

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 010 481**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **13 02124**

⑤1 Int Cl⁸ : **F 17 C 5/00** (2013.01), F 17 C 7/00, F 17 D 5/02,
G 01 L 19/00, G 05 D 7/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 PROCÉDE DE CALCUL DE LA PRESSION STATIQUE LORS DU TRANSFERT D'UN GAZ
ENTRE UNE SOURCE DE PRESSION OU DE DEPRESSION ET AU MOINS UN RESERVOIR.

②2 Date de dépôt : 12.09.13.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 13.03.15 Bulletin 15/11.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 30.06.23 Bulletin 23/26.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *PLC & PROCESS Société à
responsabilité limitée — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : EGEA REMY.

⑦3 Titulaire(s) : *PLC & PROCESS Société à
responsabilité limitée.*

⑦4 Mandataire(s) : ABSAROKA.

FR 3 010 481 - B1



PROCEDE DE CALCUL DE LA PRESSION STATIQUE LORS DU TRANSFERT D'UN
GAZ ENTRE UNE SOURCE DE PRESSION OU DE DEPRESSION ET AU MOINS UN
RESERVOIR

5 La présente invention concerne un procédé de calcul de la pression statique lors du transfert d'un gaz entre une source de pression ou de dépression et au moins un réservoir.

Ici, le terme gaz doit être compris comme désignant autant un gaz mono-composant qu'un mélange de gaz.

10 Le terme réservoir désigne tout récipient, de formes et/ou de dimensions variées, adapté pour contenir un gaz. En d'autres termes, il peut s'agir d'un réservoir, d'une bouteille, d'une bonbonne ou autre. Afin de faciliter la lecture, il sera essentiellement fait référence par la suite à des réservoirs.

L'expression « source de pression ou de dépression » doit être comprise comme
15 désignant, par exemple, une pompe cryogénique associée à un réchauffeur ou, respectivement, une pompe à vide. Pour plus de lisibilité par la suite, l'invention sera décrite en référence au remplissage de réservoirs, c'est-à-dire avec une source de pression, étant entendu que l'invention s'applique également au vidage de réservoirs, à l'aide d'une source de dépression.

20 De tels réservoirs de gaz sont utilisés dans le domaine industriel, dans le domaine agro-alimentaire ou encore dans le domaine médical ou pharmaceutique. Le transfert, c'est-à-dire le remplissage en gaz des réservoirs, en vue d'une utilisation sur des sites distants de la zone de stockage des gaz est, généralement, réalisé à partir d'un réservoir de stockage de gaz sous forme liquide, dit réservoir cryogénique, pouvant
25 contenir plusieurs centaines de mètres cubes de gaz liquéfié. Le gaz sous forme liquide est amené, sous pression à l'aide d'une pompe cryogénique, à un réchauffeur. Une fois le gaz réchauffé, il est envoyé, dans les réservoirs à remplir. Ces derniers ont, en général, une contenance allant de quelques litres à plusieurs milliers de litres. Le remplissage simultané de plusieurs réservoirs est fréquemment réalisé dans des installations

comportant plusieurs lignes de remplissage. En général une installation comprend une à six lignes reliées à une ligne principale, dite ligne du skid, qui, elle, est reliée via la pompe cryogénique à la sortie du réservoir cryogénique.

Le remplissage des réservoirs, dont le volume n'est pas forcément identique, est, de manière connue, par exemple de US-A-5 810 058, effectué jusqu'à atteindre une pression en gaz donnée, cela à une température donnée qui correspond à une masse de gaz à introduire dans le réservoir. Cette pression de remplissage est, de facto, une pression de service correspondant aux caractéristiques techniques du réservoir, à l'utilisation et aux caractéristiques du gaz.

Il est courant de mesurer une pression sur la ligne du skid. Il s'agit donc d'une mesure d'une pression dynamique du fait que l'on mesure la pression d'un gaz en cours de transfert. Or, la pression de service que l'on souhaite atteindre, donc en fait une masse de gaz prédéterminée dans le ou les réservoir(s), est une pression statique, en l'espèce la pression finale du gaz dans chaque réservoir. Cette pression est différente de la pression dynamique du fait des pertes de charge dans le circuit dues, par exemple aux coudes du circuit et/ou aux variations de diamètres des tuyaux du circuit de remplissage. De ce fait, il est connu, lorsque la pression dynamique mesurée correspond à la pression statique globale à atteindre, donc à la pression de service dans les réservoirs, de fermer l'alimentation en gaz dans le circuit, d'effectuer une mesure de la pression statique dans les réservoirs, par exemple par lots de réservoirs, et, si besoin, de poursuivre le remplissage si la pression de service n'est pas atteinte. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que l'écart entre la pression dynamique mesurée et la pression statique contrôlée soit minimal et acceptable. Outre un temps de remplissage important, une telle procédure est contraignante et ne donne pas en continu la quantité de gaz présente dans chaque réservoir.

On connaît, pour optimiser la mesure de la quantité de gaz dans un réservoir, par FR-A-2 978 233, un procédé de remplissage dans lequel la quantité de gaz dans un réservoir est calculée à partir d'une détermination précise de la température. Une telle solution implique une mesure de température dans le réservoir.

Dans tous les cas, la pression statique, c'est-à-dire une caractéristique représentative de la quantité de gaz dans le réservoir, n'est pas connue en temps réel.

L'invention vise plus particulièrement à remédier à ces inconvénients en proposant un procédé permettant de connaître en temps réel et de manière précise la pression statique dans un ou plusieurs réservoir(s) lors d'un transfert de gaz.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de calcul de la pression statique lors du transfert d'un gaz entre une source de pression ou de dépression et au moins un réservoir, le transfert pouvant être réalisé dans les deux sens, caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :

- 10 - a) prendre en compte le volume unitaire du ou des réservoir(s),
- b) connaître les caractéristiques physiques du gaz transféré,
- c) déterminer les pertes de charge dans les tuyaux reliant le ou les réservoir(s) à la source de pression ou de dépression,
- d) définir une pression statique de consigne à atteindre dans le ou les
- 15 réservoir(s),
- e) mesurer une pression dynamique totale entre la source de pression ou de dépression et le ou les réservoir(s) lors du transfert du gaz,
- f) calculer, en tenant compte des valeurs obtenues aux étapes a) à e), une pression statique du gaz présent dans le ou les réservoir(s),
- 20 - g) arrêter le transfert du gaz lorsque la pression statique calculée correspond à la pression statique de consigne du ou des réservoir(s),
- h) effectuer un contrôle de la pression statique calculée du ou des réservoir(s), après équilibrage des pressions entre le ou les réservoir(s) et la source de pression ou de dépression,
- 25 - i) en déduire une quantité de gaz présente dans le ou les réservoir(s).

En effectuant un seul type de mesure sur l'installation, en l'espèce la mesure de la pression dynamique, tout en connaissant les caractéristiques du gaz, du ou des réservoir(s) et de l'installation, il est possible, par application de formules connues en soi et relatives au transfert des gaz, d'obtenir, par le calcul et en temps réel, la pression

statique et donc la quantité de gaz présent dans le ou les réservoir(s). On conçoit qu'avec une source de dépression, la quantité de gaz que l'on souhaite atteindre dans le ou les réservoir(s) est le plus possible voisine de zéro.

Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, un tel
5 procédé peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes:

- les étapes a) à d) sont effectuées dans un ordre différent.
- Après l'étape d) et avant l'étape e), on attend l'équilibrage des pressions.
- Lors de l'étape h), l'on compare la ou les pression(s) statique(s) calculée(s) avec une
10 pression statique mesurée entre la source de pression ou de dépression et le ou les réservoir(s).
- En cas d'écart entre les pressions statiques calculées et mesurée, une correction des pertes de charge déterminées à l'étape c) est effectuée lors d'une étape supplémentaire j).
- Si à l'issue de l'étape j), un écart persiste entre les pressions statiques calculées et la
15 pression statique mesurée, une information d'alerte est émise.

L'invention concerne également une installation de mise en œuvre d'un procédé conforme à l'une des caractéristiques précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins :

- un capteur de pression dynamique,
- 20 - un module de calcul,
- un module de commande.

Selon des aspects avantageux mais non obligatoires, une telle installation peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- Elle comprend un module d'affichage des données.
- 25 - Elle comprend un module d'alerte.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description d'un mode de réalisation de l'invention, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins suivants dans lesquels:

- La figure 1 est un schéma simplifié représentatif d'un mode de réalisation de l'invention.

La figure 1 illustre une installation de remplissage de réservoirs 1 comprenant six lignes de remplissage 2 à 7. Ici, il est fait référence à une installation 1 permettant le remplissage, simultanément, de plusieurs réservoirs 8 à 10 et R avec un gaz. La figure 1 illustre une configuration couramment rencontrée pour le remplissage en gaz industriel de réservoirs. Trois lignes de remplissage 2, 3, 4 sont dites unitaires, un seul réservoir 8, 9, 10 étant raccordé en sortie de chaque ligne de remplissage 2 à 4. Trois autres lignes de remplissage 5, 6, 7 sont dites multiples. Des groupes 11, 12, 13 de quatre ou six réservoirs R sont dans ce cas reliés, chacun, à la sortie d'une ligne de remplissage 5, 6 ou 7. Le raccordement des réservoirs R à la ligne de remplissage 5, 6 ou 7 est dans ce cas effectué à l'aide de lyres de remplissage 14, 15, 16, connues en soi. Pour faciliter la lecture, tous les réservoirs 8 à 10 et R de l'exemple sont identiques, donc de même volume. En variante, les réservoirs ont des volumes différents, pour autant que ces volumes sont connus ou aisément déterminables.

Un réservoir de stockage de gaz, sous forme liquide, ainsi qu'au moins une pompe cryogénique placée en sortie dudit réservoir, sont situés en tête d'une ligne de remplissage principale 19. Une source de pression est formée, ici, par une pompe cryogénique, schématisée sous la référence 17. Une telle pompe cryogénique 17 est toujours montée en aval d'un réservoir cryogénique, étant entendu que plusieurs pompes peuvent être montées en sortie d'un même réservoir. En d'autres termes, chaque réservoir cryogénique est associé à au moins une pompe cryogénique. Les réservoirs cryogéniques ont généralement un volume compris entre 1 m³ et 200 m³.

On conçoit aisément que lorsque la pression générée, par exemple, par une pompe à vide non représentée, est inférieure à celle des réservoirs 8 à 10, R, le transfert de gaz s'effectue depuis les réservoirs 8 à 10, R en direction de la pompe à vide, qui dans ce cas forme une source de dépression, et, éventuellement, d'un réservoir de stockage placé après la pompe à vide. De ce fait, l'invention est également applicable à la vidange d'au moins un réservoir 8 à 10, R. Pour mémoire, un tel vidage est réalisé, par exemple, préalablement au remplissage d'un réservoir 8 à 10, R avec un autre type de

gaz. Par la suite, l'invention sera décrite en référence à un transfert de gaz à partir d'une source de pression 17, c'est-à-dire en référence au remplissage des réservoirs 8 à 10, R.

Une vanne générale d'alimentation 18 permet de mettre en communication le réservoir de stockage et la pompe cryogénique 17 avec les lignes de remplissage 2 à 7.

5 En l'espèce, la vanne 18 est montée sur la ligne de remplissage principal 19, dite ligne de skid. Cette ligne principale 19 relie la vanne générale d'alimentation 18 à une zone de connexion 21 avec les lignes de remplissage secondaires 2 à 7. Cette zone de connexion 21, connue en soi, comprend, par exemple, des tuyaux et un volume commun entre des vannes, non illustrées. La zone de connexion 21 assure le passage du gaz
10 entre la ligne principale 19, comportant des tuyaux de diamètres généralement compris entre 2 mm et 60 mm et les six lignes secondaires 2 à 7, comprenant des tuyaux de diamètres voisins de 2 mm à 30 mm. Les tuyaux des lignes secondaires sont, fréquemment, d'un diamètre inférieur à celui des tuyaux de la ligne principale. En variante, ils sont de même diamètre, voire de diamètres plus grands.

15 La pompe cryogénique 17 et un réchauffeur, auquel elle est toujours associée, assurent, respectivement, le transfert et la vaporisation sous forme gazeuse du liquide provenant du réservoir cryogénique. Le transfert de gaz s'effectue entre la pompe 17 et la vanne 18 à partir de laquelle le gaz est introduit dans la ligne de skid 19. Ces divers éléments, connus en soi, ne sont pas illustrés pour plus de lisibilité.

20 En aval de la vanne 18, en considérant le sens du transfert décrit, à savoir le remplissage des réservoirs 8 à 10, R, un capteur de pression 20, connu en soi, assure une mesure en continue de la pression de gaz circulant dans la ligne de skid 19, c'est-à-dire une mesure de la pression dynamique totale Pdt de l'installation 1. En variante non illustrée, plusieurs capteurs de pression sont installés, sur une ou plusieurs
25 lignes de remplissage, ceci pour des raisons de sécurité. Ces capteurs sont généralement analogiques. En variante, ils sont numériques. Ici, le capteur 20 est un capteur analogique situé à proximité de la vanne 18. Il peut être situé à un autre endroit de la ligne 19, pour autant qu'il soit disposé en amont des réservoirs 8 à 10, R, selon le sens du transfert de gaz, par exemple au voisinage de la zone de jonction 21.

Les lignes de remplissage secondaires 2 à 7 comportent, chacune à leur extrémité libre, une vanne d'alimentation 22, avantageusement à commande manuelle. Ici, toutes les vannes 22 sont identiques. En variante, elles sont différentes et/ou à commande automatique. Un réservoir 8 à 10 ou une lyre d'alimentation 14 à 16 de groupes 11 à 13 de réservoirs R sont connectés à chaque vanne d'alimentation 22. Il est ainsi aisé d'utiliser une ou plusieurs lignes secondaires 2 à 7, selon les besoins en remplissage.

Une septième ligne 23 est schématisée à droite de la figure 1. Il s'agit d'une ligne d'attente, équipée également d'une vanne d'alimentation manuelle, non représentée. Cette ligne 23 peut être une ligne secondaire identique aux autres lignes secondaires 2 à 7 ou une ligne de liaison, dont les tuyaux ont un diamètre voisin de celui de la ligne principale 19, et qui est destinée à relier la ligne principale à une autre zone de connexion avec d'autres lignes secondaires. Lorsqu'elle n'est pas utilisée, la ligne 23 est obturée.

On conçoit que dans une telle installation, la perte de charge globale P_{cg} de l'installation 1 résulte de la mise en parallèle des pertes de charge unitaires P_{c2} à P_{c7} de chaque ligne secondaire 2 à 7 et de la perte de charge P_{c19} de la ligne principale 19, du fait de la configuration des différentes lignes secondaires 2 à 7 et des diamètres et longueurs des tuyaux constitutifs des différentes lignes secondaires 2 à 7 et principale 19.

L'installation comprend également un module de calcul relié au capteur de pression, un module de commande et, dans un autre mode de réalisation, un module d'affichage des données. En absence de module d'affichage, un automate programmable est intégré à l'installation. Ces modules, non illustrés et connus en soi, sont avantageusement placés au voisinage de l'installation. En d'autres termes, ils sont situés de manière à être aisément visibles et accessibles par un utilisateur, ce dernier étant généralement situé à proximité de l'installation.

On note qu'une telle installation 1 est similaire à une installation connue, cette dernière comprenant généralement au moins un capteur de pression sur une ligne de

remplissage principale, entre une pompe cryogénique et des réservoirs à remplir. Il est ainsi aisé d'équiper une installation existante afin de mettre en œuvre le procédé objet de l'invention. Pour cela le module de calcul doit être relié, d'une part, de manière filaire ou non, au capteur de pression et, d'autre part, au moins au module de commande,
5 également par une liaison filaire ou non.

Le procédé est maintenant décrit en référence à la figure 1, dans le cas du remplissage des réservoirs 8 à 10, R à partir de la pompe cryogénique 17.

Dans une première étape, il convient de connaître le volume de chaque réservoir 8 à 10, R connecté ou à connecter aux vannes 22 des lignes secondaires 2 à 7.
10 Ce volume est, par exemple, indiqué sur chaque réservoir. En variante, il est mesurable ou aisé à calculer à partir de la forme, généralement cylindrique à base circulaire, du réservoir. Il est à noter qu'il s'agit du volume total interne du réservoir et non d'un volume utile, c'est-à-dire un volume de remplissage, prédéfini, du réservoir avec un produit.

De même, pour chaque installation, les pertes de charges, tant de la ligne principale Pc19 que des lignes secondaires Pc2 à Pc7, matérialisées par des doubles
15 lignes à la figure 1, doivent être connues. Pour cela, soit elles sont mesurées préalablement par des techniques connues en soi, soit elles sont estimées par calcul, avantageusement par un calcul itératif : le coefficient de perte de charge est automatiquement ajusté entre deux séries de mesures.

Lors de ces étapes de collecte de données, les caractéristiques du ou des gaz à
20 introduire dans les réservoirs 8 à 10, R sont également collectées. Il s'agit, entre autres, de relever la masse volumique du gaz ou du mélange de gaz, ses températures de changement d'état.

De même, la température de service, c'est-à-dire la température à laquelle le
25 remplissage en gaz sera effectué doit être connue. De facto, il s'agit de la température atteinte dans chaque réservoir lorsque une pression statique du gaz, dite pression de consigne Psc, dans chaque réservoir est atteinte. Il est à noter que, dans l'exemple, la pression statique de consigne Psc est identique pour chaque réservoir 8 à 10, R. Dans

d'autres modes de réalisation non illustrés, la pression de consigne varie entre les réservoirs.

Une sonde de température peut être prévue sur chaque réservoir 8 à 10, R et/ou ligne de remplissage 2 à 7, 19 afin de contrôler cette température qui correspond à une pression de consigne P_{sc} définie, donc à une quantité déterminée de gaz dans le ou les réservoir(s). En variante, la température dans un réservoir 8 à 10, R est calculée à partir des variations de pression dans le réservoir, cela de manière connue en soi, à l'aide d'un module de calcul.

La pression de consigne P_{sc} , c'est-à-dire la pression statique du gaz, évolue en temps réel en fonction de la température du gaz présent dans le réservoir. La pression de consigne P_{sc} , prédéfinie avant le début du remplissage, correspond à la pression statique atteinte lorsqu'un réservoir donné est considéré comme contenant une quantité voulue de gaz. Cette pression peut varier pour un même réservoir non seulement en fonction de la température mais, par exemple, en fonction des besoins lorsque l'on souhaite ne remplir le réservoir qu'avec une certaine quantité de gaz.

En configuration de non utilisation de l'installation, avant le remplissage des réservoirs 8 à 10, R, ces derniers étant déjà en place, reliés par les vannes 22 à leurs lignes de remplissage 2 à 7 respectives et la vanne générale 18 étant fermée, on mesure une pression à l'aide du capteur 20.

Cette pression correspond à une pression statique de départ P_{sgd} dans l'installation 1, après stabilisation. En effet, avant d'effectuer le remplissage des réservoirs 8 à 10, R, c'est-à-dire préalablement à l'ouverture de la vanne d'alimentation générale 18, il convient d'ouvrir les vannes d'alimentation 22 des lignes secondaires 2 à 7. Il convient d'attendre que les pressions dans les différents réservoirs 8 à 10, R se stabilisent avant d'effectuer une mesure de la pression statique générale de départ P_{sgd} . En effet, tous les réservoirs ne sont pas forcément à la même pression avant le remplissage, cela sans compter les éventuelles variations de volumes entre les réservoirs. La pression statique générale de départ P_{sgd} mesurée au niveau du capteur 20, une fois la stabilisation effectuée correspond ainsi à la mise en parallèle des

pressions statiques des réservoirs 8 à 10, R et à la pression statique générale des lignes secondaires 2 à 7 et principale 19.

Lorsque la vanne d'alimentation générale 18 est ouverte, après la mesure de la pression Psgd, le transfert du gaz entre la pompe cryogénique 17 et les réservoirs 8 à 10, R est initié, les vannes 22 étant toujours ouvertes. Le transfert s'effectue entre la pompe cryogénique 17, les lignes de remplissage 19 et 2 à 7 et les différents réservoirs 8 à 10, R. Le transfert est ainsi réalisé de manière contrôlée, avec un pompage du gaz. Celui-ci est, en variante, réalisé par un autre type de source de pression, connu en soi, qu'une pompe cryogénique. Lors du remplissage, la pression mesurée par le capteur 20 est une pression dynamique Pdt de l'ensemble de l'installation 1, à savoir des lignes principale 19 et secondaires 2 à 7 ainsi que des réservoirs 8 à 10, R.

Par calcul, il est possible, connaissant la pression dynamique totale Pdt d'obtenir la pression statique générale Px à un instant t et d'en déduire les pressions statiques Ps8 à Ps10, PsR de chaque réservoir 8 à 10, R à l'instant t, cela en tenant compte, entre autres, du volume de chaque réservoir, des pertes de charge Pc2 à Pc7, Pc19 et donc des débits de gaz dans chaque ligne 2 à 7, 19, de la pression statique générale de départ Psgd et de la masse volumique du gaz. La pression statique générale Px représente, à l'instant t, la pression statique à la zone de jonction 21, c'est-à-dire à l'extrémité de la ligne principale de remplissage 19.

On peut ainsi suivre, en continu et en temps réel, le remplissage en gaz de chaque réservoir. Un exemple de calcul de la pression statique générale Px à un instant t donné est fourni par la relation ci-après, cela pour le remplissage d'un réservoir monté sur une ligne de remplissage, par exemple le réservoir 8 monté sur la ligne 2 :

$$Px=(Pdt+(Pc19*V8/Pc2))/(1+Pc19/Pc2)$$

Avec V8, le volume du réservoir 8, Pdt la pression dynamique totale mesurée par le capteur 20 à l'instant t, Pc2 et Pc19 les pertes de charge respectives de la ligne de remplissage 2 du réservoir 8 et de la ligne principale 19.

Un calcul similaire est utilisé lorsque l'installation comprend plusieurs lignes de remplissage, les pertes de charge étant mises en parallèles. A titre d'exemple, le calcul

de la pression statique générale P_x à l'instant t pour six lignes de remplissage 2 à 7 équipées, chacune pour simplifier, d'un seul réservoir a, b, c, d, e, f, est donné par la relation suivante dans laquelle V_a à V_f désignent les volumes des réservoirs a à f:

$$P_x = (P_{dt} + (P_{c19} \cdot V_a / P_{c2}) + (P_{c19} \cdot V_b / P_{c3}) + (P_{c19} \cdot V_c / P_{c4}) + (P_{c19} \cdot V_d / P_{c5}) + (P_{c19} \cdot V_e / P_{c6}) + (P_{c19} \cdot V_f / P_{c7})) / (1 + P_{c19} / P_{c2} + P_{c19} / P_{c3} + P_{c19} / P_{c4} + P_{c19} / P_{c5} + P_{c19} / P_{c6} + P_{c19} / P_{c7})$$

A partir de la pression statique calculée P_x à un instant t , il est possible de déduire le débit de gaz dans chaque ligne 2 à 7, 19, cela à partir des caractéristiques connues du gaz et de la ligne concernée.

On peut ainsi suivre l'évolution de la pression statique dans chaque réservoir en fonction du temps. La relation suivante, donnée à titre d'exemple pour le réservoir 8 alimenté par la ligne 2, permet de calculer une pression statique dans un réservoir à un instant t_1 , donné par la relation $t_1 = t + y$. Il est à noter que la constante de temps y , c'est-à-dire l'intervalle de temps entre deux calculs, est choisi en fonction des capacités de calcul du module de calcul, avec un coefficient d'ajustement :

$$P's_8 = P_{s8} + P_x - P_{s8} \cdot t / (P_{c2} \cdot V_8)$$

Avec $P's_8$ la pression statique calculée à l'instant t_1 pour le réservoir 8, P_{s8} la pression statique calculée à l'instant t , P_x la pression statique générale calculée à l'instant t_1 par la relation précédente, P_{c2} la perte de charge de la ligne de remplissage 2 alimentant le réservoir 8 et V_8 le volume du réservoir 8.

Lors du calcul suivant, soit à l'instant $t_2 = t_1 + y$, la valeur obtenue précédemment de la pression statique dans le réservoir, dans l'exemple $P's_8$, est introduite dans la relation à la place de P_{s8} . Le calcul se poursuit jusqu'à ce que la pression statique du réservoir corresponde à la pression statique de consigne : $P's_8 \approx P_{sc}$.

Il est à noter que seules des valeurs physiquement existantes et possibles sont prises en compte. Ainsi, il n'y a pas de calcul pour un réservoir de volume nul ou pour une perte de charge nulle. De même, en cas de résultat anormal, par exemple suite à une division par une valeur trop petite, le module de calcul est adapté pour permettre une réinitialisation des pressions à la valeur de la pression dynamique totale P_{dt} mesurée à l'aide du capteur 20.

Ainsi, en mesurant en temps réel la pression dynamique totale Pdt, on calcule, régulièrement de façon cyclique, la pression statique Ps8 à Ps10, PsR de chaque réservoir 8 à 10, R au fur et à mesure du remplissage en gaz, ce qui permet de connaître à tout moment la quantité de gaz transféré dans les réservoirs 8 à 10, R.

5 Il est à noter que lorsque les réservoirs ont des volumes de remplissage différents, les réservoirs de plus faible volume sont remplis en premier et, de facto, font office de réservoir tampon pour le remplissage des autres réservoirs.

Lorsque la pression statique calculée Ps8 à Ps10, PsR de chaque réservoir correspond à la valeur de la pression statique de consigne Psc8 à Psc10, PscR dudit 10 réservoir, le remplissage est terminé, cela après stabilisation. Il convient alors de fermer la vanne 18.

Une fois que la pression statique Ps8 à Ps10, PsR calculée de chaque réservoir 8 à 10, R correspond à la valeur de la pression statique de consigne Psc, on mesure après un temps de stabilisation, c'est-à-dire avec la vanne d'alimentation générale 18 15 fermée et avec les vannes 22 ouvertes, la pression à l'aide du capteur 20, donc représentative de la pression au niveau de la zone de jonction 21. Cette pression correspond à une mesure de la pression statique générale finale Psgf atteinte. Si un écart est constaté avec les pressions statiques Ps8 à pPs10, PsR calculées en fin de remplissage, le module de calcul adapte les valeurs retenues des pertes de charge Pc2 20 à Pc7, Pc19 afin de minimiser l'écart entre les pressions statiques finales mesurée Psgf et calculée Ps8 à Ps10, PsR.

Le procédé est avantageusement auto-adaptatif en ce qui concerne les valeurs retenues des pertes de charge Pc2 à Pc7, Pc19 dans, respectivement, les lignes secondaires 2 à 7 et la ligne principale 19. Pour cela, on tient compte du poids d'un 25 mètre cube de gaz et des pertes de charge nominale de la ligne de remplissage.

La relation suivante illustre un tel calcul pour le réservoir 8 alimenté par la ligne 2 :

$$P'c2=Pc2*G2$$

Avec P'c2 la perte de charge corrigée en cours d'utilisation de l'installation donc ici en cours de remplissage, PC2 la perte de charge nominale de la ligne 2 et G2 le poids d'un

mètre cube de gaz, à la pression atmosphérique de référence au niveau de la mer, soit 1013mb, pour le gaz en cours de transfert par la ligne 2 dans le réservoir 8.

Il est à noter qu'un écart important entre la pression statique générale finale P_{sgf} et les pressions statiques calculées P_{s8} à P_{s10} , P_{sR} en fin de remplissage, surtout lorsque cet écart persiste après l'étape d'autocorrection, peut être un signe de dysfonctionnement de l'installation, par exemple cela peut indiquer la présence d'une fuite, d'une vanne ouverte et non connectée à un réservoir ou d'un réservoir dont le volume est erroné ou inconnu. Un tel signe de dysfonctionnement induit avantageusement une alerte générée par un module d'alerte.

Avec un tel procédé, on effectue en une seule fois le contrôle du remplissage des réservoirs en évitant l'ajustement du remplissage, a posteriori, après des contrôles itératifs. La valeur de la pression statique calculée pour un réservoir est, à tout instant, connue et supposée correcte, après l'étape d'autocorrection. Lorsque le remplissage est arrêté, après l'autocorrection et un équilibrage, aucun ajustement n'est en principe nécessaire, le remplissage avec la quantité de gaz prédéfinie étant effectué. La dernière étape consiste à fermer les vannes 22 avant de déconnecter les réservoirs 8 à 10, R pour les stocker ou les transporter sur le lieu d'utilisation.

Un utilisateur peut ainsi suivre en temps réel l'évolution du remplissage des différents réservoirs. Il peut avantageusement adapter le remplissage aux besoins, par exemple en modifiant la quantité de gaz à introduire dans un réservoir, c'est-à-dire en faisant varier la pression statique de consigne P_{sc} du ou des réservoir(s) concerné(s). En variante, la gestion du transfert est assurée par un automate programmable.

Dans un mode réalisation non illustré, un module de commande induit automatiquement la fermeture de la ou des vanne(s) d'alimentation 18 et/ou 22, lorsque le ou les réservoir(s) 8 à 10, R sont remplis, donc lorsque que la pression statique P_{s8} à P_{s10} , P_{sR} correspond à la pression statique de consigne P_{sc} . Dans ce cas, la ou les vannes d'alimentation sont de type automatique et non manuel.

On conçoit que le procédé est utilisable pour remplir des réservoirs avec un mélange de gaz. Les gaz constitutifs du mélange sont transférés l'un après l'autre dans

le réservoir. Dans ce cas, on considère que, par exemple avec un mélange de deux gaz, le second gaz est, dans le réservoir, un mélange du premier et du second gaz, les caractéristiques du transfert, en tant que tel, étant celles du second gaz.

De même, un tel procédé est utilisable pour le vidage d'un ou de plusieurs
5 réservoirs. Dans ce cas, les rôles des réservoirs 8 à 10, R et de la source de pression sont, de facto, inversés. Il s'agit d'une source de pression différente de la pompe cryogénique 17, à savoir une source de dépression. En l'espèce on utilise une pompe à vide, éventuellement reliée à un réservoir de stockage. Les réservoirs 8 à 10, R sont dans ce cas remplis avant le début du transfert. Le transfert du gaz entre les réservoirs 8
10 à 10, R et la pompe à vide est réalisé en sens inverse de celui décrit précédemment, l'installation étant identique, à l'exception de la pompe cryogénique 17 et du réchauffeur. Le calcul est similaire à celui décrit, le procédé étant identique.

Le procédé permet un gain de temps lors du contrôle du remplissage des réservoirs en gaz, sans modification substantielle de l'installation dans la mesure où
15 celle-ci comprend déjà un capteur de pression. Seule une interface informatique avec des modules de calcul, de commande et/ou d'affichage des données est à prévoir. De manière connue en soi, un module de stockage des données peut être prévu. Il est également possible de prévoir un module d'alerte en cas de dysfonctionnement, par exemple lorsque la pression statique calculée est supérieure ou inférieure à une valeur
20 prédéfinie. Ce module peut être un signal sonore et/ou visuel et/ou un message audio ou écrit, si besoin transmis également à un appareil de communication mobile tel qu'un téléphone, une tablette, un talkie-walkie ou un automate.

Un tel procédé est utilisable dans d'autres domaines que celui pris en exemple pour autant que l'on souhaite connaître la pression statique de remplissage d'un
25 réservoir par un gaz. Il peut s'agir, par exemple, du gonflage de pneus, de ballons, sondes ou autres.

REVENDICATIONS

- 1.- Procédé de calcul de la pression statique P_x , représentative de la quantité de gaz dans au moins un réservoir (8 à 10, R) lors du transfert d'un gaz entre une source de pression (17) ou de dépression et au moins un réservoir (8 à 10, R), le transfert pouvant être réalisé dans les deux sens, caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :
- a) prendre en compte le volume unitaire V_R du ou des réservoir(s) (8 à 10, R), ledit volume étant indiqué sur le réservoir (8 à 10, R), mesuré ou calculé,
 - 10 - b) collecter parmi les caractéristiques physiques du gaz transféré, au moins la masse volumique,
 - c) déterminer par mesure ou calcul les pertes de charge P_c , P_{cl} dans, respectivement, les tuyaux des lignes secondaires (2 à 7) et de la ligne principale (19) reliant le ou les réservoir(s) (8 à 10, R) à la source de pression (17) ou de dépression,
 - 15 - d) définir une pression statique de consigne P_{sc} à atteindre dans le ou les réservoir(s) (8 à 10, R),
 - e) avec au moins un capteur de pression (20), mesurer une pression dynamique P_{dt} entre la source de pression (17) ou de dépression et le ou les réservoir(s) (8 à 10, R) lors du transfert du gaz, une ou des vanne(s) (18, 22) située(s) entre la source de pression ou
 - 20 de dépression étant ouverte(s) et mesurer une pression statique générale P_{sg} lorsque la ou les vanne(s) (18) est (sont) fermée(s),
 - f) calculer, à un instant t , en tenant compte des valeurs obtenues aux étapes c) à e), une pression statique P_x du gaz présent dans le ou les réservoir(s) (8 à 10, R) à partir de la relation suivante, donnée pour un réservoir R dans les conditions du transfert, vanne(s)
 - 25 (18, 22) ouverte(s): $P_x = (P_{dt} + (P_{cl} \cdot P_R / P_c)) / (1 + P_{cl} / P_c)$ avec P_R la pression statique initiale dans le réservoir R,
 - g) calculer périodiquement, lors du transfert, à un instant $t_1 = t + y$, pour chaque ligne de remplissage (2 à 7) d'un réservoir (8 à 10, R), une nouvelle pression statique $P'R$ dans

un réservoir R, à partir de la pression statique P_x calculée à l'étape f), par la relation :

$$P'R = PR + P_x - PR \cdot \gamma / (P_c \cdot V_R),$$

- h) pour l'instant t_1 , calculer, avec la valeur de $P'R$ calculée à l'étape g), une nouvelle pression statique $P'x$ en appliquant la relation donnée à l'étape f) :

5
$$P'x = (P_{dt} + (P_{cl} \cdot P'R / p_c)) / (1 + P_{cl} / P_c),$$

- i) arrêter, à l'aide de la ou des vanne(s) (18), le transfert du gaz lorsque la pression statique $P'x$ calculée à l'étape h) correspond à la pression statique de consigne P_{sc} du ou des réservoir(s) (8 à 10, R),

- j) effectuer, à l'aide d'au moins un capteur de pression (20), un contrôle de la pression statique calculée $P'R$ du ou des réservoir(s) (8 à 10, R), après un temps de stabilisation correspondant à l'équilibrage des pressions entre le ou les réservoir(s) (8 à 10, R) et la source de pression (17) ou de dépression, la ou les vanne(s) (18) étant fermée et le transfert de gaz interrompu,

10

- k) en déduire, pour un réservoir R donné, avec son volume V_R , la masse volumique du gaz contenu dans le réservoir et la pression statique calculée $P'x$ du réservoir, une quantité de gaz présent dans le ou les réservoir(s) (8 à 10, R).

15

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'à l'étape f), pour un nombre de réservoirs supérieur à un, la relation utilisée s'écrit, dans les mêmes conditions qu'à l'étape f) : $P_x = (P_{dt} + (A)) / (1 + B)$ avec A et B étant, respectivement la somme des valeurs de $(P_{cl} \cdot PR / P_c)$ et de (P_{cl} / P_c) pour chaque réservoir (R) .

20

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'aux étapes f) et h), la pression statique calculée P_x , $P'x$ représente la pression statique à la zone de jonction (21) entre les lignes secondaires (2 à 7) et la ligne principale (19) de l'installation.

4.- Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'à l'étape g), il est tenu compte du débit de gaz dans chaque ligne secondaire (2 à 7).

25

5.- Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'aux étapes f) à h), les pertes de charge P_c de chaque ligne (2 à 7) lors du transfert sont ajustées en fonction du poids du gaz transféré selon la relation : $P_c = P_{cn} \cdot p_g$ avec P_{cn} la perte de

charge nominale de la ligne (2 à 7) et p_g le poids de gaz transféré, rendu à la pression atmosphérique.

6.- Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, après l'étape d) et avant l'étape e), on attend un équilibrage des pressions dans les réservoirs (8 à 10, R), vanne(s) (18, 22) ouverte(s).

7.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors de l'étape j), on compare la ou les pression(s) statique(s) calculée(s) ($P'R$, P_8 à P_{10} , PR) avec une pression statique générale P_{sgf} mesurée entre la source de pression (17) ou de dépression et le ou les réservoir(s) (8 à 10, R), ladite mesure étant faite en amont des réservoirs (8 à 10, R) selon le sens du transfert, à l'aide du capteur de pression (20).

8.- Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'en cas d'écart entre les pressions statiques calculées ($P'R$, P_8 à P_{10} , PR) et mesurée P_{sgf} , une correction des pertes de charge (P_{c2} à P_{c7} , P_{c19}) déterminées à l'étape c) est effectuée lors d'une étape supplémentaire l).

9.- Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que, si à l'issue de l'étape l), un écart persiste entre les pressions statiques calculées ($P'R$, P_8 à P_{10} , PR) et la pression statique mesurée P_{sgf} , une information d'alerte est émise.

10.- Installation de mise en œuvre d'un procédé conforme à l'une des revendications précédentes, comprenant au moins :

- une vanne (18),
- un capteur de pression (20),
- un module de calcul,
- un module de commande, caractérisée en ce qu'elle comprend également un module d'affichage des données et un module d'alerte.

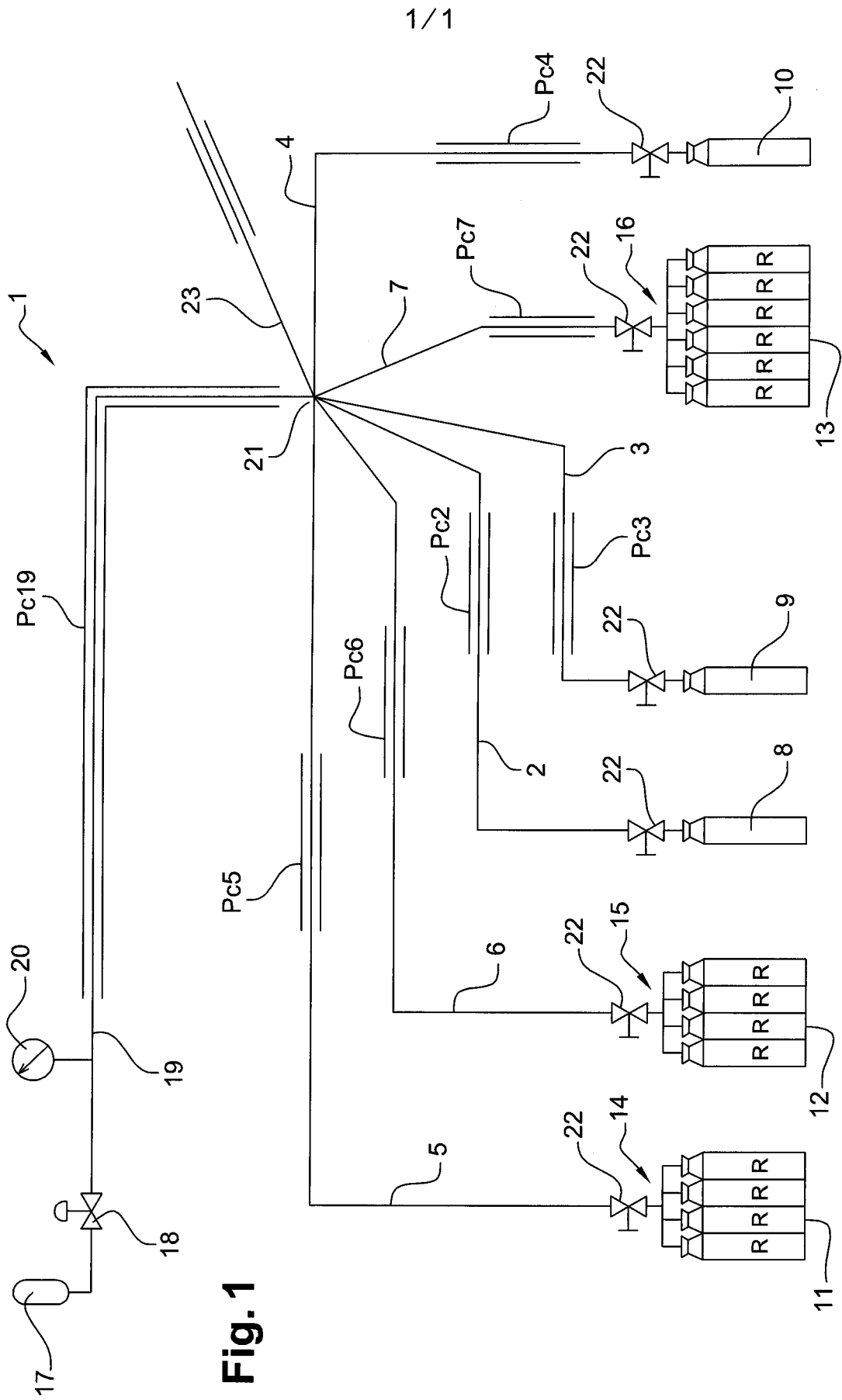


Fig. 1

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 5 810 058 A (KOUNTZ KENNETH J [US] ET AL) 22 septembre 1998 (1998-09-22)

FR 2 978 233 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 25 janvier 2013 (2013-01-25)

WO 96/22915 A1 (PINNACLE CNG SYSTEMS L L C [US]) 1 août 1996 (1996-08-01)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT