des organes régulateurs, lesquelles font varier les débits D1, D2 envoyés au dispositif mélangeur 3 dans un sens tendant à réduire l'écart entre les débits DP et DC.

De préférence, le premier correcteur 12A est du type proportionnel, intégral et dérivé (PID), ce qui permet d'améliorer les performances d'un asservissement grâce à trois actions combinées : une action proportionnelle, une action intégrale, une action dérivée.

De préférence, et comme évoqué précédemment, l'action correctrice de la première boucle d'asservissement n'est appliquée aux consignes D1, D2 qu'à un intervalle de temps prédéterminé, de préférence un intervalle compris entre 1 et 60 s, de préférence encore de l'ordre de 20 s, afin d'éviter des variations trop rapides du débit de production qui peuvent créer des erreurs. Cet intervalle de temps peut être un paramètre du premier correcteur 12A.

Le premier correcteur 12A peut comporter notamment un microprocesseur, des registres de mémoire, des instructions de programmation pour traiter le premier signal d'erreur et élaborer par calcul numérique les termes proportionnel, intégral, et dérivé de la boucle d'asservissement. Ces termes, qui peuvent être déterminés par calcul et/ou expérimentalement, sont combinés pour fournir le signal de commande des organes régulateurs 41, 42. Le terme dérivé du D peut éventuellement être nul.

La figure 1 illustre un mode de réalisation dans lequel le signal de mesure est obtenu par un capteur de débit 8, également appelé débitmètre, agencé sur la ligne de distribution 6 de façon à mesurer directement le débit de consommation DC distribué

à l'unité consommatrice 10. Les signaux reçus et envoyés aux différents éléments de l'installation sont schématisés par les lignes en tirets référencées « A ».

Typiquement, si le débit DC augmente, le signal de commande ordonne une augmentation des première et deuxième consignes de débits D1, D2 et une diminution
5 des première et deuxième consignes de débits D1, D2 si le débit DC diminue.

Notons que dans le cadre de l'invention, chacun des premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 peut se déplacer entre une position fermée dans laquelle la première consigne de débit D1 ou la deuxième consigne de débit D2 est nulle et une position totalement ouverte dans laquelle la première consigne de débit D1 ou la
10 deuxième consigne de débit D2 présentent respectivement une première valeur maximale de débit ou une deuxième valeur maximale de débit.

Les premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 peuvent éventuellement occuper au moins une position intermédiaire entre la position fermée et la position ouverte. De préférence, ladite position intermédiaire correspondant à une première
15 consigne de débit D1 ou une deuxième consigne de débit D2 supérieure ou égale à une première valeur minimale de débit ou une deuxième valeur minimale de débit. De préférence, la première valeur minimale de débit et/ou la deuxième valeur minimale de débit est égale à au moins 25%, de préférence encore au moins 35%, voire au moins 50%, de la première ou deuxième valeur maximale respective. Cela permet de
20 travailler sur des plages de débit où la précision des organes régulateurs 41, 42, plus précisément la précision des capteurs de débit mis en œuvre dans les organes régulateurs, est meilleure.

Selon une variante de réalisation, l'installation met en œuvre un capteur de pression 8 mesurant la pression régnant dans le réservoir tampon 7 en tant que grandeur
25 physique représentative du débit de consommation DC. Les fluctuations de débit de consommation DC sont ainsi déterminées de façon indirecte, via la détermination de fluctuations de pression dans le réservoir tampon 7. La représentation de la figure 1 reste applicable hormis que le signal de mesure est produit par le capteur 8 relié au réservoir tampon et non par le capteur 8 relié à la ligne 6.

30 Notons que l'installation selon l'invention peut comprendre deux capteurs 8, l'un de débit et l'autre de pression. Ces capteurs sont tels que décrits précédemment et produisent chacun un premier signal de mesure respectif. En fonction de critères de

choix prédéterminés, l'unité de commande 5 est configurée pour élaborer le premier signal de commande à partir du signal de mesure provenant de l'un ou l'autre des capteurs 8. De préférence, l'unité de commande 5 choisit d'utiliser le premier signal de mesure provenant de celui des deux capteurs de mesure 8 qui mesure une valeur de grandeur physique représentative du débit le plus élevé.

En pratique, si le débit DC augmente à l'unité consommatrice 10, le débit de production DP produit en sortie du dispositif mélangeur 3 va commencer à devenir insuffisant. L'installation consommatrice connectée à l'unité consommatrice 10 va puiser dans le réservoir tampon 7 pour compenser la sous-production du mélangeur 3, entraînant une diminution de la pression dans le réservoir 7.

Le capteur de pression 8 envoie le premier signal de mesure au premier comparateur 11A qui élabore un premier signal d'erreur correspondant à l'information de baisse de pression et le transmet au premier correcteur 12A pour qu'il calcule un premier signal de commande appliqué aux premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 de sorte que les première et deuxième consignes de débits D1, D2 augmentent d'un facteur approprié, qui peut être déterminé par la première boucle de régulation.

Selon une possibilité de réalisation, le premier comparateur 11A est configuré pour élaborer au moins un premier signal d'erreur à partir d'une comparaison du premier signal de mesure avec au moins un paramètre choisi parmi : un seuil de pression bas, un seuil de pression haut. Ces seuils peuvent être ajustés en fonction des conditions opératoires, des caractéristiques de l'installation, ... Lorsque la pression dans le réservoir tampon 7 atteint le seuil de pression bas, le premier correcteur commande aux organes régulateurs de débit de réguler l'écoulement des premier et deuxième gaz selon des consignes de débit D1, D2 données.

Ce mode de fonctionnement peut être mis en œuvre pendant les phases de régulation ainsi que pendant les phases de démarrage de la consommation. Dans le cas d'une phase de démarrage, dès que la pression dans le réservoir tampon 7 atteint le seuil de pression bas, on commande aux organes régulateurs de débit de réguler l'écoulement des premier et deuxième gaz de manière à produire le mélange de gaz avec le débit DP fixé à la valeur de démarrage. En particulier, les consignes de débit D1, D2 peuvent correspondre respectivement à la première valeur minimale de débit et à la deuxième valeur minimale de débit. Les organes régulateurs de débit 41, 42

commencent à produire chacun des débits minimaux conduisant à un débit DP égal à la valeur de démarrage jusqu'à atteindre le seuil de pression haut dans la réservoir tampon 7.

5 Selon une possibilité, si la pression dans le réservoir 7 n'augmente pas suffisamment, en particulier si le seuil de pression haut n'est pas atteint, ou si la pression n'augmente pas assez rapidement, les consignes de débit D1, D2 sont augmentées en suivant un schéma de régulation par le premier correcteur 12A, de préférence de type PID, dans lequel l'augmentation des débits est fonction de la baisse de la pression.

10 Si la pression dans le réservoir 7 atteint le seuil de pression haut, les organes régulateurs de débit 41, 42 peuvent être déplacés vers leur positions fermées respectives dans lesquelles les débits D1, D2 sont nuls.

La figure 2 schématise un exemple de l'effet d'une première boucle d'asservissement avec un premier correcteur de type PID dans lequel le débit de production DP, correspondant à la somme de D1 et D2, est corrigé en fonction de la variation de la pression P_7 dans le réservoir tampon 7. Le débit de production DP maximal de l'installation, correspondant à la somme des première et deuxième valeurs maximales de débit, est paramétré à 100 sL/min (litre standard par minute), i.e. 6 Nm³/h (normo mètre cube par heure). Le débit de production DP minimal de l'installation, correspondant à la somme des première et deuxième valeurs minimales de débit, est paramétré à 25 sL/min (litre standard par minute), i.e. 1,5 Nm³/h. Les seuils de pression haute et basse sont paramétrés respectivement à 4 bar et 3,8 bar.

La figure 2 représente schématiquement différents cas de figures qui peuvent être rencontrés lors du fonctionnement de l'installation. Si $DP=DC$, la pression reste stable à 4 bar (flèche grise en bas à droite de la figure 2). Par la suite, en supposant que $DC > 0$ mais $DP=0$, la pression dans le réservoir tampon va baisser jusqu'à 3,8 bar (déplacement vers la gauche le long de la flèche grise). Cette pression est la pression de démarrage des régulateurs de débit. Le débit DP est à sa valeur minimale de démarrage, i. e. 25 sL/min. Dès que l'unité de commande a commandé les régulateurs de débit pour produire un débit $DP < DC$, la pression va baisser jusqu'à ce qu'on atteigne un débit DC égal au débit DP maximal de l'installation, i. e. 100 sL/min (déplacement du bas vers le haut le long des flèches grises). Dès que DC diminue, c'est-à-dire $DP > DC$, le réservoir tampon commence à se remplir et la pression

augmente de 3,5 bar à 4 bar (en suivant les flèches avec traits noirs). 4 bar est la pression d'arrêt de remplissage du réservoir tampon.

Un exemple de ce qui se passe en pratique est représenté en figure 3 montrant l'évolution temporelle de la pression régnant dans le réservoir tampon (courbe en tirets) et du débit de production DP (courbe en trait plein). Au début du graphique (zone A) s'il n'y a pas de baisse de la pression, la consigne de débit reste à 0. Dès que la pression baisse (zone B), on donne des consignes de débit aux régulateurs de débit D1 et D2, qui sont incrémentés à un intervalle régulier si la pression ne se stabilise pas. Dès que la pression est stabilisée, on arrête de remplir le réservoir tampon (zone C). Si la pression chute de nouveau (zone D), les consignes des régulateurs de débit seront ajustées aux valeurs souhaitées afin de permettre de prévoir la consommation DC et maintenir la pression du réservoir tampon stable.

A noter que le normo mètre cube est une unité de mesure de quantité de gaz qui correspond au contenu d'un volume d'un mètre cube, pour un gaz se trouvant dans les conditions normales de température et de pression (0 ou 15 ou plus rarement 20°C selon les référentiels et 1 atm, soit 101 325 Pa). Pour un gaz pur, un normo mètre cube correspond à environ 44,6 moles de gaz.

Notons que le réservoir tampon présente avantageusement un volume interne égal à au moins la moitié du débit de production DP maximal DP de l'installation.

$$\text{Volume tampon minimal} = \frac{DP_{\max}}{2}$$

Le respect de ce volume interne minimal permet d'absorber les variations de pression liées au caractère intempestif de DC. Le réservoir tampon peut présenter un volume interne d'au moins 1 L, voire au moins 50 L, voire encore 1000 L ou plus. De préférence, le volume interne du réservoir tampon sera compris entre 50 et 400 L. Le réservoir peut être formé d'un réservoir unique ou de plusieurs réservoirs reliés fluidiquement entre eux, le volume interne du réservoir tampon s'entendant alors de la somme des volumes des réservoirs.

Comme on le voit sur la figure 1, l'installation peut comprendre en outre une première unité d'analyse 13 configurée pour analyser au moins une teneur en le premier gaz et/ou le deuxième gaz du mélange de gaz distribué par la ligne d'alimentation 6. Cela permet notamment, au cours de la phase de démarrage de l'installation, de

conditionner la distribution du mélange de gaz à la conformité des teneurs mesurées avec les teneurs cibles. Une tolérance de l'ordre de 0,1 à 5% (% relatif) par rapport aux teneurs cibles C1, C2 peut être fixée. Si le mélange produit n'est pas conforme, la production peut éventuellement être stoppée. De préférence, la première unité d'analyse 13 est configurée pour analyser la teneur en premier gaz, qui peut être en particulier le gaz minoritaire dans le mélange de gaz. En outre, l'installation selon l'invention peut comprendre une deuxième unité d'analyse 14 agencée en amont du réservoir tampon 7 de façon à mesurer au moins une teneur en le premier gaz et/ou le deuxième gaz du mélange de gaz produit par le dispositif mélangeur 3. La deuxième unité d'analyse 14 est configurée pour fournir en conséquence au moins un deuxième signal de mesure à destination de l'unité de commande 5, laquelle élabore un deuxième signal de commande à partir du deuxième signal de mesure. Le deuxième signal de commande est utilisé pour commander l'un et/ou l'autre des organes régulateurs de débit 41, 42 de façon à ajuster l'une et/ou l'autre des proportions de la première consigne de débit D1 et de la deuxième consigne de débit D2 par rapport au débit de production DP de sorte que la composition effective du mélange de gaz sortant du dispositif mélangeur 3 se rapproche de la composition cible à teneurs C1, C2 (C2 étant de préférence déduit de C1 et non mesurée). Les signaux reçus et envoyés aux différents éléments de l'installation dans le cadre du contrôle de la composition du mélange sont schématisés par les lignes en tirets « B ».

Ce contrôle des teneurs du mélange produit par le dispositif mélangeur permet de compenser d'éventuelles erreurs entre les débits effectivement réglés par les organes régulateurs de débit 41, 42 et les consignes de débit D1, D2 qui leur sont appliquées. L'agencement d'un point de prélèvement situé entre la sortie du dispositif mélangeur et l'entrée du réservoir tampon 7 permet de détecter et de réagir plus rapidement à d'éventuelles variations de teneurs, évitant ainsi le risque de consommer un mélange non conforme dans le réservoir tampon 7.

Notons que la canalisation prélevant le mélange et le conduisant dans l'unité d'analyse a avantageusement une longueur la plus faible possible afin que l'analyseur fournisse une réponse très précise en temps réel ou quasi-réel. De préférence, la canalisation est telle que le décalage entre le moment où le mélange est prélevé en son point de prélèvement et le moment où l'unité d'analyse donne sa mesure est minimal, typiquement inférieur à 30 secondes, en particulier compris entre 1 et 30 secondes.

De préférence, le deuxième signal de commande est élaboré à partir d'un deuxième signal d'erreur contenant au moins une information sur l'écart entre une teneur mesurée et une teneur cible, pour le premier gaz ou le deuxième gaz. De préférence, seule la teneur en le premier gaz est mesurée et comparée à sa valeur cible, le premier
 5 gaz étant le gaz minoritaire du mélange. Cet écart peut être notamment exprimé comme :

$$\Delta C_1 = \frac{M_1 - C_1}{C_1}$$

où M_1 est la teneur mesurée pour le premier gaz. L'écart relatif ΔC_1 peut être utilisé comme facteur de correction de la première consigne de débit D_1 .

10 Considérons l'exemple d'une installation configurée pour produire un mélange à deux gaz avec un débit de production DP en sortie du dispositif mélangeur 3 de 100 sL/min. Le mélange de gaz souhaité est un mélange formé du premier gaz avec une teneur cible C_1 de 4% et du deuxième gaz pour le reste, donc avec une teneur C_2 de 96% (% volumique). Une première consigne de débit D_1 de 4 sL/min (0,24 Nm³/h),
 15 correspondant à une proportion de 4% par rapport à DP , et une deuxième consigne D_2 de 96 sL/min (5,76 Nm³/h), correspondant à une proportion de 96% par rapport à DP , sont donc appliquées aux organes régulateurs de débit 41, 42 respectifs. On suppose une précision de réglage des organes 41, 42 de plus ou moins 1%. Prenons l'exemple d'une erreur de -1% sur D_1 et de +1% sur D_2 . Cela conduit à un débit réel
 20 de premier gaz égal à 3,96 sL/min, à un débit réel de deuxième gaz égal à 96,96 sL/min et à un débit de production réel de 100,92 sL/min. Une teneur en premier gaz de 3,92% est mesurée en sortie du dispositif mélangeur 3, correspondant à un écart ΔC_1 de -2% (% relatif) par rapport à la teneur cible C_1 . L'unité de commande 5 élabore un deuxième signal de commande commandant aux organes régulateurs de débit 41,
 25 42 un ajustement des proportions de débit D_1 et D_2 par rapport à DP de façon à compenser cet écart. La première consigne D_1 est donc ajustée à $D_1+2\%$, soit 4,08 sL/min.

De préférence, seule la première consigne D_1 est ajustée en fonction du deuxième signal de mesure, l'unité de commande 5 commandant le maintien de D_2 . Etant
 30 entendu qu'il est envisageable que D_2 aussi soit ajusté en réponse au deuxième signal de commande. Dans l'exemple ci-dessus, D_2 serait ajusté à 95,04 sL/min. Notons que la correction peut également être opérée via l'application d'un facteur de correction à

au moins une des teneurs cible enregistrée préalablement dans l'unité de commande 5, dans l'exemple ci-dessus une correction d'un facteur égal à 0,03, ce qui a pour effet d'ajuster en conséquence D1 à 4,08 sL/min.

Optionnellement, l'installation peut comprendre une alarme configurée pour émettre un signal d'alarme si la première unité d'analyse et/ou la deuxième unité d'analyse 5 détecte des teneurs en dehors des plages de tolérance prévues.

La première unité d'analyse 13 et/ou la deuxième unité d'analyse 14 peuvent être choisies notamment parmi les types de détecteurs suivants : un détecteur de conductivité thermique, un détecteur de pression alternante paramagnétique, un 10 détecteur à adsorption catalytique, un détecteur à absorption dans l'infrarouge non dispersive, un spectromètre infrarouge. On pourra adapter le type d'unité d'analyse selon la nature des gaz à analyser. On pourra éventuellement intervertir les première 13 et deuxième 14 unités d'analyses. De préférence, les première 13 et deuxième 14 unités d'analyses sont reliées à l'évent 15 de façon à y évacuer le mélange de gaz analysé.

Selon un mode de réalisation, l'installation peut comprendre une deuxième boucle d'asservissement des proportions respectives de la première consigne de débit D1 et/ou de la deuxième consigne de débit D2 par rapport au débit de production DP sur le deuxième signal de mesure fourni par la deuxième unité d'analyse 14.

20 Dans la deuxième boucle d'asservissement, les grandeurs réglantes sont la ou les teneurs mesurées par la deuxième unité d'analyse 14, les grandeurs réglées sont l'une et/ou l'autre des proportions D1/DP, D2/DP. La consigne est variable selon la ou les teneurs effectives mesurées.

La deuxième boucle comprend un deuxième comparateur 11B agencé au sein de 25 l'unité de commande 5 et configuré pour élaborer au moins un deuxième signal d'erreur à partir d'une comparaison du deuxième signal de mesure avec au moins un paramètre choisi parmi : la teneur cible C1 en le premier gaz, la teneur cible C2 en le deuxième gaz. Un deuxième correcteur 12B est agencé au sein de l'unité de commande 5, en particulier du type PID, et configuré pour élaborer le deuxième signal 30 de commande à partir du deuxième signal d'erreur. En réponse au deuxième signal de commande, les actionneurs des premier et deuxième organes régulateurs de débit 41, 42 commandent le déplacement des premier et deuxième organes régulateurs de

débit 41, 42 dans des positions respectives dans lesquelles les proportions de D1 et/ou D2 par rapport à DP sont conformes au deuxième signal de commande. De préférence, seule la proportion de D1 est ajustée, la boucle de régulation ordonnant à D2 de rester fixe.

- 5 Notons que le premier comparateur et le deuxième comparateur peuvent éventuellement former une même entité configurée pour recevoir en données d'entrée à la fois les mesures du capteur 8, de la deuxième unité d'analyse 14 et produire en sortie les signaux d'erreur appropriés. Il en est de même pour les premier et deuxième correcteurs.
- 10 L'installation selon l'invention peut servir à la distribution de mélanges de gaz utilisés dans différentes industries telles que les industries du semi-conducteur, du photovoltaïque, des LED, des écrans plats ou toute autre industrie comme les industries minières, pharmaceutiques, spatiales ou aéronautiques.

- De préférence, l'installation comprend au moins une armoire à gaz (en anglais « gas cabinet ») dans laquelle sont installés au moins l'unité de commande 5, le dispositif mélangeur 3, les organes régulateurs de débit, le capteur de mesure 8, le réservoir tampon 7. Les sources de premier et deuxième gaz peuvent être situées dans ou en-
- 15 dehors de l'armoire. De préférence, les sources sont situées en-dehors de l'armoire afin que celle-ci conserve un encombrement raisonnable. De préférence, l'unité de
- 20 commande 5 est agencée à l'extérieur de l'armoire, soit en étant fixée sur une des parois de l'armoire, soit positionnée à distance de l'armoire.

- L'armoire à gaz peut comprendre un logement avec un mur arrière, des flancs, une paroi avant, un fond, et un plafond. Dans le logement, un ou plusieurs réservoirs tampons sont prévus qui se dressent sur le fond et peuvent être fixées dans le
- 25 logement de manière connue dans l'état de la technique. Un système de conduites de gaz est arrangé dans ledit logement, de préférence contre le fond de l'armoire. L'armoire peut comprendre des moyens de contrôle et/ou de maintenance du système de conduites de gaz tels que des vannes, des détendeurs, des organes de mesure de pression,... permettant de réaliser les opérations telles que la distribution de gaz,
- 30 l'ouverture ou la fermeture de certaines conduites ou portions de conduites, la gestion de la pression de gaz, la réalisation de cycles de purge, de tests de fuite,...

Le logement comprend des ouvertures d'entrée de gaz pour une alimentation avec les premier et deuxième gaz et une ouverture de sortie de gaz pour la distribution du mélange de gaz. La ligne de distribution 6 est reliée à l'ouverture de sortie. En fonctionnement, l'armoire à gaz est raccordée à l'unité de consommation par la ligne
5 de distribution 6. D'autres entrées de gaz peuvent être prévues, notamment pour un gaz de balayage ou un gaz étalon pour la calibration des analyseurs.

L'installation selon l'invention peut notamment être utilisée pour produire des mélanges de gaz ayant les compositions suivantes :

- hydrogène (H_2) dans un gaz inerte tel l'azote (N_2), l'argon ou l'hélium,
- 10 - hélium dans un gaz inerte tel l'azote ou l'argon,
- dioxyde de carbone (CO_2) dans un gaz inerte tel l'azote, l'argon ou l'hélium,
- méthane (CH_4) dans un gaz inerte tel l'azote, l'argon ou l'hélium,
- oxygène (O_2) dans un gaz inerte tel l'azote, l'argon ou l'hélium.

De préférence, les teneurs cibles C1 en le premier gaz, en particulier les teneurs cible
15 en H_2 , hélium, CO_2 , CH_4 , O_2 , sont comprises entre 0,0001 et 50%, de préférence entre 0,1 et 20%, le reste étant le deuxième gaz.

Afin de démontrer l'efficacité d'une installation selon l'invention, on a procédé à la réalisation et la distribution sur site d'un mélange comprenant de l'hydrogène en tant que premier gaz dans de l'azote en tant que deuxième gaz. La teneur cible C1 en
20 hydrogène était de 4% (% en volume). L'installation comprenait une première boucle d'asservissement de type PID telle que décrite ci-dessus et éventuellement, selon les exigences de précision nécessitées par l'unité consommatrice, une deuxième boucle d'asservissement.

La figure 4 montre un enregistrement du débit de mélange de gaz DC distribué par la
25 ligne de distribution d'une installation comprenant une deuxième boucle d'asservissement avec la teneur en hydrogène mesurées pendant cet enregistrement. La figure 5 est un agrandissement de l'enregistrement de la teneur de la figure 4.

Un débit de mélange de gaz DC variable entre typiquement 0 et 150 sL/min a pu être produit avec une stabilité de la teneur se caractérisant par un écart-type relatif
30 (Relative Standard Deviation en anglais) de l'ordre de 3% sans deuxième boucle d'asservissement et de l'ordre de 1% avec deuxième boucle d'asservissement.

Il est à noter que la présente description décrit un mélange de gaz à deux constituants mais qu'elle est transposable à tout mélange ayant un plus grand nombre de constituants. Par exemple, dans le cas d'un mélange de gaz ternaire, trois sources distribuent chacune un premier gaz, un deuxième gaz, un troisième gaz. Des organes

5 régulateurs de débit 41, 42, 43 reçoivent pour consigne de l'unité de commande 5 de réguler l'écoulement des premier, deuxième gaz et troisième gaz à des consignes de débit respectives D1, D2, D3. Le dispositif mélangeur est configuré pour distribuer un mélange de débit DP égal à la somme de D1, D2, D3. Les proportions de premier, deuxième gaz et troisième gaz par rapport à DP sont déterminées en fonction d'au

10 moins deux parmi trois teneurs cibles C1, C2, C3 du mélange de gaz en le premier gaz, le deuxième gaz et le troisième gaz respectivement. Tout ou partie des caractéristiques déjà décrites pour un mélange à deux gaz sont transposables à ce mélange à trois ou plus gaz.