



(11) **EP 3 830 469 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

22.11.2023 Bulletin 2023/47

(21) Numéro de dépôt: **19759729.7**

(22) Date de dépôt: **30.07.2019**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F17D 1/04 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F17D 1/04; F17D 1/07; F17D 3/01

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/IB2019/020026

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2020/026035 (06.02.2020 Gazette 2020/06)

(54) **INSTALLATION DE REBOURS CONNECTÉE ET PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT D'UNE TELLE INSTALLATION**

VERBUNDENE NACHSPEISEANLAGE UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER SOLCHEN ANLAGE

CONNECTED BACKFEEDING INSTALLATION AND METHOD FOR OPERATING SUCH AN INSTALLATION

(84) Etats contractants désignés:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **30.07.2018 FR 1857112**

(43) Date de publication de la demande:
09.06.2021 Bulletin 2021/23

(73) Titulaire: **GRTgaz**
92270 Bois-Colombes (FR)

(72) Inventeurs:

- **DUFOUR, Daniel**
54000 Nancy (FR)
- **GUILLO-LOHAN, Pascale**
75008 Paris (FR)
- **VULOVIC, Frédéric**
45400 Fleury Les Aubrais (FR)
- **BAINIER, Francis**
75015 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Cornuejols, Georges**
Cassiopi
230 Avenue de l'Aube Rouge
34170 Castelnau-le-Lez (FR)

(56) Documents cités:

DE-A1-102009 038 128 FR-A1- 3 001 523
FR-A1- 3 007 417 FR-A1- 3 035 598
US-A1- 2015 240 996 US-B2- 7 624 770

- **Phil Winnard: "IFI CAPACITY ENHANCEMENT PROJECT MP TO IP NETWORK COMPRESSION", , 17 octobre 2012 (2012-10-17), XP055558364, Extrait de l'Internet: URL: http://www.biogas.org.uk/images/upload/news_53_Skipton-Within-Network-Compressor-CNG-Services.pdf [extrait le 2019-02-18]**
- **Jens Darocha ET AL: "The Power Pioneers Bio-Natural Gas Plant Emmertsbühl Feeding biogas into the natural gas grid Emmertsbühl, 27 th April 2012 Bio-Natural Gas Plant Emmertsbühl", , 27 avril 2012 (2012-04-27), XP055581239, Extrait de l'Internet: URL: http://static.wm3.se/sites/2/media/134_36_Arkiv_Emmertsbuehl_20120427.pdf?1402830868 [extrait le 2019-04-15]**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 3 830 469 B1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention concerne une installation de rebours connectée et un procédé de fonctionnement d'une telle installation. Elle s'applique, en particulier, aux réseaux de transport de gaz pour exporter des excédents de gaz renouvelable d'un réseau de distribution vers un réseau de transport disposant d'une plus grande capacité d'accueil, en alimentant une zone de consommation plus vaste, voire de stockage, grâce aux installations de stockage qui lui sont raccordées.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] La production de biogaz connaît une forte croissance en Europe et sa valorisation conditionne la création d'une filière de méthanisation pérenne. Dans la suite, le « biométhane » définit le gaz produit à partir du biogaz brut issu de la méthanisation anaérobie de déchets organiques (la biomasse) ou par gazéification haute température (suivie d'une synthèse par méthanation) ; épuré et traité de façon à le rendre interchangeable avec du gaz naturel de réseau.

[0003] Si la méthode de valorisation la plus courante est la production de chaleur et/ou d'électricité, la valorisation sous forme de carburant et l'injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel sont aussi en développement.

[0004] L'injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel est déjà réalisée en Europe. Dans un contexte de fort développement du biométhane, les distributeurs de gaz naturel se trouvent face à des situations de manque d'exutoire. En effet, les consommations des clients domestiques varient en moyenne de 1 à 10 entre l'hiver et l'été sur les distributions publiques. L'injection de biométhane n'est initialement possible que si elle se fait à un débit inférieur au débit minimal relevé pendant les périodes de plus faibles consommations ou si le biométhane est produit au plus proche des consommations. Lorsque la production dépasse les quantités consommées, cela tend à saturer les réseaux de distribution lors des saisons chaudes. Cette situation limite le développement de la filière de production de biométhane par la congestion des réseaux de distribution de gaz naturel. Plusieurs solutions ont été identifiées pour résoudre ce problème : le maillage des réseaux de distribution pour augmenter les capacités de consommation du biométhane produit par la multiplication des consommateurs raccordés, la modulation de la production de biométhane selon les saisons et les besoins de consommation, la micro-liquéfaction et compression pour stocker les productions de biométhane pendant les saisons de faible consommation, le développement d'usages du gaz (pour la mobilité, notamment), ainsi que la réalisation de postes de rebours entre les réseaux de distribution et de transport de gaz naturel.

[0005] Les installations de rebours sont ainsi une des solutions identifiées pour développer les capacités d'injection de biométhane. Ces installations permettent d'exporter des excédents de biométhane d'un réseau de distribution vers le réseau de transport, en les comprimant et les réinjectant dans ce réseau de transport pour ainsi bénéficier de sa plus grande capacité de stockage de gaz. Ainsi, les producteurs ne devraient plus limiter leurs productions et la rentabilité de leurs projets serait plus facilement assurée. Le poste de rebours est un ouvrage de l'opérateur de transport permettant le transfert de gaz depuis le réseau de distribution vers le réseau de transport disposant d'une grande capacité de stockage, par l'intermédiaire d'une station de compression de gaz. Le poste de rebours peut être localisé soit à proximité du poste de détente, soit à un autre endroit où les réseaux de transport et de distribution se croisent.

[0006] Le rebours intègre donc une fonction de compression du gaz pour l'adapter aux contraintes imposées par l'aval de ce compresseur, c'est-à-dire le réseau de transport. Les rebours actuels sont des installations fixes dans lesquelles les compresseurs sont placés dans des bâtiments. Chaque compresseur y est entraîné par un moteur électrique raccordé au réseau électrique.

[0007] Cependant, la pression et le débit du gaz dans le réseau de distribution sont très variables, notamment en fonction de l'injection de biogaz par un producteur ou de la consommation de gaz par des consommateurs, par exemple des sites industriels. La simple régulation en pression de gaz dans le réseau de distribution peut ainsi mener à activer l'installation de rebours pour exporter du gaz dans le réseau de transport, puis quelques instants plus tard, détendre du gaz du réseau de transport pour le fournir au réseau de distribution. Le fonctionnement de l'installation de rebours peut ainsi n'être que partiellement efficace.

[0008] Par ailleurs, les configurations des réseaux de distribution évoluent, notamment lorsqu'un fournisseur de biogaz y est relié et y injecte du biogaz ou s'en déconnecte. Parallèlement, la consommation de gaz sur ce réseau de distribution peut augmenter ou réduire, par exemple lors de l'installation d'une usine ou d'une grande surface consommatrice ou lors de son arrêt. De nouveau, le fonctionnement de l'installation de rebours peut se montrer partiellement inefficace.

[0009] Aujourd'hui, les équipements du rebours sont pilotés automatiquement en fonction des ordres télétransmis par un opérateur et/ou par des informations directement collectées sur le site de l'installation de rebours. Les systèmes mis en oeuvre ne permettent donc pas un pilotage optimal de l'installation en prenant en compte des éléments collectés extérieurement au site du rebours. De plus, la supervision de l'installation de rebours et la configuration des analyseurs n'est possible qu'en présentiel, sur l'installation de rebours. Cela exige ainsi une présence forte des équipes opérationnelles sur place.

On connaît le document DE 10 2009 038 128 qui divulgue

une installation de rebours positionnée entre deux réseaux de gaz de pression différente dont la mise en fonctionnement et hors fonctionnement dépend de seuils fixes prédéterminés.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0010] La présente invention vise à remédier à tout ou partie de ces inconvénients.

[0011] A cet effet, selon un premier aspect, la présente invention vise une installation de rebours comportant :

- au moins un compresseur pour comprimer du gaz en provenance d'un réseau,
- un automate de commande de fonctionnement d'au moins un compresseur,
- un moyen de communication à distance pour recevoir au moins une valeur instantanée de pression captée à distance sur le réseau en amont de l'installation de rebours,
- un moyen de prédiction d'évolution de la pression dans le réseau en amont de l'installation de rebours, en fonction, au moins, des valeurs de pression reçues,
- un moyen de détermination d'une valeur limite de pression pour l'arrêt ou le démarrage d'au moins un compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,

l'automate commandant l'arrêt ou le fonctionnement d'au moins un compresseur lorsque la pression en entrée de chaque compresseur est inférieure, respectivement supérieure, à la valeur limite de pression déterminée.

[0012] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction met en oeuvre un apprentissage dynamique et des profils de consommateurs, de fournisseurs, de capacités et des temps de réponse de l'installation de rebours.

[0013] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction met en oeuvre des algorithmes d'intelligence artificielle et/ou des réseaux neuronaux.

[0014] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction utilise des données historiques, notamment, pour un grand nombre de dates et d'heures, des pressions constatées en différents points du réseau de distribution et des déclenchements et d'arrêts de sécurités, de détente, de rebours, de consommations, d'injections.

[0015] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction utilise des données météorologiques.

[0016] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction utilise pour chaque consommateur de gaz et pour chaque fournisseur de gaz présent sur le réseau de distribution :

- le profil de consommation ou d'injection de gaz,
- la distance jusqu'à l'installation de rebours,
- le volume de gaz ou la surface de la section moyenne de canalisation, jusqu'à l'installation de rebours.

[0017] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction utilise la topologie du réseau de distribution, avec ses embranchements et les positions des capteurs.

[0018] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction utilise des courbes de montée en fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours.

[0019] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction est configuré pour déterminer des moments préférentiels pour des arrêts de maintenance ou d'inspection minimisant une fonction de coût de ces arrêts.

[0020] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction est configuré pour prédire des pressions, dans un horizon de quelques minutes ou de quelques heures.

[0021] Dans des modes de réalisation, le moyen de prédiction est configuré pour prédire des valeurs de pression maximales et minimales de consigne.

[0022] Dans des modes de réalisation, l'installation de rebours comporte, de plus, un moyen de détermination d'un taux de charge de chaque compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la pression, l'automate commandant le fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge déterminé.

[0023] Dans des modes de réalisation, l'installation de rebours comporte, de plus,

- un moyen d'analyse de qualité de gaz à compresser
- un moyen de communication à distance pour recevoir au moins une valeur instantanée de qualité de gaz captée à distance en amont ou en aval de l'installation de rebours,
- un moyen de prédiction d'évolution de la qualité de gaz dans le réseau en amont de l'installation de rebours, en fonction, au moins, des valeurs de qualité reçues,
- un moyen de détermination d'une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt d'au moins un compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité,

l'automate commandant l'arrêt d'au moins un compresseur lorsque la qualité en entrée de chaque compresseur est inférieure à la valeur limite de qualité déterminée.

[0024] Dans des modes de réalisation, l'installation de rebours comporte, de plus, un moyen de détermination d'un taux de charge de chaque compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité, l'automate commandant le fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge déterminé.

[0025] Selon un deuxième aspect, la présente invention vise un procédé de fonctionnement d'une installation de rebours comportant :

- au moins un compresseur pour comprimer du gaz en provenance d'un réseau et
- un automate de commande de fonctionnement d'au moins un compresseur ; procédé qui comporte les étapes suivantes :

- une étape de réception, depuis un capteur distant, d'au moins une valeur instantanée de pression captée à distance de l'installation de rebours,
- une étape de prédiction d'évolution de la pression dans le réseau en amont de l'installation de rebours,
- une étape de détermination d'une valeur limite de pression pour l'arrêt ou le démarrage d'au moins un compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,
- une étape d'arrêt ou de démarrage, respectivement, du fonctionnement d'au moins un compresseur lorsque la pression en entrée de chaque compresseur est inférieure, respectivement supérieure, à la valeur limite de pression déterminée.

[0026] Dans des modes de réalisation, le procédé comporte, de plus :

- une étape de détermination de valeurs de charge de la compression à appliquer en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,
- une étape de régulation du fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge à appliquer.

[0027] Dans des modes de réalisation, le procédé comporte, de plus :

- une étape de réception, depuis un capteur distant, d'au moins une valeur instantanée de qualité de gaz captée à distance de l'installation de rebours,
- une étape de prédiction d'évolution de la qualité de gaz en amont de l'installation de rebours,
- une étape de détermination d'une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt de chaque compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité,
- une étape d'arrêt du fonctionnement de chaque compresseur lorsque la qualité de gaz en entrée de chaque compresseur est inférieure, à la valeur limite de qualité déterminée.

[0028] Dans des modes de réalisation, le procédé comporte, de plus :

- une étape de détermination de valeurs de charge de la compression à appliquer en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité de gaz et
- une étape de régulation du fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge à appliquer.

[0029] Les avantages, buts et caractéristiques particulières de ce procédé étant identiques à ceux de l'installation objet de l'invention, ils ne sont pas rappelés ici.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0030] D'autres avantages, buts et caractéristiques de la présente invention ressortiront de la description qui va suivre faite, dans un but explicatif et nullement limitatif, en regard des dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente, sous forme d'un schéma bloc, une installation de rebours objet de l'invention,
- la figure 2 représente, partiellement et sous forme d'un schéma bloc, un réseau de transport et un réseau de distribution munis de moyens de communication avec l'installation de rebours objet de l'invention,
- la figure 3 représente, partiellement et sous forme de schéma, un réseau de transport et de distribution avec des positionnements d'équipements de mesure et de résultats de calcul,
- la figure 4 représente un algorithme de détermination de calcul de charge d'un compresseur en fonction de données distantes,
- la figure 5 représente, sous forme d'un logigramme, des étapes de fonctionnement d'une installation de rebours objet de l'invention,
- la figure 6 représente des évolutions de débit et de pression lors de la régulation en débit du fonctionnement de l'installation de rebours,
- la figure 7 représente des évolutions de débit et de pression lors de la régulation en pression du fonctionnement de l'installation de rebours,
- la figure 8 illustre, sous forme de courbes, des évolutions de prédiction de pression et de valeur limite de déclenchement d'au moins un compresseur et
- la figure 9 illustre, sous forme de courbes, des évolutions de prédiction de pression et de valeur limite de déclenchement d'un poste de détente et de livraison.

DESCRIPTION DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

[0031] La figure 1 représente schématiquement une installation de rebours objet de l'invention. L'installation de rebours dispose d'un ensemble de fonctions techniques permettant de créer un flux de gaz en maîtrisant les conditions d'exploitation propres à un réseaux de transport 10 et à un réseau de distribution 15. Ces fonctions comportent :

- l'analyse et le contrôle 19 de la qualité de gaz à compresser en conformité aux prescriptions techniques de l'opérateur de transport,
- le comptage 20 des quantités transférées,
- la compression du gaz en provenance du réseau de distribution 15, par au moins un compresseur 21, il s'agit généralement de compresseurs à moteur électrique et à pistons, avec deux ou trois étages de compression,

- la régulation 24 en pression ou en débit,
- la filtration 22, amont et aval,
- la gestion 18 de la stabilité du fonctionnement du réseau de distribution,
- les organes de sécurité 26 et
- les outils de pilotage 24 et de suivi de l'installation de rebours.

[0032] Ces différentes fonctions sont décrites ci-dessous. Il s'y ajoute des utilités (sources électriques, réseau de communication, etc.) nécessaires à la conduite d'une installation industrielle. L'installation de rebours est dimensionnée en tenant compte :

- de la pression d'exploitation du réseau de transport 10 et de celle du réseau de distribution 15. La première doit être comprise entre 30 et 60 bars sur le réseau régional et peut atteindre 85 bars sur le réseau principal. La seconde est de l'ordre de 4 à 19 bars sur les réseaux MPC (Réseau Moyenne Pression de type C, soit une pression entre 4 et 25 bars) et inférieure à 4 bars sur les réseaux MPB (Réseau Moyenne Pression de type B, soit une pression entre 50 millibars et 4 bars),
- de la capacité maximale de production des producteurs de biométhane 17 susceptibles d'injecter du biométhane dans le réseau de distribution 15, capacité qui varie de quelques dizaines de Nm³/h pour les plus petites unités, à plusieurs centaines de Nm³/h pour les plus grosses,
- de la consommation des consommateurs 16 sur le réseau de distribution 15, notamment la consommation minimale et
- de la faculté du réseau de distribution 15 à absorber des variations de pression (volume en eau).

[0033] L'ensemble de ces données permet de déterminer le débit maximal de l'installation de rebours et d'estimer sa durée de fonctionnement. Cette durée peut varier, selon les cas, d'un fonctionnement occasionnel (10 à 15 % du temps) jusqu'à un fonctionnement quasi-permanent. Cet exercice doit aussi intégrer le fait que les installations des producteurs 17 ne sont pas mises en service simultanément mais au fur et à mesure des années.

[0034] Concernant l'analyse 19 de la conformité du gaz, des écarts existent entre les spécifications de qualité de gaz appliquées aux réseaux de transport 10 et de distribution 15, du fait des différentes pressions d'exploitation, de l'infrastructure, des matériaux, des usages et des interfaces avec les stockages souterrains. Les spécifications des réseaux de transport 10 sont généralement les plus contraignantes que celles des réseaux de distribution 10. Ainsi, pour garantir que l'installation de rebours de gaz du réseau de distribution 15 vers le réseau de transport 10 s'insère dans le fonctionnement opérationnel du réseau de transport 10, les dispositions suivantes sont prévues :

- une unité de déshydratation 29 à l'amont de la compression 21, pour réduire les risques de condensation sur le réseau haute pression de transport, de formation d'hydrates et de corrosion,
- en option, un laboratoire d'analyse des paramètres de combustion (indice de Wobbe, pouvoir calorifique et densité de gaz) pour injecter les injecter les relevés dans le système de détermination des énergies de l'opérateur de transport.

[0035] A la discrétion de l'opérateur de transport, l'analyse d'autres teneurs de composés (CO₂, H₂O, THT, etc.) est optionnelle et n'est réalisée que s'il y a un risque avéré de contamination du réseau de transport 10 (exemple : rebours d'un biométhane avec une forte teneur en CO₂ sans possibilité de dilution sur les réseaux de distribution 15 et de transport 10, ou opéré à une pression très élevée).

[0036] Concernant le comptage de gaz 20, l'installation de rebours est équipée d'une chaîne de comptage constituée d'un compteur et d'un dispositif de détermination de l'énergie local ou régional conformément à la métrologie légale.

[0037] Concernant la compression de gaz, l'unité de compression permet de comprimer le surplus de production de biométhane à la pression de service du réseau de transport 10. En fonction de critères économiques et de disponibilités de l'installation, plusieurs configurations sont possibles, par exemple :

- un compresseur 21 réalisant 100 % du besoin de rebours maximum,
- deux compresseurs 21 réalisant chacun 100 % du besoin de rebours maximum ou
- deux compresseurs 21 réalisant chacun 50 % du besoin de rebours maximum.

[0038] La configuration est choisie par une étude des différents avantages et inconvénients en termes de coûts, de disponibilité, d'encombrement, et de possibilité d'évolution de l'unité de compression. La pression d'aspiration à considérer est la pression de service du réseau de distribution 15, qui dépend notamment des pressions d'injection des producteurs de biométhane 17. La pression de construction au refoulement à considérer est la pression maximale de service (« PMS ») du réseau de transport, par exemple 67,7 bars. Pour assurer le démarrage, la protection anti-pompage de chaque compresseur 21 (hors compresseur à pistons) ou le fonctionnement en recyclage stabilisé, un circuit de recyclage 27 muni d'une vanne 28 peut être prévu. Le circuit de recyclage détend du gaz à la deuxième pression et l'injecte en amont du compresseur lors de la mise en fonctionnement d'au moins un compresseur, sous la commande d'un automate 25.

[0039] L'étanchéité de chaque compresseur 21 peut être réalisée à l'huile ou à garniture sèche. Dans le premier cas, certaines dispositions de filtration sont mises

en place (voir ci-dessous).

[0040] L'automate 25 réalise les fonctions de pilotage 24, de commande de fonctionnement, de taux de charge et d'arrêt de chaque compresseur 21 et de régulation et de stabilité 18 du réseau 15. On note que, dans toute la description, le terme « l'automate » signifie un automate ou un système informatique ou un ensemble d'automates et/ou de systèmes informatiques (par exemple un automate par fonction).

[0041] Concernant la régulation, l'évolution de la pression du réseau de distribution 15 à proximité de l'installation de rebours est corrélée au débit de gaz transitant par l'installation de rebours. Ces évolutions sont le résultat du fonctionnement dynamique des consommations de gaz sur le réseau de distribution 15, des capacités injectées de biométhane par les producteurs 17 et du fonctionnement de l'installation de livraison, par le biais d'une vanne 14, et de rebours. On intègre donc des possibilités d'adaptation de la plage de fonctionnement de la pression d'aspiration de l'installation de rebours, ainsi qu'une régulation des compresseurs 21 qui peut anticiper les contraintes s'exerçant sur le réseau de distribution 15, selon les configurations rencontrées. C'est une différence avec les postes de livraison sans rebours, pour lesquels la pression est régulée sur le point de livraison de façon à être fixe, quelles que soient les consommations par les consommateurs 16. En conséquence, le mode de régulation (pression ou débit) du flux en rebours vers le réseau de transport 10 est adapté au bon fonctionnement de l'installation de rebours.

[0042] Selon les spécifications des compresseurs et pour éviter leur détérioration ou du fait des contraintes liées au fonctionnement du réseau de transport 10, une filtration est prévue dans la fonction de conformité de qualité de gaz, en amont de la compression pour récupérer les éventuels liquides et les poussières contenues dans le gaz issu du réseau de distribution 15. De plus, dans le cas d'un compresseur 21 à étanchéité à l'huile, un filtre coalesceur 22 est installé en sortie du compresseur 21, par exemple avec une purge manuelle et un niveau visuel.

[0043] Un système de refroidissement 23 refroidit tout ou partie du gaz comprimé pour maintenir la température à l'aval, vers le réseau de transport 10, à une valeur inférieure à 55 °C (température de certification des équipements). Pour assurer le fonctionnement du système de refroidissement 23, celui-ci est dimensionné à partir de valeurs de température ambiante pertinentes selon les historiques météorologiques.

[0044] Le poste de livraison 12 est une installation, située à l'extrémité aval du réseau de transport qui permet la livraison du gaz naturel en fonction des besoins exprimés par le client (pression, débit, température...). Il s'agit donc de l'interface de détente du gaz du réseau de transport 10 vers le réseau de distribution 15 ou vers certaines installations industrielles. Le poste de livraison 12 intègre donc des vannes de détente pour diminuer la pression pour s'adapter aux conditions imposées par l'aval.

[0045] Pour éviter des phénomènes d'instabilité, l'installation de rebours ne doit pas fonctionner simultanément avec le poste 12 de détente et livraison du réseau de transport 10 vers le réseau de distribution 15. Des valeurs limites de démarrage et d'arrêt de l'installation de rebours sont fixées en conséquence et chaque automate 25 d'une installation combinant détente 12 et rebours est adapté de façon à interdire la simultanéité de ces deux fonctions. Les installations de rebours, lors de leur phase de démarrage, de fonctionnement et d'arrêt, limitent les perturbations du réseau amont (distribution 15) et du réseau aval (transport 10) en évitant notamment de déclencher des sécurités en pression du poste de livraison 12. Les paramètres suivants sont pris en compte :

- nombre de cycles de démarrage et d'arrêt de chaque compresseur 21 et sa compatibilité avec les recommandations du fournisseur du compresseur 21,
- le démarrage et l'arrêt de chaque compresseur 21 par une routine, faisant suite à une temporisation,
- l'utilisation d'un volume tampon (non représenté) en amont de chaque compresseur 21, pour amortir les variations de pression et de débit du réseau de distribution 15.

[0046] Une fonction de pilotage et de supervision réalisée par l'automate 25 permet d'obtenir :

- un mode de fonctionnement automatique,
- une visualisation/supervision du fonctionnement de l'installation de rebours et
- le démarrage de l'installation de rebours.

[0047] L'historisation des données est réalisée pour attester des conditions de fonctionnement.

[0048] En cas d'urgence, l'installation de rebours est isolée du réseau de distribution 15, par la fermeture de la vanne 14. Une fonction « arrêt d'urgence » permet d'arrêter et de mettre en sécurité l'installation de rebours. L'installation de rebours est aussi munie de dispositifs de sécurité en pression et en température 26. Il n'y a pas mise à l'évent automatique sauf contre-indication des études de sécurité. L'installation de rebours est équipée de systèmes de détection incendie et gaz 26. Un moyen de protection contre les sur-débites est prévu pour protéger les appareils, sous la forme d'un organe physique tel qu'un orifice de restriction ou par l'intermédiaire d'un automatisme.

[0049] On note que le débit d'un rebours peut varier de quelques centaines à quelques milliers de Nm³/h selon les cas.

[0050] L'automate 25 est doté :

- d'un moyen de communication à distance 9, configuré pour recevoir au moins une valeur instantanée de pression et au moins une valeur instantanée de qualité de gaz captées à distance sur le réseau en

- amont de l'installation de rebours,
- d'un moyen de stockage 8 de données historiques et de prédiction,
- d'un moyen de détermination 7 d'une valeur limite de pression pour l'arrêt ou le démarrage d'au moins un compresseur 21, en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,
- d'un moyen 6 de détermination d'un taux de charge à appliquer à chaque compresseur 21 en fonction de la prédiction d'évolution de la pression, l'automate 25 commandant le fonctionnement de chaque compresseur 21 pour atteindre le taux de charge déterminé,
- un moyen 5 de prédiction d'évolution de la qualité de gaz dans le réseau en amont de l'installation de rebours, en fonction, au moins, des valeurs de qualité reçues,
- un moyen 4 de détermination d'une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt d'au moins un compresseur 21 en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité, l'automate 25 commandant l'arrêt d'au moins un compresseur lorsque la qualité en entrée de chaque compresseur est inférieure à la valeur limite de qualité déterminée,
- un moyen 3 de détermination d'un taux de charge à appliquer à chaque compresseur 21 en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité, l'automate 25 commandant le fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge déterminé.
- un moyen 2 de sélection automatique d'un mode de régulation, soit en débit, soit en pression (par exemple, entre deux valeurs limites (SH et SB), le mode de régulation est une régulation en débit et, en dehors de l'intervalle entre ces deux valeurs limites, le mode de régulation est une régulation en pression.

[0051] La figure 2 représente le réseau de transport de gaz 10, le réseau de distribution 15, les consommateurs 16, les producteurs de biométhane 17, le poste de détente et de livraison 12 et l'installation de rebours 30.

[0052] Le réseau de transport 10 est muni d'un capteur de pression communicant 31 et d'un capteur de débit communicant 32. Le réseau de distribution 15 est muni d'un capteur de pression communicant 33 et d'un capteur de débit communicant 34. Une source d'informations météorologiques communicante 35 fournit des données météorologiques géolocalisées. Enfin, les producteurs de biométhane 17 sont reliés au réseau de distribution 15 par des points d'injection munis de capteurs de débit communicants 36.

[0053] Un réseau informatique (non représenté), par exemple internet sur réseau de téléphonie mobile, relie tous les capteurs communicants.

[0054] Le moyen de stockage et de prédiction 8 analyse les données reçues des différents capteurs et de la source 35, notamment les capteurs de pression 33 et de débit 34 et fournit, en fonction des données météorologiques et des jours et heures de la semaine (en tenant

compte des jours fériés et des heures d'été et d'hiver), une prédiction de consommation sur le réseau de distribution 15.

[0055] L'invention met donc à disposition de l'installation de rebours la collecte et la transmission de données. Elle propose ainsi un échange de données sur trois volets distincts :

- un partage de données entre le gestionnaire du réseau de distribution, en amont de l'installation de rebours, et le gestionnaire du réseau de transport, en aval du rebours,
- la mise à disposition de données « mouvement de gaz » à l'exploitant (accès à des pressions et débits du réseau), exploitant qui peut ainsi orienter certaines interventions comme déterminer les durées suivantes :
 - durée dont il dispose pour intervenir sur l'installation entière ou en partie (exemple, le traitement du gaz, l'analyse du gaz) sans perturber les producteurs de biométhane,
 - durée dont il dispose avant de devoir intervenir sur site avant impact chez le producteur de biométhane, voire la nécessité ou pas, d'intervenir.
- la télé-exploitation et la télémaintenance de l'installation de l'installation de rebours.

[0056] Concernant le partage des données entre les gestionnaires de réseaux, le gestionnaire du réseau de transport 10, en tant qu'exploitant de l'installation de rebours, dispose de données qualité du gaz entrant et des données de pressions et de débit du réseau de distribution.

[0057] L'échange des données qualité gaz permet de déterminer les caractéristiques du gaz comme la composition ou le PCS (Pouvoir Calorifique Supérieure) au niveau de l'installation de rebours et d'éviter de réaliser des analyses supplémentaires sur cette installation de rebours. Par rapport aux rebours existants, cette innovation permet donc de faire l'économie de certains analyseurs et de réduire ainsi les coûts d'investissement sur le rebours, mais aussi de s'affranchir temporairement de certains analyseurs. Pour ce faire, les postes biométhane injectant sur le réseau de distribution en question enregistrent en temps réel les informations gaz process et sécurité, ces informations sont ensuite envoyées par liaison internet à un serveur traitant ces données et les rendant accessibles au gestionnaire du réseau de distribution 15.

[0058] Différents algorithmes peuvent être utilisés :

- une vérification directe des valeurs sur le réseau de distribution avec les valeurs limites (« seuils ») autorisées sur le réseau aval,
- un calcul des mélanges de gaz réalisés sur le réseau de distribution avec les valeurs limites autorisées sur

le réseau aval, par

- soit un calcul en pourcentage molaire en amont du poste rebours,
- soit des systèmes de traçage de la qualité par simulation des durées de transits en régime stationnaire, voire en intégrant les régimes dynamiques,
- soit des systèmes de construction par maillage (par exemple de type Lagrangien) permettant de la reconstruction (le calcul) des données manquantes, dans ce cas, les données en entrée de la compression.

[0059] Les paramètres du modèle mathématique sont les données de description du réseau (rugosité, diamètre, longueur, puis éventuellement, des données du second ordre comme, la linéarité, les coefficients d'échange thermique de la canalisation et du sol, la profondeur d'enfouissement, ou toutes autres valeurs permettant d'affiner la description de l'ouvrage dans le modèle), le modèle étant alimenté par les données temporelles de qualité du gaz, débit et pression dont dispose le réseau amont,

- les valeurs limites pouvant être admises sur le réseau aval pouvant être évolutives en fonction des caractéristiques du gaz du réseau aval et des quantités y transitant. Par exemple, un gaz circulant sans hydrogène (H_2) sur le réseau en aval de la compression pourra accepter un gaz en amont de la compression au prorata molaire du mélange des deux gaz jusqu'à la limite admissible sur le réseau.

[0060] Le partage des pressions et des débits en temps réel du réseau de distribution 15 raccordé à l'installation de rebours 30 est réalisé par des capteurs de pression connectés et positionnés sur certains points critiques du réseau de distribution 15 mis en évidence par des études statiques et dynamiques. Ce partage de données permet d'optimiser le pilotage de l'installation de rebours (notamment sur les arrêts/démarrage et la charge) et de sécuriser le processus en anticipant les risques et les impacts sur le réseau de distribution 15.

[0061] Les figures 3 et 4 décrivent des réseaux de transport et de distribution et un algorithme de pilotage pouvant être mis en oeuvre, celui-ci permettant de définir le niveau de charge, le besoin de démarrage d'un compresseur (cas où le taux de charge est égal à 100%). A l'identique, un seuil bas peut être défini permettant de définir l'arrêt d'un compresseur. Un réseau de transport 10 et un réseau de distribution 15 sont interfacés par une installation de rebours 30 et un poste de détente et de distribution 42. On note que l'installation de rebours 30 peut être fixe, mobile (par exemple constituée de modules transportables sur camions) ou évolutive (l'installation comportant des emplacements et connecteurs pour l'ajout de compresseurs).

[0062] La figure 3 présente notamment un réseau de distribution avec :

- trois points de livraison vers le réseau secondaire dit « de distribution » 15 (deux biométhanés 40 et 41 et un poste de détente et de livraison 42 du réseau de transport distant de l'installation de rebours 30),
- cinq points de livraison 43 à 47 du réseau secondaire (légende : carré marqué d'un « L » indicé),
- cinq capteurs de mesures de pression 48 à 52 (légende : rond marqué de « PM » indicé),
- quatre pressions calculées 53 à 56 (légende : rond marqué d'un « PC » indicé). On note que les capteurs de mesures de pression et les lieux de calcul de pression ont été placés en figure 3 sans rechercher la compatibilité avec un calcul.

[0063] La figure 4 est un exemple de fonction mathématique permettant de définir le taux de charge de la compression. Les coefficients k sont déterminés par simulation ou par des mesures sur le réseau pouvant nécessiter des tests, ils peuvent aussi être issus d'une intelligence artificielle par apprentissage. Les coefficients k expriment l'importance (dit autrement, le poids ou la criticité) du point de mesure par rapport à la contrainte de pilotage. Si les informations issues de simulation ou d'analyse de mesures préalable ne désigne qu'un point de mesure contraignant pour le pilotage, alors celui-ci est appelé point critique (c'est le point utilisé pour le pilotage). Dans l'algorithme proposé, le coefficient k permet de changer de point critique en fonction des évolutions des évolutions de pression.

[0064] En figure 4 :

- $PX = PM$ ou PC
- PX_{max_i} : pression max pouvant être atteinte à ce point, toutes les PX_{max_i} sont identiques dans le cas de la figure 3
- PX_{min_i} : pression min pouvant être atteinte à ce point.

[0065] Au cours d'une étape 61, on détermine si le minimum, pour toute valeur de i , de $k_{pX_hi} * (PX_{max_i} - PC_i)$ > Seuil_{charge_max}

[0066] Si non, au cours d'une étape 62, on applique la formule charge (%) = $100 * \min_{tout i} (k_{pX_bi} * (PX_i - P_{xmin_i}))$. Si le résultat de l'étape 61 est positif, au cours d'une étape 63, le taux de charge est fixé à 100 %.

[0067] Ainsi, plus le niveau de charge se rapproche des 100% sur son niveau bas de régulation, plus la connaissance de la charge par l'algorithme de la figure 4 permet d'accélérer ou de ralentir la compression (aussi appelé le « taux de charge ») en fonction de la distance entre les limites hautes et basses les plus proches. Les vitesses d'accélération et de ralentissement pourront être calculées par PID (Proportionnel/Intégral/Dérivé).

[0068] Le volet optimisation de l'exploitation vise à mettre à disposition des équipes d'exploitation du réseau

de transport 10, des données de pression et débits du réseau, et ce aussi bien en temps réel que sur un historique de plusieurs mois. Cela permet ainsi à l'exploitant de visualiser sous la forme d'un schéma fonctionnel les données de pressions et débits du réseau. Il peut ainsi analyser plus rapidement une situation et mieux appréhender son intervention en ayant connaissance de tous les paramètres du réseau, chose qui n'est pas le cas aujourd'hui. Cela permet également une remontée d'alarmes lorsque simultanément l'installation de rebours 30 fonctionne et le poste d'injection 12 débite. Cette remontée d'information à l'exploitant est basée sur la technologie utilisée pour les applications « @home » du Dispatching National et des Centres de Surveillance Régionaux (CSR), en récupérant les informations du système de télégestion et en les présentant sous une forme directement exploitable par les équipes d'intervention.

[0069] Les données mises à disposition des équipes d'exploitation sont les données sources issues de l'acquisition, ainsi que toutes les données (intermédiaires et finales) calculées par les algorithmes proposés pour la mise en oeuvre de l'invention, ces données calculées étant horodatées. Ces données permettent aux équipes d'intervention de faire leurs propres analyses, par exemples des calculs simples de type prorata ou par comparaison avec des situations similaires déjà rencontrées. Les données collectées permettent, grâce à leur horodatage, aux équipes d'exploitation d'évaluer la durée dont elles disposent avant un besoin d'intervention, d'évaluer les conséquences d'une réduction du taux de charge sur un éventuel report de l'intervention, voire d'une capacité de non-intervention.

[0070] Le réseau informatique pour l'installation de rebours intègre également des fonctionnalités de télédiagnostic et de télémaintenance à destination des équipes opérationnelles internes du gestionnaire du réseau de transport 10 et des contractants en charge d'une partie de la maintenance. L'innovation réside en la possibilité de visualiser à distance les vues de la supervision/interface homme-machine de l'installation de rebours et de pouvoir configurer les analyseurs à distance et pas en uniquement en présentiel. Ces solutions facilitent les opérations de maintenance, réduisent la durée de mobilisation des équipes (réduction des trajets, concordance des plannings des différents acteurs impliqués etc.) et l'indisponibilité de l'installation de rebours, en comparaison avec les installations de rebours existantes.

[0071] L'automate 25 fixe :

- une première valeur limite de pression servant au déclenchement du fonctionnement de chaque compresseur 21 de l'installation de rebours 30 et, éventuellement, pour le circuit de recyclage 27 et la vanne 28,
- une deuxième valeur limite de pression servant pour l'arrêt du fonctionnement de chaque compresseur 21 de l'installation de rebours 30,
- une troisième valeur limite de pression servant pour

le déclenchement du poste de détente et de fourniture 12, et

- une quatrième valeur limite de pression servant pour l'arrêt du poste de détente et de fourniture 12 ;

en fonction :

- de la prédiction de consommation fournie par le moyen de prédiction 8,
- des données reçues des différents capteurs, notamment les capteurs de pression 33 et de débit 34 et 36.

[0072] Puis, lorsque la pression du réseau de distribution 15 dépasse la première valeur limite ainsi fixée, l'automate 25 déclenche le fonctionnement d'au moins un compresseur 21 et, éventuellement, de la vanne 28. Inversement, lorsque la pression du réseau de distribution 15 franchit, en décroissant, la deuxième valeur limite ainsi fixée, l'automate 25 arrête le fonctionnement de chaque compresseur 21.

[0073] La figure 5 détaille des étapes d'un procédé 70 de fonctionnement de l'automate 25 commandant l'installation de rebours 30. On suppose, dans la figure 5 que chaque compresseur 21 de l'installation 30 est à l'arrêt et que le poste de détente et de livraison 12 est aussi à l'arrêt.

[0074] Au cours d'une étape 71, l'automate 25 reçoit et met en mémoire des valeurs instantanées de pression et de débit en provenance des différents capteurs, notamment les capteurs distants de pression 33 et de débit 34. L'automate 25 reçoit et met en mémoire aussi, préférentiellement, des valeurs instantanées de qualité de gaz captée à distance de l'installation de rebours 30.

[0075] Au cours d'une étape 72, l'automate 25 reçoit et met en mémoire des données météorologiques, notamment la température de l'air et le vent.

[0076] Au cours d'une étape 73, l'automate 25 réalise une prédiction de consommation sur le réseau de distribution 15, en fonction des données conservées en mémoire, du jour de la semaine et de l'heure et des données météorologiques reçues. Le jour de la semaine, l'heure, la température de l'air et le vent permettent, en particulier, à l'automate 25 de prédire la consommation des consommateurs 16, par traitement statistique et prédictif des données conservées en mémoire, par exemple sur une durée d'une heure. En y soustrayant le débit moyen par les producteurs 17, capté au niveau des points d'injection, par les capteurs 36, et en fonction de la durée d'injection moyenne pour chacun des producteurs, on prédit une évolution de la pression dans le réseau de distribution 15.

[0077] Au cours de l'étape 73, on réalise la prédiction d'évolution de la pression dans le réseau en amont de l'installation de rebours, et la prédiction d'évolution de la qualité de gaz en amont de l'installation de rebours.

[0078] Au cours d'une étape 74, en fonction de la prédiction de pression, l'automate détermine :

- une première valeur limite de pression servant à l'arrêt du fonctionnement de chaque compresseur 21 de l'installation de rebours 30 et, éventuellement, pour le circuit de recyclage 27 et la vanne 28,
- une deuxième valeur limite de pression servant pour l'arrêt du fonctionnement de chaque compresseur 21 de l'installation de rebours 30,
- une troisième valeur limite de pression servant pour l'arrêt du poste de détente et de fourniture 12,
- une quatrième valeur limite de pression servant pour l'arrêt du poste de détente et de fourniture 12 et
- une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt de chaque compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité,

[0079] En particulier, comme illustré en figure 8, si la prédiction 93 montre, en l'absence de livraison ou de compression, la survenance prochaine d'un maximum temporaire 94 de la pression à un niveau inférieur à la pression 90 tolérée momentanément par le réseau de distribution 15, la première valeur limite 91 est réhaussée jusqu'à une valeur 92 supérieure ou égale à ce maximum 93. Ce cas survient, par exemple, lorsque des producteurs injectent du biométhane sur le réseau de distribution quelques instants avant le démarrage probable d'installations professionnelles, industrielles ou commerciales consommatrices de gaz à des instants 95 et 96. On évite ainsi de déclencher la compression de gaz par le compresseur 21, suivi, quelques instants ensuite, de l'arrêt de ce compresseur 21 et de l'arrêt du poste de détente et de livraison 12.

[0080] Inversement, comme illustré en figure 9, si la prédiction 93 montre, en l'absence de livraison ou de compression, la survenance prochaine d'un minimum temporaire 97 de pression, la troisième valeur limite 98 est fixée à une valeur 99 inférieure ou égale à ce minimum 97. Ce cas survient, par exemple, quelques instants avant l'arrêt 101 probable d'installations professionnelles, industrielles ou commerciales consommatrices de gaz alors que des producteurs de biométhane commencent, à un instant 100, une injection de biométhane dont on sait, par déclaration ou par apprentissage, que la durée va s'étendre au-delà de la diminution de consommation prédite. On évite ainsi de déclencher le poste de détente et de livraison 12 suivi, quelques instants après, de l'arrêt du poste de détente et de livraison et de l'arrêt de la compression de gaz par le compresseur 21.

[0081] La deuxième et la quatrième valeurs limites sont fixées à des niveaux intermédiaires entre la première et la troisième valeur limite pour :

- que la compression ne soit jamais simultanée à la détente et la livraison (la deuxième valeur limite est toujours supérieure à la quatrième valeur limite) et
- que l'évolution prévisible de la pression (la compensation de l'évolution de pression en tenant compte de la compression et de la livraison) reste proche de la pression nominale de fonctionnement du réseau

de distribution 15.

[0082] Les quatre valeurs limites sont ainsi optimisées pour limiter le nombre de cycles de démarrage et d'arrêt de chaque compresseur 21 et le nombre de cycles de démarrage et d'arrêt du poste de détente et livraison 12.

[0083] Au cours d'une étape 75, l'automate 25 détermine si la pression de gaz dans le réseau de distribution 15 franchit à la hausse la première ou la quatrième valeurs limites ou à la baisse la deuxième ou la troisième valeur limite. Si oui, l'automate 25 déclenche, respectivement, l'arrêt d'au moins un compresseur 21, l'arrêt du poste de détente et de livraison 12, l'arrêt de chaque compresseur 21 ou la mise en fonctionnement du poste de détente et de livraison 12.

[0084] Au cours de l'étape 75, l'automate 25 commande l'arrêt du fonctionnement de chaque compresseur 21 lorsque la qualité de gaz en entrée de chaque compresseur 21 est inférieure, à la valeur limite de qualité déterminée.

[0085] On poursuit, au cours d'une étape 76, la capture de grandeurs physiques de pression et de débit. Au cours des étapes 77 et 78, lorsqu'au moins un compresseur 21 est mis en fonctionnement, l'automate 25 asservit le fonctionnement du circuit de recyclage 27 et de la vanne 28 pour amortir les oscillations de pression en amont et en aval de chaque compresseur 21. Puis, on retourne à l'étape 71.

[0086] Au cours de l'étape 77, l'automate 25 détermine des valeurs de charge de la compression à appliquer en fonction de la prédiction d'évolution de la pression. Au cours de l'étape 78, l'automate 25 régule le fonctionnement de chaque compresseur 21 pour atteindre le taux de charge ainsi déterminé. Eventuellement, l'automate 25 détermine aussi, au cours de l'étape 77, des valeurs de charge de la compression à appliquer en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité de gaz. Dans ce cas, au cours de l'étape 78, l'automate 25 régule le fonctionnement de chaque compresseur 21 pour atteindre le taux de charge ainsi déterminé.

[0087] Concernant l'étape 73, les prédictions sont réalisées par des calculs statistiques classiques. Bien entendu, celles-ci pourront être remplacées par une intelligence artificielle afin d'en augmenter la performance. Les données d'établissement statistiques pouvant être utilisées sont, de façon non exhaustive, les pressions du réseau amont, les débits d'entrée du gaz, les données calendaires comme les week-ends, jours fériés et congés, les données météorologiques (par exemple, température mesurées, ressentie, hydrométrie, vent), les débits des consommateurs et le débit des postes rebours. La donnée de sortie est la pression en entrée de chaque compresseur. Les écarts-types obtenus permettent de sélectionner les meilleures corrélations et d'affecter des marges d'erreur à la corrélation retenue. Les résultats des corrélations sont utilisés de la façon suivante :

- calcul de simulation permettant de disposer de la

- pression maximum autorisée à l'aspiration,
- calcul de simulation permettant de disposer de la pression minimum à l'aspiration,
- l'intégral de l'écart entre la pression corrélée et la pression minimum multiplié par le volume en eau du réseau amont permet de définir le débit pouvant être absorbé par la compression rebours dans la période de temps considérée,
- l'intégral de l'écart entre la pression corrélée et la pression maximum multiplié par le volume en eau permet de définir le débit pouvant être réduit dans la compression rebours dans la période de temps considérée,
- par comparaison des deux valeurs précédentes aux capacités du compresseur (débit minimum et maximum), le débit à comprimer est calculé. Celui-ci doit répondre :

- s'il est détecté, au besoin de démarrer un autre compresseur, d'augmenter le débit des compresseurs en fonctionnement, jusqu'à ce que ce besoin disparaisse,
- s'il est détecté, au besoin d'arrêter un compresseur, de minimiser le débit des compresseurs en fonctionnement, jusqu'à ce que ce besoin disparaisse.

[0088] On décrit, ci-dessous, deux types de régulations envisagées pour le compresseur. La régulation en débit signifie que le débit qui transite par le compresseur est constant lorsque le poste fonctionne. En revanche c'est bien la pression d'aspiration (par exemple en réseau moyenne pression) qui déclenche le démarrage et l'arrêt du compresseur lorsque cette pression atteint des valeurs limites fixées au cours de l'étape 74. La figure 6 représente un exemple d'évolution de la pression 80 en amont du compresseur et du débit 81 du compresseur, dans un cas où la valeur limite de pression de démarrage du compresseur est à 4,2 bars et où la valeur limite de pression d'arrêt du compresseur est à 2,5 bars. Lorsque la pression décroît entre ces deux valeurs limites au cours du fonctionnement du compresseur, l'automate régule le fonctionnement du compresseur pour avoir un débit constant de 700 Nm³/h.

[0089] Dans le cas de la régulation en pression, le débit qui transite dans le poste évolue pour que la pression d'aspiration (par exemple en réseau moyenne pression) reste constante. La figure 7 illustre un exemple d'évolution de la pression 80 en amont du compresseur et du débit 81 du compresseur avec une valeur consigne de pression en amont du compresseur de 4 bars, en fonction du débit 82 de gaz consommé par les consommateurs sur le réseau de distribution, du débit 83 de gaz injecté par des producteurs de biométhane sur le réseau de distribution. On observe aussi, en figure 7, le débit 84 de gaz fourni par le réseau de transport.

[0090] On voit, en figure 7, que dès que le débit de la consommation sur le réseau de distribution est inférieur

au débit d'injection de biométhane, le poste de livraison s'arrête d'injecter du gaz depuis le réseau de transport et l'automate régule le compresseur pour que la pression du réseau de distribution soit constante quelles que soient les variations de la consommation sur le réseau de distribution.

[0091] Dans le cas de la présence de deux compresseurs, un premier compresseur assure le fonctionnement de l'installation de rebours jusqu'à sa limite de fonctionnement. En cas de besoin, l'automate commande le fonctionnement d'un deuxième compresseur pour compléter le débit de gaz traversant l'installation de rebours.

[0092] Les deux types de régulations ont les mêmes objectifs, à savoir maintenir la situation dans un état stable le plus longtemps possible, et ainsi limiter les accélérations et déclenchements fréquents de compresseurs et ou les arrêts et mises en marches successifs de compresseurs, voire de poste de livraison. Dans les pratiques actuelles, le choix du mode de pilotage se fait manuellement par un opérateur en fonction des historiques et de son analyse des événements futurs. La transcription algorithmique du choix pour un poste rebours est le rapport de proportionnalité entre la pression et le débit, c'est-à-dire, l'importance d'une variation de débit par rapport à une variation de pression à l'aspiration de la compression. Lorsque la variation de débit influe trop vite sur la variation de pression, le mode de pilotage est en pression, d'autant plus s'il existe très peu de souplesse entre les pressions minimum et maximum possibles à l'aspiration de la compression.

[0093] La présente invention permet un choix automatique du mode de régulation. Dans le cas où il est retenu un pilotage possible en débit, trois zones de pilotage sont définies. Au centre, le mode débit, et aux extrémités le pilotage en pression. Le choix du basculement d'un mode à l'autre se fait à des seuils de pression d'aspiration :

- un seuil haut « SH » pour passer de débit à pression (SH réglable), SH à proximité de la pression maximum possible à l'aspiration,
- le seuil haut SH moins epsilon 1 (E1), E1 réglable, SH - E1 seuil pour retourner en mode de régulation en débit, E1 permettant de limiter les changements de mode,
- un seuil bas « SB » pour passer de débit à pression (SB réglable), SB à proximité de la pression minimum possible à l'aspiration,
- le seuil haut SB moins epsilon 2 (E2), E2 réglable, SB - E2 seuil pour retourner en mode de régulation en débit, E2 permettant de limiter les changements de mode.

[0094] On décrit, ci-dessous, une méthode de calcul de débit à partir des modélisations des éléments de compression et de son recyclage. Ces méthodes sont existantes chez certains fournisseurs, l'innovation consiste à utiliser ses données en secours du comptage principal, et en diagnostic, le tout de façon automatique, voire, s'il

n'est pas nécessaire d'avoir un comptage transactionnel, en remplacement du comptage du poste.

[0095] Toutes les méthodes de calcul de débit sont réalisées à partir de la pression amont (ou/et la pression aval) et le différentiel de pression amont/aval de l'élément sur lequel le débit va être modélisé. Le modèle est issu de lois mathématiques du métier de l'élément concerné.

[0096] Pour la vanne de régulation, le coefficient de débit « Cv » donné en fonction du pourcentage d'ouverture et les mesures de pression permettent de recalculer le débit transitant dans la vanne.

[0097] Pour un compresseur centrifuge, les adimensionnels (coefficients de débit et de rendement, et la vitesse de rotation du compresseur ou la puissance consommée par la motorisation du compresseur) et les mesures de pression permettent de recalculer le débit transitant dans un compresseur. Une autre méthode pour un compresseur centrifuge est la prise du différentiel de pression dans la volute d'entrée (terme usuel « dp-eye » ou « eye dp transmitter »), le modèle étant généralement fourni par le fournisseur du compresseur.

[0098] Pour un compresseur à piston, le débit est calculé à partir des dimensionnels du piston (volume comprimé, espaces morts, vitesse de rotation, et pouvant prendre en compte le paramètre de pilotage des clapets si ceux-ci sont pilotés) et les mesures de pression permettent de recalculer le débit comprimé.

[0099] Les débits calculés permettent de déterminer le débit exporté par le poste. Ce débit est alors :

- comparé avec le débit mesuré pour détecter soit un problème sur les organes de transit (compresseur ou vanne de régulation) soit un problème sur le comptage, la comparaison génère une alarme télétransmise pour un diagnostic à distance et
- utilisé automatiquement en remplacement du débit mesuré en cas de défaillance de celui-ci

[0100] La présente invention fournit aussi :

- un moyen de détermination du débit transité à travers le rebours permettant de s'affranchir du comptage du poste à l'installation,
- si l'installation de rebours est équipée d'un organe de mesure de débit la traversant, un moyen de détermination du débit transité à travers l'installation de rebours permettant de se substituer automatiquement au comptage de l'installation en cas de défaillance de ce comptage, et permettant de détecter un dysfonctionnement du compresseur ou de la vanne de recyclage (si installée),
- un moyen de détermination du mode de pilotage optimum de la compression entre pression ou débit,
- un système d'analyse permettant à des opérateurs distants ou pas de s'affranchir d'une intervention ou d'évaluer le délai maximum avant intervention.

[0101] Tout ce qui a été décrit ci-dessus concernant la

prédiction de pression, est valable pour la prédiction de qualité de gaz. Dans des modes de réalisation, l'installation de rebours comporte ainsi :

- 5 - un moyen d'analyse de qualité de gaz à compresser
- un moyen de communication à distance pour recevoir au moins une valeur instantanée de qualité de gaz captée à distance en amont ou en aval de l'installation de rebours,
- 10 - un moyen de prédiction d'évolution de la qualité de gaz dans le réseau en amont de l'installation de rebours, en fonction, au moins, des valeurs de qualité reçues,
- 15 - un moyen de détermination d'une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt d'au moins un compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité.

L'automate commande l'arrêt d'au moins un compresseur lorsque la qualité en entrée de chaque compresseur est inférieure à la valeur limite de qualité déterminée.

[0102] Dans des modes de réalisation, l'installation de rebours comporte, de plus, un moyen de détermination d'un taux de charge de chaque compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité, l'automate commandant le fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge déterminé.

[0103] Le moyen de détermination de valeur limite comporte préférentiellement un moyen de détermination de la capacité d'absorption d'un gaz non conforme (de faible qualité) en aval de l'installation de rebours, capacité permettant de s'affranchir d'un traitement ou de dépasser les capacités de traitement des installations existantes.

[0104] On donne, ci-dessous, plus de détails sur le moyen de prédiction, aussi appelé système prédictif.

[0105] On rappelle qu'un système prédictif a pour finalité la prédiction statistique d'un état ultérieur d'un système. Un tel système se base sur l'association statistique de valeurs passées de paramètres en entrée dits « prédicteurs » à au moins un état de sortie passé.

[0106] Dans un système prédictif à apprentissage, l'impact des prédicteurs sur l'état de sortie n'est pas initialement connu et fait l'objet d'un apprentissage. L'apprentissage consiste alors à affecter à chaque type de prédicteur une pondération statistique en fonction de la pertinence des valeurs passées du prédicteur dans l'estimation de l'état passé connu du système.

[0107] Une telle approche consiste donc à présupposer que l'impact relatif de l'ensemble des prédicteurs est inconnu ou modifiable au gré de l'apprentissage. Ainsi, un ensemble de coefficients peut évoluer avec le temps à mesure que de nouvelles valeurs de prédicteurs et d'état sont enregistrées dans la base de données sur laquelle se base l'algorithme d'apprentissage.

[0108] Les prédictions mises en oeuvre sont basées sur un apprentissage dynamique et des prédicteurs tels des profils de consommateurs, de fournisseurs, de ca-

pacités et temps de réponse de compresseurs de l'installation de rebours, d'inertie et de sécurité. L'apprentissage dynamique basé sur des algorithmes d'apprentissage automatique, d'intelligence artificielle et/ou des réseaux neuronaux, signifie que le système prédictif utilise des données historiques, notamment, pour un grand nombre de prédicteurs tels des dates et d'heures, des pressions constatées en différents points du réseau de distribution et des déclenchements et d'arrêts de sécurités, de détente, de rebours, de consommations, d'injections. Dans des variantes, ces données sont complétées par des données météorologiques. Le système prédictif continue de collecter ces données lorsque ce système prédictif est ensuite utilisé pour déclencher le fonctionnement et l'arrêt de l'installation de rebours et ses organes tels que vannes.

[0109] Lors de l'initialisation du système prédictif, on lui fournit par exemple, pour chaque consommateur de gaz et pour chaque fournisseur de gaz présent sur le réseau de distribution :

- le profil de consommation ou d'injection de gaz,
- la distance jusqu'à l'installation de rebours, et
- le volume de gaz ou la surface de la section moyenne de canalisation, jusqu'à l'installation de rebours.

[0110] De plus, on fournit par exemple au modèle prédictif la topologie du réseau de distribution, avec ses embranchements et les positions des capteurs. On fournit encore au modèle prédictif les courbes de montée en fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours, par exemple. Enfin, on fournit, par exemple, au modèle prédictif les pressions limites de consigne initiales et de sécurité permanentes pour chaque branche du réseau de distribution.

[0111] Pendant le fonctionnement du système prédictif, il reçoit toutes les valeurs de pression, de débit, et d'analyse du gaz (suivant les besoins, un ou des constituants de la composition molaire ou soufre total, teneur en eau, ...) captées sur le réseau de distribution, en amont et en aval du poste de détente et de l'installation de rebours.

[0112] Sur cette base, ainsi que sur des données de calendrier (jours de la semaine, jour et moi, jours fériés) et horaires, ainsi que sur des données météorologiques et, éventuellement, des modèles agricoles permettant d'anticiper des consommations ou des injections de gaz, le système prédictif prédit l'évolution de la pression en amont ou en aval d'une installation de pression et donc, en fonction d'une valeur de sécurité de pression à ne pas dépasser, le besoin de démarrer ou d'arrêter l'installation de rebours ou, au contraire, le poste de détente du réseau de transport.

[0113] Le système prédictif permet de réguler le fonctionnement de l'installation de rebours et des postes de détente pour ne pas à avoir à arrêter le rebours ou le producteur de biométhane dont la qualité du gaz ne permet pas d'être acheminé en aval du rebours.

[0114] Le système prédictif caractérise ainsi des constantes de temps et des constantes de sécurité et prédit des valeurs de pression et/ou des valeurs de consignes de pression, pour différents régimes (injection, consommation, rebours et/ou détente, simultanés ou non) et différents moments (dans l'année, dans la semaine et/ou dans la journée).

[0115] Par exemple, sur un maillon faible du réseau de distribution (c'est-à-dire possédant une faible inertie ou un faible volume par rapport à consommation nominale ou maximale), on prévoit un signal d'arrêt d'urgence préventif de l'installation de rebours dès que la prédiction anticipe une chute de pression en deçà de la valeur consigne minimale.

[0116] De plus, le système prédictif détermine des moments préférentiels pour des arrêts de maintenance ou d'inspection, sur les mêmes bases. Ces moments préférentiels sont ceux qui minimisent une fonction de coût de ces arrêts.

[0117] On note que le système prédictif peut, selon les modes de réalisation, effectuer deux types de prédiction :

- des prédictions de pression ou de qualité du gaz, dans un horizon de quelques minutes ou de quelques heures et/ou
- des prédictions de valeurs de pression maximales et minimales de consigne à appliquer, de telles valeurs étant déterminées en fonction d'une évolution de pression prédite.

[0118] Dans le premier cas, on maintient les valeurs de consignes et de sécurité mais on utilise la prédiction de pression ou de qualité du gaz pour déterminer si un dépassement d'une valeur de consigne va se produire sans modification du régime de fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours et, si oui, si ce dépassement va être temporaire. Si ce dépassement ne va pas être temporaire, on modifie le régime de fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours. De même, on utilise la prédiction de pression ou de qualité du gaz pour déterminer si un dépassement d'une valeur de sécurité va se produire sans modification du régime de fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours et, si oui, on modifie le régime de fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours.

[0119] Dans le deuxième cas, les valeurs de consigne prédites sont mises en oeuvre pour le fonctionnement automatique des organes du poste de détente et de l'installation de rebours. Par exemple, dès que la pression du réseau de distribution devient, au niveau du poste de détente et de l'installation de rebours, inférieure à la valeur de consigne minimale prédite, le poste de détente est mis en fonctionnement. Au contraire, dès que la pression du réseau de distribution devient, au niveau du poste de détente et de l'installation de rebours, supérieure à la valeur de consigne maximale prédite, l'installation de rebours est mise en fonctionnement.

[0120] Les termes de valeur de consigne et de sécurité peuvent être uniformes sur le réseau de distribution ou, au contraire, différents selon les portions et embranchements du réseau, ces portions et embranchements étant munis d'au moins un capteur de pression et/ou de débit.

[0121] Le moyen 7 de détermination de valeurs limites (« consigne ») de pression pour le démarrage ou l'arrêt d'au moins un compresseur de rebours, éventuellement intégré dans le système prédictif, comme exposé ci-dessus (deuxième cas), optimise un facteur de coût énergétique et/ou économique, basé sur le coût ou le gain lié aux événements de :

- arrêt de sécurité,
- opérations de maintenance réparation, inspection,
- démarrage de l'installation de rebours et
- côté gain, livraison et consommation.

[0122] Le moyen 7 de détermination de valeurs consignes limites de pression comporte, à cet effet, un calculateur de gain et de coût, énergétique et/ou économique.

Revendications

1. Installation de rebours (30), qui comporte :

- au moins un compresseur (21) pour comprimer du gaz en provenance d'un réseau (15),
- un automate (25) de commande de fonctionnement d'au moins un compresseur,
- un moyen (9) de communication à distance pour recevoir au moins une valeur instantanée de pression captée à distance sur le réseau en amont de l'installation de rebours,
- un moyen (8) de prédiction d'évolution de la pression dans le réseau en amont de l'installation de rebours, en fonction, au moins, des valeurs de pression reçues,
- un moyen (7) de détermination d'une valeur limite de pression pour l'arrêt et/ou d'une valeur limite de pression pour le démarrage d'au moins un compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,
- l'automate commandant l'arrêt ou le fonctionnement d'au moins un compresseur lorsque la pression en entrée de chaque compresseur est inférieure, respectivement supérieure, à la valeur limite de pression déterminée,
- caractérisée en ce que** le moyen (8) de prédiction est configuré pour prédire des valeurs de pression maximales et minimales de consigne.

2. Installation (30) selon la revendication 1, dans lequel le moyen (8) de prédiction met en oeuvre un apprentissage dynamique et des profils de consommateurs, de fournisseurs, de capacités et des temps de réponse de l'installation de rebours.

3. Installation (30) selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel le moyen (8) de prédiction met en oeuvre des algorithmes d'intelligence artificielle et/ou des réseaux neuronaux.

4. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le moyen (8) de prédiction utilise des données historiques, notamment, pour un grand nombre de dates et d'heures, des pressions constatées en différents points du réseau de distribution et des déclenchements et d'arrêts de sécurités, de détente, de rebours, de consommations, d'injections.

5. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le moyen (8) de prédiction utilise des données météorologiques.

6. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le moyen (8) de prédiction utilise pour chaque consommateur de gaz et pour chaque fournisseur de gaz présent sur le réseau de distribution :

- le profil de consommation ou d'injection de gaz,
- la distance jusqu'à l'installation de rebours,
- le volume de gaz ou la surface de la section moyenne de canalisation, jusqu'à l'installation de rebours.

7. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le moyen (8) de prédiction utilise la topologie du réseau de distribution, avec ses embranchements et les positions des capteurs.

8. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le moyen (8) de prédiction utilise des courbes de montée en fonctionnement du poste de détente et de l'installation de rebours.

9. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 8, qui comporte, de plus, un moyen (6) de détermination d'un taux de charge à appliquer à chaque compresseur (21) en fonction de la prédiction d'évolution de la pression, l'automate (25) commandant le fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge déterminé.

10. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 9, qui comporte, de plus,

- un moyen (19) d'analyse de qualité de gaz à compresser,
- le moyen (9) de communication à distance étant configuré pour recevoir au moins une valeur instantanée de qualité de gaz captée à distance en amont ou en aval de l'installation de rebours,
- un moyen (5) de prédiction d'évolution de la

qualité de gaz dans le réseau en amont de l'installation de rebours, en fonction, au moins, des valeurs de qualité reçues,

- un moyen (4) de détermination d'une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt d'au moins un compresseur (21) en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité,

l'automate (25) commandant l'arrêt d'au moins un compresseur lorsque la qualité en entrée de chaque compresseur est inférieure à la valeur limite de qualité déterminée.

11. Installation (30) selon l'une des revendications 1 à 10, qui comporte, de plus, un moyen (2) de sélection automatique d'un mode de régulation, soit en débit, soit en pression, dans laquelle, entre deux valeurs limites (SH, SB), le mode de régulation est une régulation en débit et, en dehors de l'intervalle entre ces deux valeurs limites, le mode de régulation est une régulation en pression.

12. Procédé (70) de fonctionnement d'une installation de rebours (30) comportant :

- au moins un compresseur (21) pour comprimer du gaz en provenance d'un réseau (15),
- un automate (25) de commande de fonctionnement d'au moins un compresseur,

procédé **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes suivantes :

- une étape (71) de réception, depuis un capteur distant, d'au moins une valeur instantanée de pression captée à distance de l'installation de rebours,
- une étape (73) de prédiction d'évolution de la pression dans le réseau en amont de l'installation de rebours et des valeurs de pression maximales et minimales de consigne,
- une étape (74) de détermination d'une valeur limite de pression pour l'arrêt ou le démarrage d'au moins un compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,
- une étape (75) d'arrêt ou de démarrage, respectivement, du fonctionnement d'au moins un compresseur lorsque la pression en entrée de chaque compresseur est inférieure, respectivement supérieure, à la valeur limite de pression déterminée.

13. Procédé (70) selon la revendication 12, qui comporte, de plus :

- une étape (77) de détermination de valeurs de charge de la compression à appliquer en fonction de la prédiction d'évolution de la pression,

- une étape (78) de régulation du fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge à appliquer.

14. Procédé (70) selon l'une des revendications 12 ou 13, qui comporte, de plus :

- une étape (71) de réception, depuis un capteur distant, d'au moins une valeur instantanée de qualité de gaz captée à distance de l'installation de rebours,
- une étape (73) de prédiction d'évolution de la qualité de gaz en amont de l'installation de rebours,
- une étape (74) de détermination d'une valeur limite de qualité de gaz pour l'arrêt de chaque compresseur en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité,
- une étape (75) d'arrêt du fonctionnement de chaque compresseur lorsque la qualité de gaz en entrée de chaque compresseur est inférieure, à la valeur limite de qualité déterminée,
- une étape (77) de détermination de valeurs de charge de la compression à appliquer en fonction de la prédiction d'évolution de la qualité de gaz et
- une étape (78) de régulation du fonctionnement de chaque compresseur pour atteindre le taux de charge à appliquer.

Patentansprüche

1. Rückspeiseanlage (30), die umfasst:

- mindestens einen Verdichter (21) zur Verdichtung von Gas aus einem Netz (15),
- eine Automatik (25) zur Steuerung des Betriebs mindestens eines Verdichters,
- ein Fernkommunikationsmittel (9), um mindestens einen Momentanwert des Ferndrucks im Netz vor der Rückspeiseanlage zu empfangen,
- ein Mittel (8) zur Prädiktion der Druckentwicklung im Netz vor der Rückspeiseanlage, abhängig mindestens von den empfangenen Druckwerten,
- ein Mittel (7) zur Bestimmung eines Druckgrenzwerts für den Stopp und/oder eines Druckgrenzwerts für den Start mindestens eines Verdichters in Abhängigkeit von der Vorhersage des Druckverlaufs, die SPS, die das Ein- bzw. Ausschalten von mindestens einem Verdichter ansteuert, wenn der Eingangsdruck jedes Verdichters den festgelegten Druckgrenzwert unter- bzw. überschreitet,

dadurch gekennzeichnet, dass das Prädiktionsmittel (8) so konfiguriert ist, dass es maxi-

- male und minimale Solldruckwerte vorhersagt.
2. Anlage (30) nach Anspruch 1, wobei das Prädiktionsmittel (8) dynamisches Lernen und Profile von Verbrauchern, Lieferanten, Kapazitäten und Ansprechzeiten der Rückspeiseanlage implementiert. 5
 3. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das Prädiktionsmittel (8) auf künstlicher Intelligenz basierte Algorithmen und/oder neuronale Netzwerke implementiert. 10
 4. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Prädiktionsmittel (8) historische Daten verwendet, insbesondere für eine große Anzahl von Datums- und Uhrzeitangaben, Druckwerte, die an verschiedenen Punkten des Verteilungsnetzes festgestellt wurden, und Auslösungen und Stopps von Sicherungen, Entspannung, Rückspeisungen, Verbräuchen, Einspeisungen. 15
 5. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Prädiktionsmittel (8) Wetterdaten verwendet. 20
 6. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Prädiktionsmittel (8) für jeden Gasverbraucher und für jeden Gaslieferanten im Verteilernetz verwendet: 25
 - das Verbrauchs- oder Gaseinspeiseprofil,
 - die Entfernung bis zur Rückspeiseanlage,
 - das Gasvolumen oder die Fläche des durchschnittlichen Rohrabschnitts bis zur Rückspeiseanlage. 30
 7. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Prädiktionsmittel (8) die Topologie des Verteilungsnetzes mit seinen Verzweigungen und den Sensorpositionen verwendet. 35
 8. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Prädiktionsmittel (8) Anstiegskurven für den Betrieb der Entspannungsstation und der Rückspeiseanlage verwendet. 40
 9. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, die ferner ein Mittel (6) zur Bestimmung einer für jeden Verdichter (21) anzuwendenden Belastungsrate in Abhängigkeit von der Vorhersage des Druckverlaufs umfasst, wobei die SPS (25) den Betrieb jedes Verdichters ansteuert, um die festgelegte Belastungsrate zu erreichen. 45
 10. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, ferner umfassend, 50
 - ein Mittel (19) zur Analyse der zu verdichtenden Gasqualität,
 - wobei das Fernkommunikationsmittel (9) so konfiguriert ist, dass es mindestens einen momentanen Wert für die Gasqualität empfängt, der vor oder nach der Rückspeiseanlage fernerfasst wird,
 - ein Mittel (5) zur Vorhersage der Entwicklung der Gasqualität im Netz vor der Rückspeiseanlage, abhängig mindestens von den empfangenen Qualitätswerten,
 - ein Mittel (4) zur Bestimmung eines Grenzwerts für die Gasqualität zum Abschalten mindestens eines Verdichters (21) in Abhängigkeit von der Vorhersage der Qualitätsentwicklung,
 - die SPS (25), die die Abschaltung mindestens eines Verdichters ansteuert, wenn die Qualität am Eingang jedes Verdichters unter dem festgelegten Qualitätsgrenzwert liegt.
 11. Anlage (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, die ferner ein Mittel (2) zur automatischen Auswahl eines Regelungsmodus entweder im Durchfluss- oder im Druckmodus umfasst, wobei der Regelungsmodus zwischen zwei Grenzwerten (SH, SB) eine Durchflussregelung ist und außerhalb des Intervalls zwischen diesen beiden Grenzwerten der Regelungsmodus eine Druckregelung ist. 20
 12. Verfahren (70) zum Betrieb einer Rückspeiseanlage (30), die umfasst: 30
 - mindestens einen Verdichter (21) zur Verdichtung von Gas aus einem Netz (15),
 - eine Automatik (25) zur Steuerung des Betriebs mindestens eines Verdichters, Verfahren **dadurch gekennzeichnet, dass** es folgende Schritte umfasst: 35
 - einen Schritt (71) zum Empfangen, über einen entfernten Sensor, mindestens eines Momentanwerts des entfernt erfassten Drucks der Rückspeiseanlage,
 - einen Schritt (73) der Vorhersage der Entwicklung des Netzdrucks vor der Rückspeiseanlage und der maximalen und minimalen Solldruckwerte,
 - einen Schritt (74) zur Bestimmung eines Druckgrenzwerts für das Stoppen oder Starten mindestens eines Verdichters in Abhängigkeit von der Vorhersage des Druckverlaufs,
 - einen Schritt (75) zum Stoppen bzw. Starten des Betriebs mindestens eines Verdichters, wenn der Eingangsdruck jedes Verdichters den festgelegten Druckgrenzwert unter- bzw. überschreitet.
 13. Verfahren (70) nach Anspruch 12, das ferner die fol-

genden Schritte umfasst:

- einen Schritt (77) zur Bestimmung der anzuwendenden Belastungswerte der Verdichtung in Abhängigkeit von der Vorhersage des Druckverlaufs,
- einen Schritt (78) zur Regelung des Betriebs jedes Verdichters, um die anzuwendende Belastungsrate zu erreichen.

14. Verfahren (70) nach einem der Ansprüche 12 oder 13, das ferner Folgendes umfasst:

- einen Schritt (71) zum Empfangen, über einen entfernten Sensor, mindestens eines Momentanwerts der entfernt erfassten Gasqualität der Rückspeiseanlage,
- einen Schritt (73) der Vorhersage der Entwicklung der Gasqualität vor der Rückspeiseanlage,
- einen Schritt (74) zur Bestimmung eines Grenzwerts für die Gasqualität zum Abschalten jedes Verdichters in Abhängigkeit von der Vorhersage der Qualitätsentwicklung,
- einen Schritt (75) zum Stoppen des Betriebs jedes Verdichters, wenn die Gasqualität am Eingang jedes Verdichters unter dem festgelegten Qualitätsgrenzwert liegt,
- einen Schritt (77) zur Bestimmung der anzuwendenden Belastungswerte der Verdichtung in Abhängigkeit von der Vorhersage der Gasqualitätsentwicklung und
- einen Schritt (78) zur Regelung des Betriebs jedes Verdichters, um die anzuwendende Belastungsrate zu erreichen.

Claims

1. Backfeeding installation (30), which comprises:

- at least one compressor (21) for compressing gas from a network (15);
- a programmable logic controller (25) for controlling the operation of at least one compressor;
- a remote communication means (9) for receiving at least one instantaneous pressure value captured remotely upstream or downstream of the backfeeding installation;
- a means (8) for predicting the change in pressure in the network upstream of the backfeeding installation, as a function of, at least, the pressure values received;
- a means (7) for determining a pressure threshold value for stopping and/or a pressure threshold value for starting at least one compressor as a function of the predicted pressure change, the programmable logic controller controlling the stopping or operation of at least one compressor

when the pressure at the inlet of each compressor is respectively lower, or higher, than the pressure threshold value that was determined, **characterised in that** the prediction means (8) is configured to predict maximum and minimum pressure setpoint values.

2. Installation (30) according to claim 1, wherein the prediction means (8) utilises a dynamic learning process and profiles of consumers, suppliers and capacities, and response times for the backfeeding installation.

3. Installation (30) according to one of claims 1 or 2, wherein the prediction means (8) utilises artificial intelligence algorithms and/or neural networks.

4. Installation (30) according to one of claims 1 to 3, wherein the prediction means (8) uses historic data, in particular, for a large number of dates and times, of pressures observed at different points in the distribution network and of the starting and stopping of safety, expansion, backfeeding, consumption, injection functions.

5. Installation (30) according to one of claims 1 to 4, wherein the prediction means (8) uses meteorological data.

6. Installation (30) according to one of claims 1 to 5, wherein the prediction means (8) uses the following for each gas consumer and each gas supplier present in the distribution network:

- the gas consumption or injection profile;
- the distance up to the backfeeding installation;
- the volume of gas or the average cross-section area of the line, up to the backfeeding installation.

7. Installation (30) according to one of claims 1 to 6, wherein the prediction means (8) uses the topology of the distribution network, with its branch lines and the positions of the sensors.

8. Installation (30) according to one of claims 1 to 7, wherein the prediction means (8) uses ramp-up curves for the expansion station and backfeeding installation.

9. Installation (30) according to one of claims 1 to 8, which also comprises a means (6) for determining a loading rate to be applied to each compressor (21) as a function of the predicted pressure change, the programmable logic controller (25) controlling the operation of each compressor to achieve the loading rate that was determined.

10. Installation (30) according to one of claims 1 to 9, which also comprises

- a means (19) for analysing the quality of the gas to be compressed; 5
- a remote communication means (9) configured for receiving at least one instantaneous gas quality value captured remotely upstream or downstream of the backfeeding installation; 10
- a means (5) for predicting the change in gas quality in the network upstream of the backfeeding installation, as a function of, at least, the quality values received;
- a means (4) for determining a gas quality threshold value for stopping at least one compressor (21) as a function of the predicted quality change, 15

the programmable logic controller (25) controlling the stopping of at least one compressor when the quality at the inlet of each compressor is lower than the quality threshold value that was determined. 20

11. Installation (30) according to one of claims 1 to 10, which also comprises a means (2) for automatically selecting a flow rate or pressure regulation mode, wherein the regulation mode is a flow rate regulation between two threshold values (SH, SB), and the regulation mode is pressure regulation outside the bounds of these two threshold values. 25 30

12. Method (70) for operating a backfeeding installation (30) comprising:

- at least one compressor (21) for compressing gas from a network (15); 35
- a programmable logic controller (25) for controlling the operation of at least one compressor, 40

which method is **characterised in that** it comprises the following steps: 40

- a step (71) of receiving, from a remote sensor, at least one instantaneous pressure value captured remotely from the backfeeding installation; 45
- a step (73) of predicting the change in pressure in the network upstream of the backfeeding installation, and maximum and minimum pressure setpoint values;
- a step (74) of determining a pressure threshold value for stopping or starting at least one compressor as a function of the predicted pressure change; 50
- a step (75) of respectively stopping or starting the operation of at least one compressor when the pressure at the inlet of each compressor is respectively lower, or higher, than the pressure threshold value that was determined. 55

13. Method (70) according to claim 12, which also comprises:

- a step (77) of determining loading rates for the compression to be applied as a function of the predicted pressure change;
- a step (78) of regulating the operation of each compressor to achieve the loading rate to be applied.

14. Method (70) according to one of claims 12 to 13, which also comprises:

- a step (71) of receiving, from a remote sensor, at least one instantaneous gas quality value captured remotely from the backfeeding installation;
- a step (73) of predicting the change in gas quality upstream of the backfeeding installation;
- a step (74) of determining a gas quality threshold value for stopping each compressor as a function of the predicted quality change;
- a step (75) of stopping the operation of each compressor when the gas quality at the inlet of each compressor is lower than the quality threshold value that was determined;
- a step (77) of determining loading rates for the compression to be applied as a function of the predicted gas quality change; and
- a step (78) of regulating the operation of each compressor to achieve the loading rate to be applied.

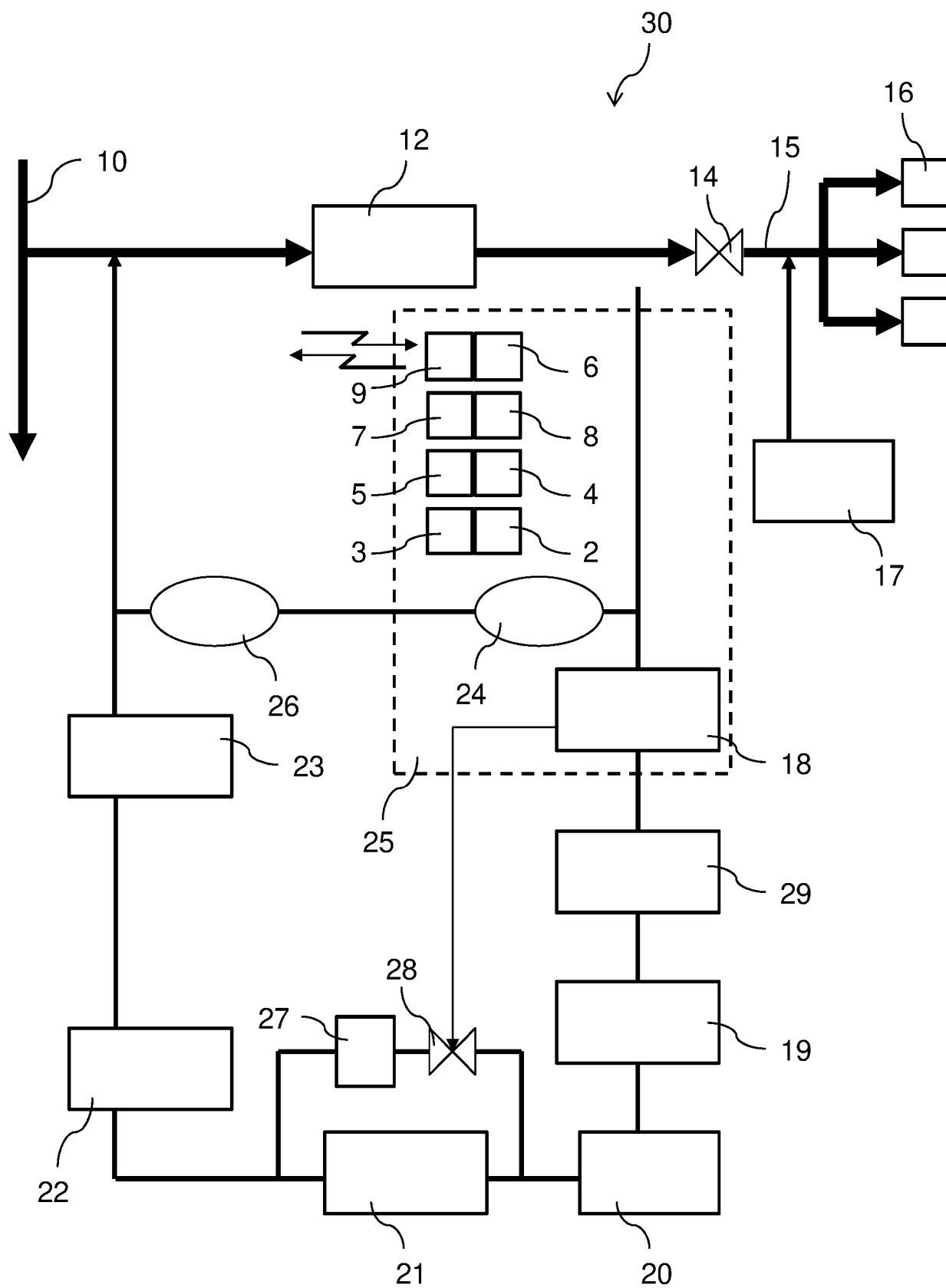


Figure 1

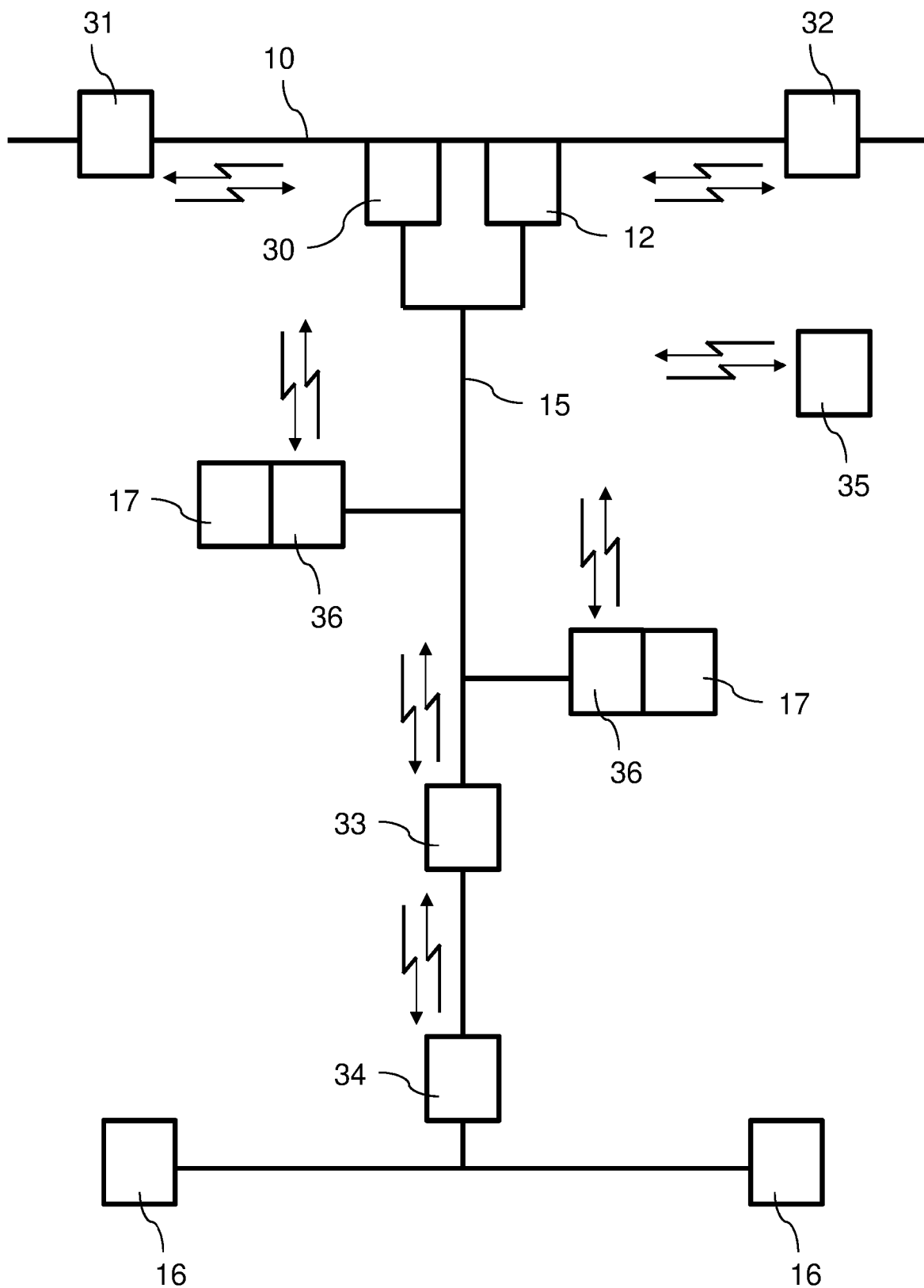


Figure 2

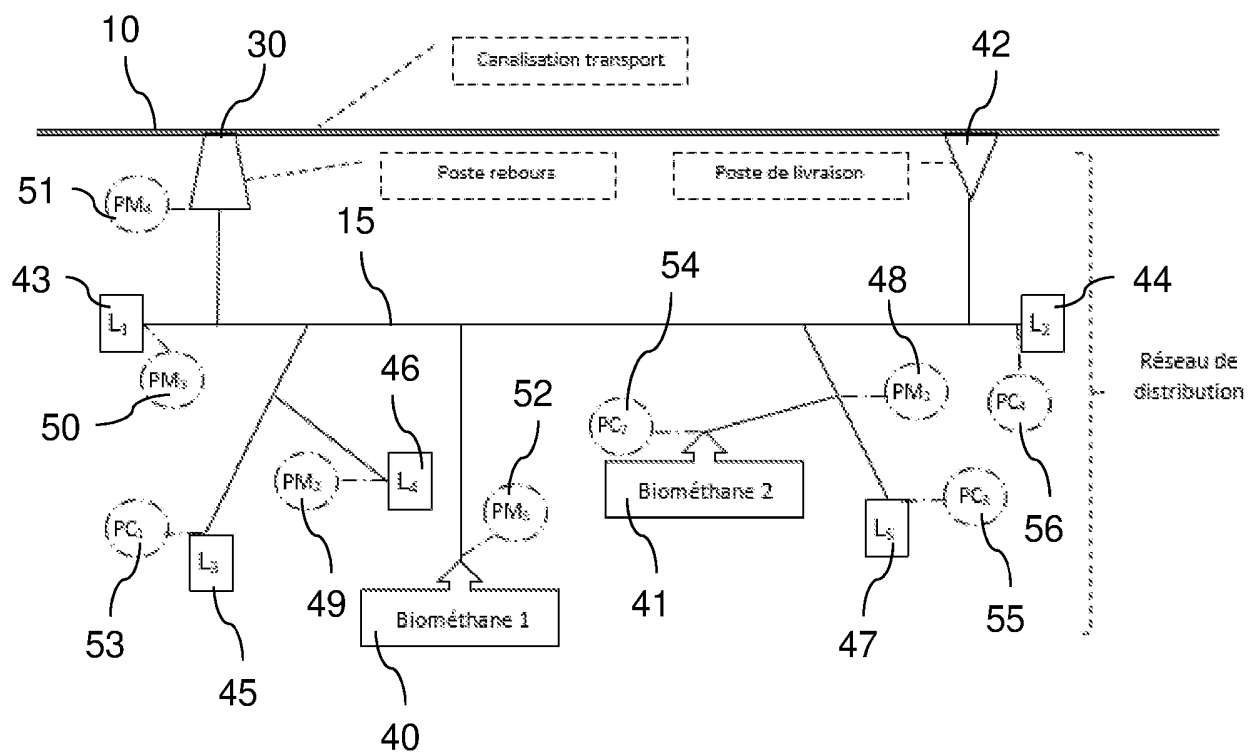


Figure 3

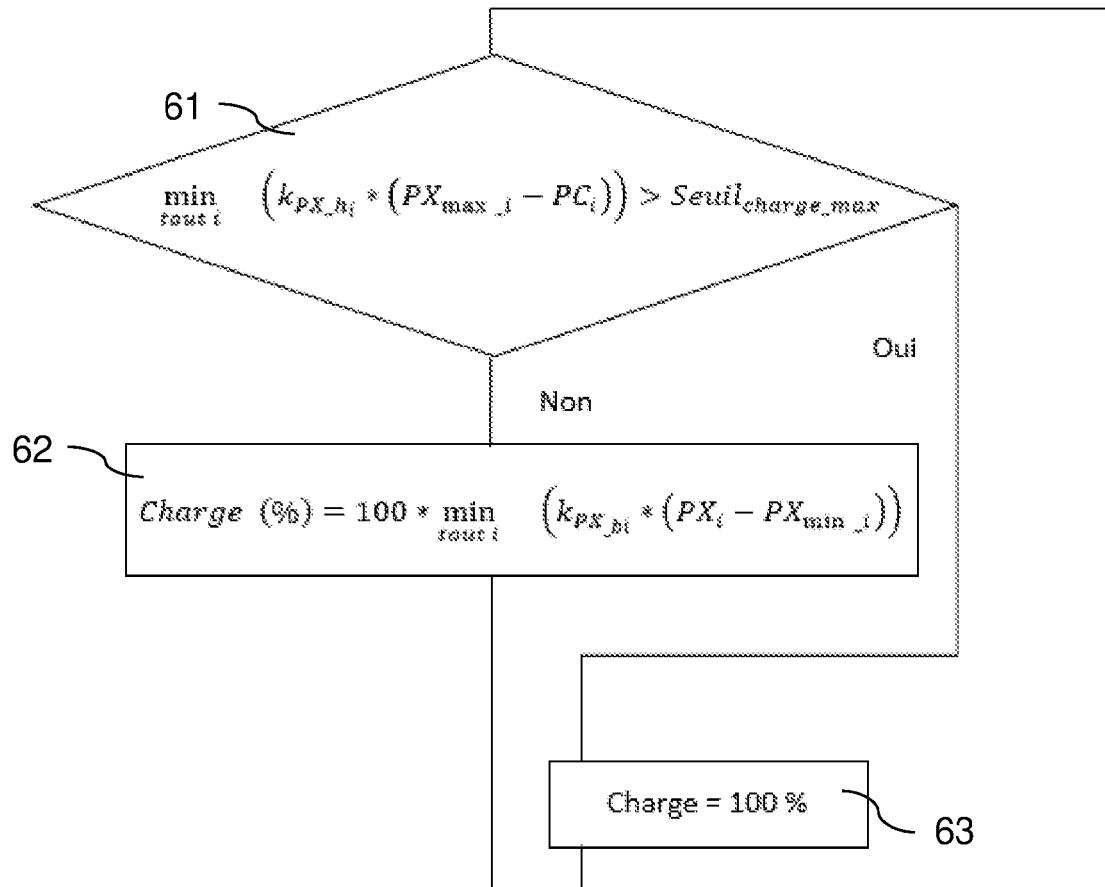


Figure 4

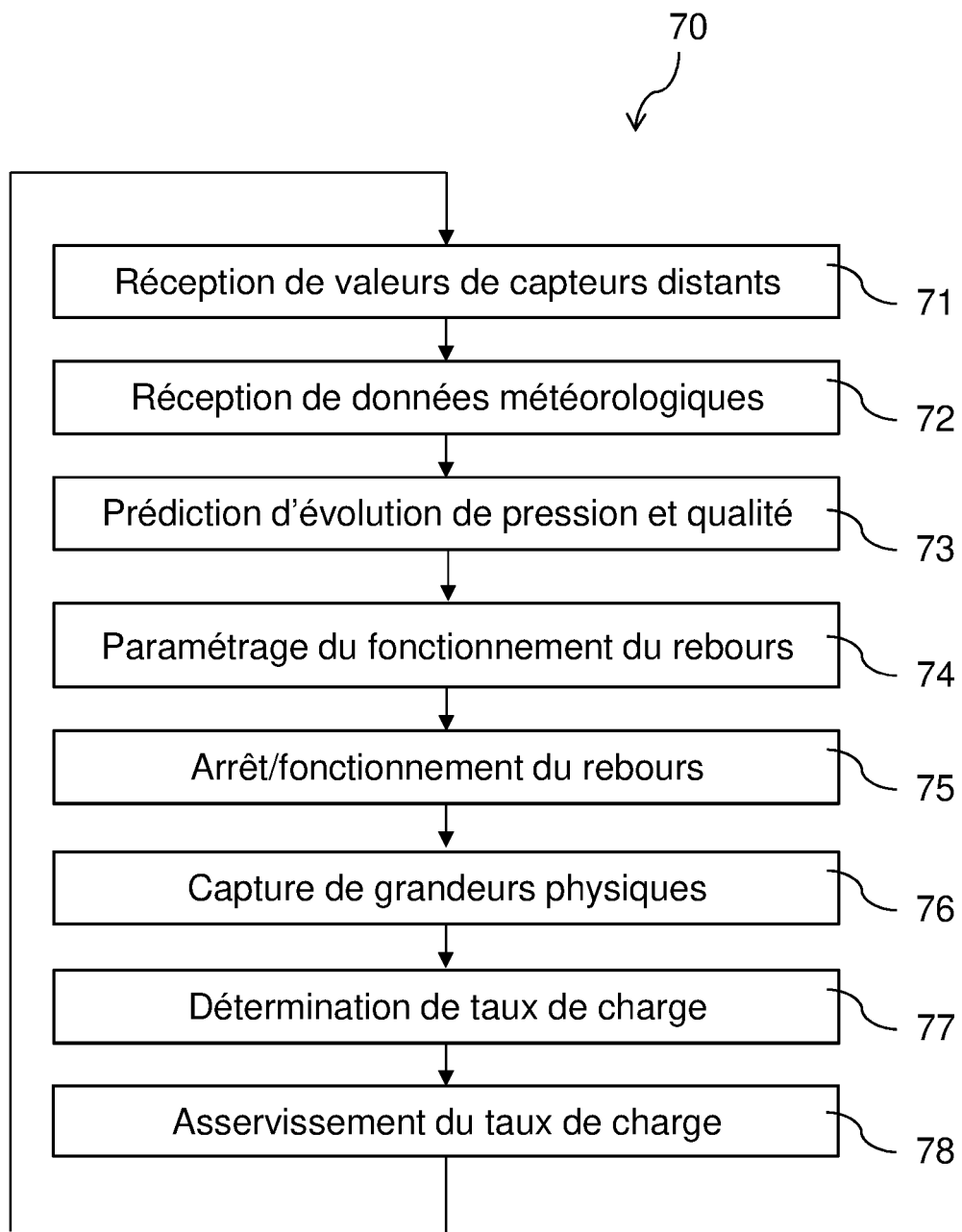


Figure 5

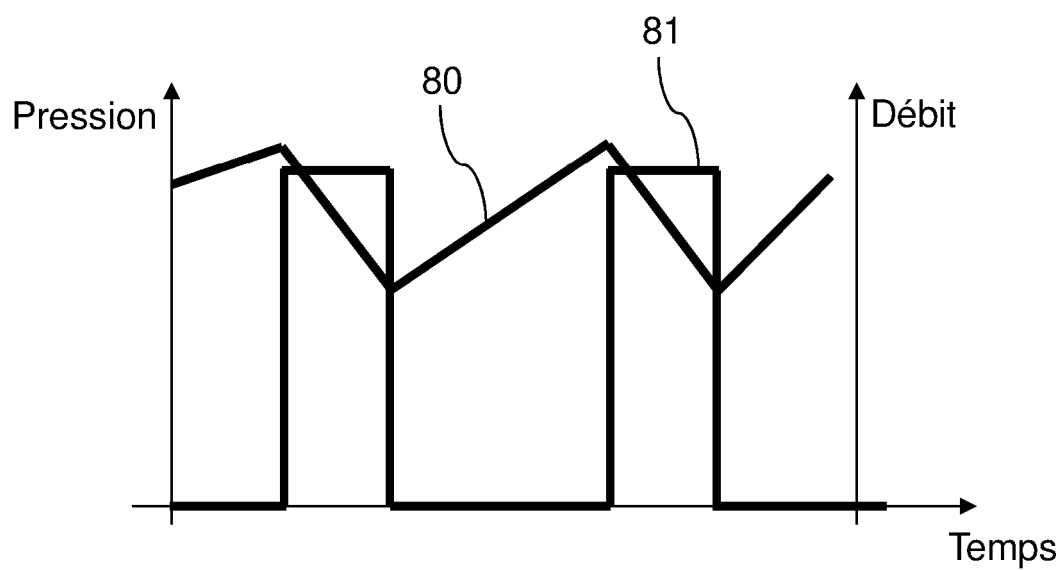


Figure 6

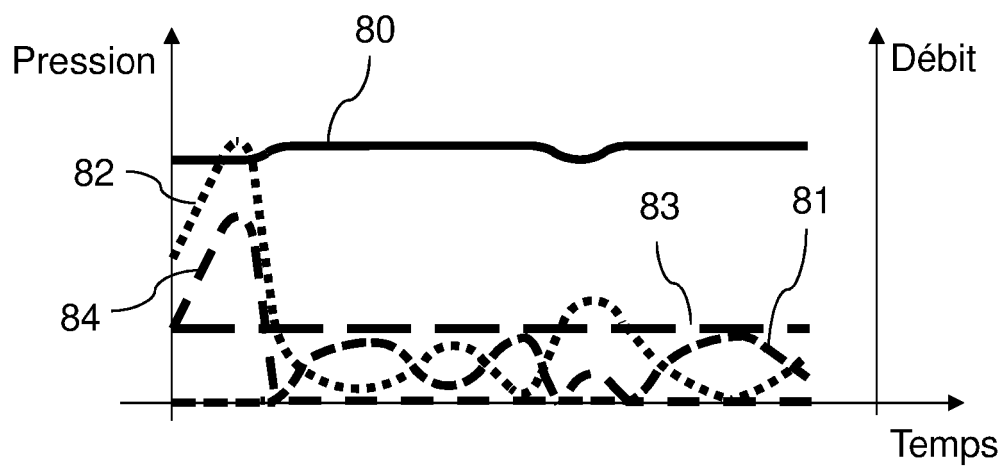


Figure 7

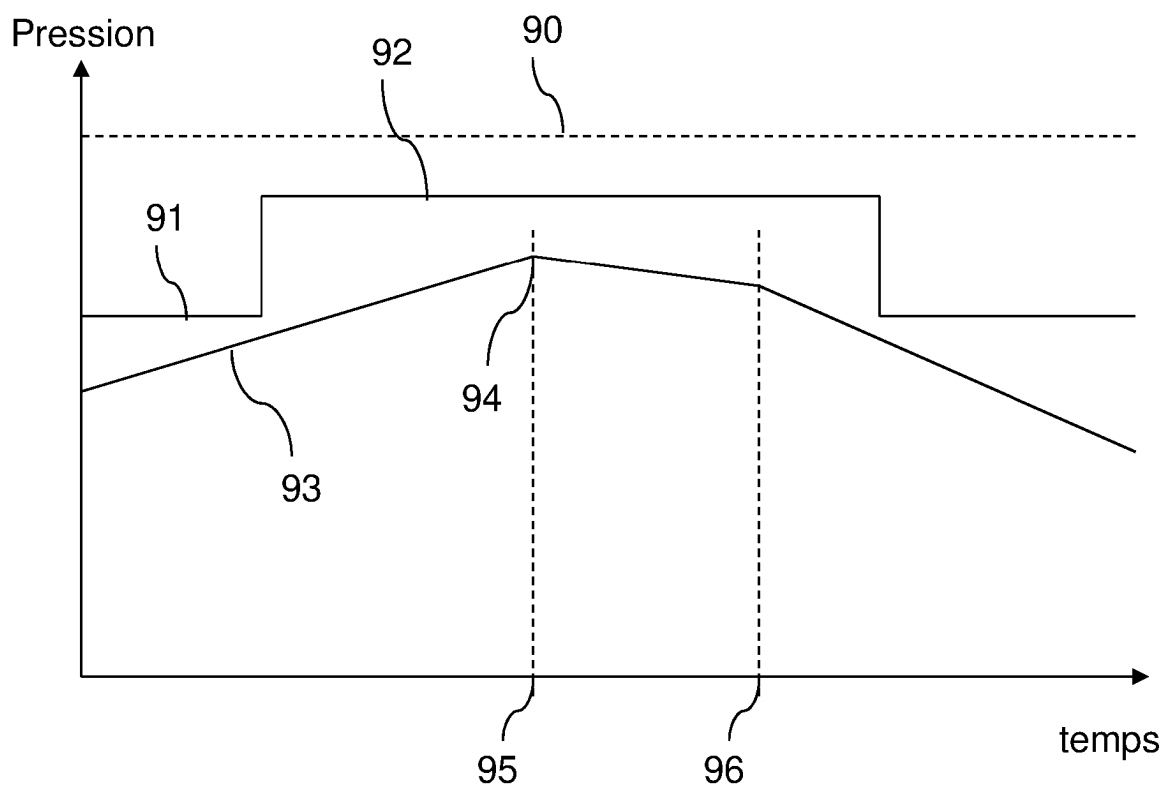


Figure 8

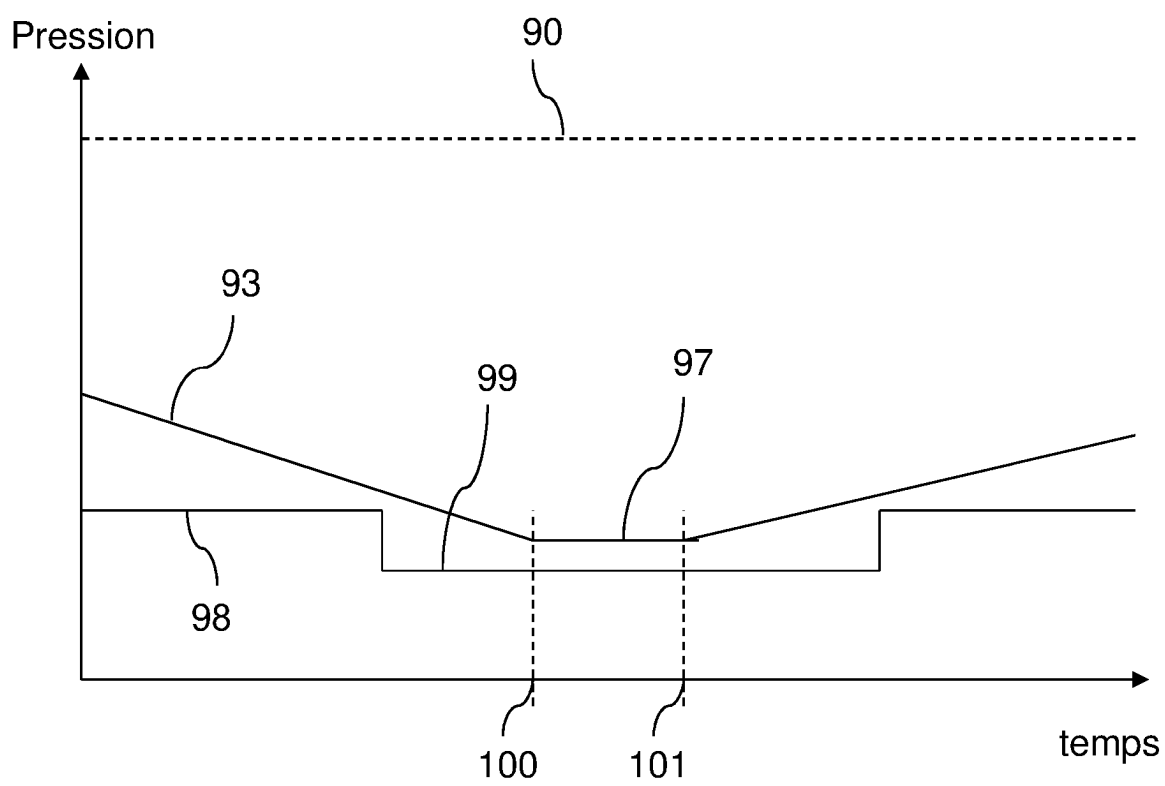


Figure 9

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- DE 102009038128 [0009]