

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : 3 109 217

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 20 03527

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 N 15/06 (2019.12), B 64 C 39/02

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 08.04.20.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.10.21 Bulletin 21/41.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : TOTAL SA Société anonyme — FR,
Centre national de la recherche scientifique Etablissement
public à caractère scientifique et technique — FR
et UNIVERSITE DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE
Établissement Public à caractère Scientifique, Culturel
et Professionnel — FR.

⑦② Inventeur(s) : DONNAT Ludovic et DUCLAUX Olivier.

⑦③ Titulaire(s) : TOTAL SA Société anonyme, Centre national
de la recherche scientifique Etablissement public à caractère
scientifique et technique, UNIVERSITE DE REIMS CHAM-
PAGNE-ARDENNE Établissement Public à caractère Scienti-
fique, Culturel et Professionnel.

⑦④ Mandataire(s) : Lavoix.

⑤④ Méthode de calcul d'un flux d'au moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère, procédé de mesure,
système et nécessaire associés.

⑤⑦ Méthode de calcul d'un flux d'au
moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère, pro-
cédé de mesure, système et nécessaire associés

Cette méthode comporte les étapes suivantes :

- récupération de données de teneurs en au moins un
gaz, mesurées dans l'atmosphère à l'écart de la source (14)
suivant une pluralité de lignes parallèles à une première
direction ;

- intégration des teneurs relevées sur chaque ligne sui-
vant la première direction pour obtenir une teneur globale in-
tégrée sur chaque ligne ;

- intégration du produit des teneurs globales intégrées
sur chaque ligne par une vitesse de vent présent sur la ligne
suivant une deuxième direction perpendiculaire à la pre-
mière direction, pour obtenir un flux brut de gaz ;

- détermination du flux de gaz émis par la source (14), à
partir du flux brut de gaz.

Figure pour l'abrégé: figure 2

FR 3 109 217 - A1



Description

Titre de l'invention : Méthode de calcul d'un flux d'au moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère, procédé de mesure, système et nécessaire associés

- [0001] La présente invention concerne une méthode de calcul d'un flux d'au moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère, mis en œuvre par un système de calcul.
- [0002] Les gaz à mesurer sont notamment des gaz à effet de serre tel que le méthane ou le dioxyde de carbone.
- [0003] Les préoccupations sur la protection de l'environnement ont contribué au renforcement de la législation sur les émissions polluantes, notamment en Europe.
- [0004] De ce fait, les unités industrielles, telles que celles présentes dans l'industrie pétrolière ou chimique doivent s'adapter à des contraintes environnementales de plus en plus exigeantes.
- [0005] En particulier, des gaz à effet de serre sont émis lors d'opérations d'exploitation, de transport, de raffinage, et de dépôt des hydrocarbures. Ces émissions sont suivies par les exploitants et font régulièrement l'objet de mesures de réduction.
- [0006] Il est en particulier nécessaire de caractériser quelles sont les sources de gaz à effet de serre et quelles sont les quantités émises par ces sources pour s'assurer de leur contrôle et reporter les progrès effectués.
- [0007] Toutefois, l'identification des sources d'émission de gaz à effet de serre et la quantification des émissions diffuses et fugitives ne donnent pas entière satisfaction.
- [0008] En effet, les émissions sont très difficiles à mesurer, car souvent non canalisées, et potentiellement près de bassins ou de lacs ou à des endroits inaccessibles, par exemple en hauteur ou en milieu d'unité.
- [0009] Une difficulté majeure pour évaluer les émissions d'une source ponctuelle au sein d'une installation est souvent la difficulté, voire l'impossibilité de se rendre au plus près de la source pour mesurer le flux de gaz émis par la source dans l'atmosphère. En outre, compte tenu du vent, le flux de gaz engendré par la source se disperse et se propage dans l'atmosphère sous forme d'un panache. Il est donc généralement difficile et peu précis de mesurer des émissions émises par une source ponctuelle lorsqu'on s'éloigne de la source.
- [0010] Un but de l'invention est de disposer d'une méthode permettant de calculer le flux d'au moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère, en particulier d'un gaz à effet de serre, la méthode ne nécessitant pas de données prises au plus près de la source, tout en étant précise et simple à mettre en œuvre.
- [0011] A cet effet, l'invention a pour objet une méthode du type précité, comportant les

étapes suivantes :

- [0012] - récupération de données de teneurs en au moins un gaz, mesurées dans l'atmosphère à l'écart de la source suivant une pluralité de lignes parallèles à une première direction ;
- [0013] - intégration des teneurs relevées sur chaque ligne suivant la première direction pour obtenir une teneur globale intégrée sur chaque ligne ;
- [0014] - intégration du produit des teneurs globales intégrées sur chaque ligne par une vitesse de vent présent sur la ligne suivant une deuxième direction perpendiculaire à la première direction, pour obtenir un flux brut de gaz ;
- [0015] - détermination du flux de gaz émis par la source, à partir du flux brut de gaz.
- [0016] La méthode selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toute combinaison technique possible :
- [0017] - la méthode comprend, entre les étapes d'intégration, une étape d'interpolation d'une courbe de teneurs globales intégrées en fonction d'une coordonnée suivant la deuxième direction, à partir des teneurs globales intégrées calculées ;
- [0018] - l'interpolation est réalisée par une interpolation cubique, en particulier par une interpolation cubique par partie ;
- [0019] - la méthode comporte une étape préalable de récupération de données de vitesses de vent présent sur chaque ligne ;
- [0020] - la méthode comporte une étape préalable de détermination d'un vent moyen commun à toutes les lignes ;
- [0021] - la méthode comprend, après l'étape de récupération des données de teneurs, le calcul d'un fond continu de gaz présent dans l'atmosphère et le traitement des données de teneurs pour éliminer le fond continu ;
- [0022] - la détermination du fond continu comprend pour chaque ligne, le calcul d'une valeur moyenne de teneurs mesurée sur la ligne, puis l'élimination des teneurs situées au-dessus de la valeur moyenne, et la répétition des étapes précédentes jusqu'à ce que la différence entre deux valeurs moyennes successives soit inférieure à un seuil de convergence ;
- [0023] - la première direction est horizontale, la deuxième direction étant verticale ;
- [0024] - les flux d'au moins deux gaz émis par la source sont calculés.
- [0025] L'invention a également pour objet un procédé de mesure des émissions d'une source dans l'atmosphère comprenant les étapes suivantes :
- [0026] - collecte de teneurs en au moins un gaz dans l'atmosphère à l'écart de la source suivant une pluralité de lignes parallèles à une première direction par vol d'un drone muni d'un ensemble de mesure de données représentatives des teneurs en au moins un gaz ;
- [0027] - transfert des données représentatives collectées à un système de calcul ;

- [0028] - mise en œuvre par le système de calcul de la méthode de calcul telle que définie plus haut.
- [0029] Le procédé de mesure selon l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toute combinaison techniquement possible :
- [0030] - le procédé comprend une étape préalable de détermination d'une direction du vent et/ou d'une configuration d'un panache d'émission en aval de la source, le vol du drone étant effectué en fonction de la configuration de panache prédéterminée.
- [0031] - le procédé comprend une étape de mesure de la vitesse du vent.
- [0032] L'invention a également pour objet un système de calcul d'un flux d'au moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère, comportant :
- [0033] - un module d'obtention de données de teneurs en au moins un gaz, mesurées dans l'atmosphère à l'écart de la source suivant une pluralité de lignes parallèles à une première direction ;
- [0034] - un module d'intégration des teneurs relevées sur chaque ligne suivant la première direction pour obtenir une teneur globale intégrée sur chaque ligne ;
- [0035] - un module d'intégration du produit des teneurs globales intégrées sur chaque ligne par une vitesse de vent présent sur la ligne suivant une deuxième direction perpendiculaire à la première direction, pour obtenir un flux brut de gaz ;
- [0036] - un module de détermination du flux de gaz émis par la source, à partir du flux brut de gaz.
- [0037] L'invention a aussi pour objet un nécessaire de mesure des émissions d'au moins un gaz par une source dans l'atmosphère comportant :
- [0038] - un drone, apte à voler dans l'atmosphère à l'écart de la source suivant une pluralité de lignes parallèles à une première direction ;
- [0039] le drone étant apte à mesurer des données représentatives des teneurs en au moins un gaz suivant chaque ligne parallèle à la première direction ;
- [0040] - un système de calcul tel que défini plus haut, propre à recevoir les données représentatives mesurées par le drone.
- [0041] Le nécessaire selon l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toute combinaison techniquement possible :
- [0042] - le drone est apte à mesurer en continu des données représentatives des teneurs d'au moins deux gaz présents dans l'atmosphère.
- [0043] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquelles :
- [0044] - [fig.1] la figure 1 est une vue schématique d'un premier nécessaire de mesure

d'émissions selon l'invention ;

- [0045] - [fig.2] la figure 2 est une vue d'une source de gaz au sein d'une installation, et du panache émis par la source de gaz.
- [0046] - [fig.3] la figure 3 est une détaillée du panache résultant de l'émission par la source dans des conditions de vent établi ;
- [0047] - [fig.4] la figure 4 est vue du plan de vol mis en œuvre par le drone du nécessaire de la figure 1 ;
- [0048] - [fig.5] la figure 5 est une vue des mesures réalisées sur une ligne horizontale lors de la mise en œuvre du plan de vol de la figure 4 ;
- [0049] - [fig.6] la figure 6 est une vue d'une courbe reliant les teneurs intégrées obtenues à partir de plusieurs lignes en fonction de l'altitude, et l'interpolation faite entre ces teneurs ;
- [0050] - [fig.7] la figure 7 est une vue d'une estimation de la vitesse du vent en fonction de l'altitude, pouvant être utilisée dans la mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
- [0051] - [fig.8] la figure 8 est une vue analogue à la figure 3, dans le cas d'une émission à faibles conditions de vent.
- [0052] Un nécessaire 10 de mesure d'émissions d'au moins un gaz émis par une source dans l'atmosphère est illustré schématiquement sur la figure 1. Le nécessaire 10 est destiné à mettre en œuvre un procédé de mesure d'émissions d'une installation 12 industrielle, représentée schématiquement sur la figure 2.
- [0053] De préférence, l'émission en au moins deux gaz présents dans l'atmosphère est mesurée par le procédé selon l'invention. Les gaz sont de préférence le méthane et le dioxyde de carbone.
- [0054] Dans des variantes, d'autres gaz sont mesurables, tel que les gaz aromatiques, notamment le benzène ou encore le 1,3 Butadiène, le monoxyde de carbone, l'éthane et plus généralement les Composés Organiques Volatils.
- [0055] L'installation industrielle 12 est notamment une installation pétrolière, en particulier une installation d'exploitation, de transport, de raffinage, de traitement ou de dépôt d'hydrocarbures située en mer ou à terre. L'installation 12 comporte au moins une source 14 émettant des gaz dont la teneur est mesurée.
- [0056] Dans l'exemple représenté sur la figure 3, la source 14 est une torche. Elle émet des gaz suivant un panache 16 qui se dégage à partir de la source 14 et qui se propage sous l'effet du vent V.
- [0057] Le panache 16 est entraîné par le vent V circulant dans l'atmosphère au voisinage de la source 14. Il présente avantageusement une zone 18 de surélévation du panache 16 sensiblement verticale et une zone 20 de propagation du panache, qui dans cet exemple est sensiblement horizontale.
- [0058] Dans l'exemple de la figure 8, dans le cas où le vent V est plus faible, la zone de sur-

élévation 18 est plus haute et la zone de propagation 20 s'étend de manière inclinée par rapport à l'horizontale.

- [0059] En référence à la figure 1, pour mettre en œuvre le procédé de mesure, le nécessaire de mesure 10 comporte un drone 22 de collecte de données représentatives de teneurs en au moins un gaz, de préférence en au moins deux gaz, à une pluralité de positions dans l'atmosphère, à l'écart de la source 14.
- [0060] Le nécessaire 10 comprend en outre un système de calcul 24, propre à mettre en œuvre une méthode de calcul d'un flux du ou de chaque gaz émis par la source 14 dans l'atmosphère, à partir des données représentatives de teneurs en chaque gaz dans l'atmosphère mesurées par le drone 22.
- [0061] Le drone 22 est propre à réaliser les mesures nécessaires à la collecte de données représentatives des teneurs en au moins un gaz présent dans le panache 16, à l'écart de la source 14. Il comporte un châssis 30, un ensemble de propulsion 32, propre à permettre le décollage du châssis 30 au-dessus et à l'écart du sol et son déplacement en vol dans l'atmosphère au-dessus du sol.
- [0062] Le drone 22 comporte en outre un ensemble de mesure 34, un ensemble 36 de commande de l'ensemble de mesure 34 et de préférence, un système de télé-transmission 38.
- [0063] En référence à la figure 1, l'ensemble de propulsion 32 comporte une pluralité d'organes de propulsion 32A, qui sont ici des hélices entraînées en rotation par un moteur.
- [0064] L'ensemble de propulsion 32 comporte en outre une source d'énergie 32B formée ici par une batterie et un système 33 de localisation et de commande du déplacement du drone 22 dans l'atmosphère.
- [0065] Dans cet exemple, le drone 22 est un drone multi rotor à voilure tournante. Il est dépourvu d'ailes, sa portance étant assurée par l'ensemble de propulsion 32.
- [0066] Le drone 22 est par exemple un drone quadricoptère à voilure tournante, notamment un drone DJI M200 commercialisé par la société DJI.
- [0067] L'ensemble de propulsion 32 comporte une pluralité d'hélices rotatives autour d'axes sensiblement verticaux. Par « sensiblement verticaux », on entend généralement que les axes de rotation des hélices sont inclinés de moins de 30° par rapport à la verticale.
- [0068] Lorsque les moteurs des hélices sont alimentés électriquement par la batterie, les hélices sont entraînées en rotation autour de leur axe, entraînant un flux d'air descendant.
- [0069] Le système de localisation et de commande 33 comporte un capteur de position, notamment un GPS et/ou une centrale inertielle. Il comprend en outre une unité de commande, propre à piloter le déplacement du drone 22 le long d'une trajectoire pré-enregistrée avant le vol et chargée dans le système 33, ou de manière déportée et

manuelle via une télécommande déportée.

- [0070] Le drone 22 est ainsi propre à suivre automatiquement une trajectoire prédéfinie, ou alternativement, à être piloté manuellement par un opérateur, pour réaliser un plan de vol.
- [0071] De préférence, pour la mise en œuvre du procédé de mesure, le drone 22 est propre à effectuer une trajectoire suivant un déplacement en échelle rampante, telle qu'illustré par la figure 4.
- [0072] Le drone 22 se déplace suivant une pluralité de lignes 50 parallèles à une première direction D1, avec un segment de connexion 52 entre chaque paire de lignes parallèles 50 adjacentes. Le segment de connexion 52 s'effectue suivant une deuxième direction D2 transverse à la première direction D1.
- [0073] Ici, la première direction D1 est une direction horizontale et la deuxième direction D2 est une direction verticale.
- [0074] Dans cet exemple, toutes les lignes parallèles 50 balayées par le drone 22 s'étendent sensiblement dans un même plan Pm de mesure vertical.
- [0075] L'étendue E1 des lignes 50 suivant la première direction D1 est choisie en fonction de la largeur du panache 16, pour balayer tout le panache 16. Cette étendue E1 est généralement supérieure à 20 m et est comprise entre 20 m et 500 m.
- [0076] La distance entre les lignes 50 est définie par une étendue E2 des segments de connexion 52 suivant la deuxième direction. Cette étendue E2 est par exemple supérieure à 1 m et notamment comprise entre 1 m et 50 m.
- [0077] L'ensemble de mesure 34 comporte au moins un capteur propre à réaliser des mesures de données représentatives de teneurs en au moins un gaz présent dans l'atmosphère, en une pluralité de points le long de chaque ligne 50.
- [0078] De préférence, les données représentatives des teneurs en au moins deux gaz sont collectées par l'ensemble de mesure 34 le long de chaque ligne 50.
- [0079] Les mesures sont réalisées en continu le long de la ligne 50. La fréquence de mesure de données représentatives en chaque teneur en gaz est par exemple supérieure à 1Hz et est notamment comprise 1 Hz et 100 Hz.
- [0080] Un exemple d'ensemble de mesure 34 est décrit dans la demande n° 20 03027 de la Demanderesse, déposée le à l'Institut National de la Propriété Industrielle en France, dont le titre est « Drone de mesure de données représentatives de teneurs en au moins deux gaz présents dans l'atmosphère à l'écart du sol et procédé de mesure associé ».
- [0081] Le système de commande 33 comporte une unité de recueil de données qui comprend au moins une mémoire propre à stocker les données représentatives de chaque teneur en chaque gaz, associée à la position géographique le long de chaque ligne 50.
- [0082] L'unité de recueil de données est raccordée au système de télétransmission 38 pour permettre l'export des données vers le système de calcul 24, lors du vol du drone ou

après le vol du drone.

- [0083] Le système de calcul 24 est ici situé au sol. Il comporte au moins un calculateur 60 et une interface homme machine comprenant un organe de commande 62 tel qu'un clavier, une souris et/ou un écran tactile, l'interface homme machine comportant aussi un afficheur 64, en particulier un écran.
- [0084] Le calculateur 60 comprend de manière connue au moins un processeur 66 et une mémoire 68 comportant des modules logiciels propres à être exécutés par le processeur 66 pour réaliser des fonctions. En variante, le calculateur 60 comporte des composants logiques programmables ou des circuits intégrés dédiés, destinés à réaliser les fonctions des modules qui seront décrits ci-après.
- [0085] En référence à la figure 1, la mémoire 68 contient un module 70 d'obtention et de traitement initial des données représentatives de teneurs en au moins un gaz, pour calculer, sur chaque ligne parallèle 50, des teneurs successives en au moins un gaz le long de la ligne parallèle 50, dont un exemple est visible sur la figure 5.
- [0086] La mémoire 68 contient en outre un module 72 d'intégration des teneurs sur chaque ligne 50 suivant la première direction D1, pour obtenir une teneur globale intégrée TGI sur chaque ligne 50.
- [0087] La mémoire 68 contient en outre un module 74 d'interpolation d'une courbe 75 de teneurs globales intégrées TGI le long de la deuxième direction D2 transversale à la première direction D1 (voir figure 6), à partir des teneurs globales intégrées TGI calculées sur chaque ligne 50 et un module 76 d'intégration du produit de la teneur globale intégrée TGI selon la première direction par une vitesse de vent V, l'intégration étant réalisée suivant la deuxième direction D2, pour obtenir un flux brut Q_b de gaz circulant dans le panache 16.
- [0088] La mémoire 68 contient également un module 78 de détermination d'un flux Q_g de gaz émis par la source 14 par correction du flux de gaz brut Q_b en fonction de la conformation du panache pour obtenir.
- [0089] Le module d'obtention et de traitement 70 est propre à recevoir les données représentatives des teneurs mesurées en au moins un gaz, de préférence en au moins deux gaz, le long de chaque ligne 50, telles que mesurées par le drone 22 à chaque point de mesure, associées à la position géographique X du point de mesure le long de la ligne 50.
- [0090] Il est propre à transformer les données représentatives mesurées, en teneurs en chacun des gaz, à chaque point de mesure X sur chaque ligne 50, sur la base d'une courbe de calibration associée à chaque gaz.
- [0091] Une courbe 71 de teneurs T en chaque gaz en fonction d'une première coordonnée X le long de la ligne 50 suivant la direction D1 est ainsi obtenue comme illustré sur la figure 5.

- [0092] Le module d'obtention et de traitement 70 est en outre propre à éventuellement filtrer les teneurs obtenues.
- [0093] Selon une première méthode, le module d'obtention et de traitement 70 est propre à détecter des pics 71A de teneur sur chaque courbe 71, sur la base d'un seuil S prédéterminé d'occurrence d'un pic, puis à supprimer les pics 71A observés de la courbe obtenue pour obtenir une courbe de valeurs de fond en fonction de la première coordonnée X.
- [0094] Dans une variante, le module d'obtention et de traitement 70 est propre à mettre en œuvre un algorithme itératif dans lequel la valeur moyenne des teneurs le long de la ligne 50 est calculée, puis dans lequel toutes les teneurs se situant au-dessus de la valeur moyenne sont supprimées de la courbe 71, puis à répéter les étapes de calcul de la valeur moyenne et de soustraction des teneurs se situant au-dessus de la valeur moyenne jusqu'à ce qu'un critère de convergence soit atteint.
- [0095] Le critère de convergence est par exemple que la différence entre les valeurs moyennes successives entre deux itérations soit inférieure à une valeur prédéterminée par exemple inférieure à 10%.
- [0096] Ainsi, un fond continu est déterminé et est soustrait de la courbe 71 représentant les teneurs T en fonction de la position X sur chaque ligne 50.
- [0097] Le module d'intégration 72 est propre à intégrer la courbe 71 représentant les teneurs en chaque gaz le long de chaque ligne 50, suivant la première direction D1, sur toute la largeur de la ligne 50 pour obtenir une teneur globale intégrée TGI sur chaque ligne 50, par l'équation suivante :
- [0098]
$$TGI = \int_{X_{min}}^{X_{max}} T(X) dX$$
- [0099] où X min et X max sont les coordonnées géographiques caractérisant les bornes du panaches définies suivant l'étendue E1 du panache parallèlement à la première direction D1.
- [0100] Selon la première méthode de traitement des données par le module 70, l'intégrale de la courbe des valeurs de fond est également calculée et est soustraite de l'intégrale précédente.
- [0101] Selon la deuxième méthode, la courbe de valeurs de fond est soustraite de la courbe 70 des teneurs, avant intégration.
- [0102] Ainsi, pour chaque ligne 50 dans laquelle une mesure est intervenue, correspondant à une coordonnée Z suivant la deuxième direction D2, une teneur globale intégrée TGI (Z) est obtenue.
- [0103] Le module d'interpolation 74 est propre à interpoler, à partir des teneurs globales intégrées TGI(Z) sur chaque ligne 50, associée à leurs coordonnées Z suivant la deuxième direction, une courbe 75 continue de teneurs globales intégrées TGI en

fonction de la coordonnée Z suivant la deuxième direction D2, comme illustré par la figure 6. La courbe interpolée 75 est par exemple obtenue par une interpolation cubique, en particulier une interpolation cubique par partie jusqu'à convergence.

[0104] Le module d'intégration 76 est propre à intégrer le produit de la vitesse du vent $V(Z)$ mesurée ou obtenue à chaque coordonnée Z le long de la deuxième direction D2 avec la teneur globale intégrée $TGI(Z)$ correspondant à cette coordonnée, obtenue à partir de la courbe interpolée 75, pour obtenir un flux brut Q_b passant par le plan de mesure P_m suivant la formule :

$$[0105] \quad Q_b = \int_{Z_{min}}^{Z_{max}} V(Z) \times TGI(Z) dZ$$

[0106] où Z_{min} et Z_{max} sont les coordonnées minimales et maximales le long de la deuxième direction D2 pour lesquelles une ligne 50 de mesures a été obtenue.

[0107] Dans l'exemple illustré par la figure 2, la vitesse du vent $V(Z)$ est prise comme une vitesse du vent moyenne constante selon la deuxième coordonnée Z.

[0108] En variante, une courbe de vent $V(Z)$ en fonction de la deuxième coordonnée suivant la deuxième direction Z est établie, tel qu'illustrée par la figure 7, et la vitesse du vent $V(Z)$ à chaque deuxième coordonnée Z est utilisée pour calculer le produit avec la teneur globale intégrée $TGI(Z)$ à la deuxième coordonnée Z et réaliser l'intégration.

[0109] Le module d'intégration 76 est ainsi apte à obtenir un flux total brut Q_b de chaque gaz mesuré passant à travers le plan de mesure P_m visible sur la figure 3.

[0110] Puis, le module de détermination 78 est propre à corriger la valeur de flux total brut Q_b mesuré pour tenir compte de la conformation du panache 16.

[0111] Par exemple, dans le cas où le plan de mesure P_m est vertical, un angle d'inclinaison α de la direction de flux dans le panache 16 au niveau du plan de mesure P_m est calculé, en fonction d'une valeur de la hauteur de la zone de surélévation 18, et d'une forme supposée de panache dans la zone de transport 20, calculée en fonction du vent.

[0112] Un flux total de gaz Q_t passant à travers un plan P_p perpendiculaire à la direction de flux est alors calculé sur la base du flux brut Q_b calculé par le module d'intégration 76 et de l'angle d'inclinaison α déterminé, par exemple en supposant que la section du panache est circulaire perpendiculairement au flux.

[0113] Selon le principe de conservation de la masse, le flux de gaz Q_g émis par la source 14 est alors égal au flux passant par le plan P_p .

[0114] Un procédé de mesure va maintenant être décrit. Initialement, le drone 22 est mis en vol pour effectuer une trajectoire suivant un déplacement en échelle rampante dans un plan de mesure P_m , tel qu'illustré par la figure 4.

[0115] Comme indiqué plus haut, le drone 22 se déplace suivant une pluralité de lignes 50 parallèles à une première direction D1 avec un segment de connexion 52 entre chaque paire de lignes parallèles 50 adjacentes, le segment de connexion 52 s'effectuant

suivant une deuxième direction D2 transverse à la première direction D1.

- [0116] Les données représentatives des teneurs en au moins un gaz, de préférence en au moins deux gaz sont collectées par l'ensemble de mesure 34 le long de chaque ligne 50.
- [0117] Les mesures sont réalisées en continu le long de la ligne 50.
- [0118] La mémoire de l'unité de recueil de données stocke les données représentatives de chaque teneur en chaque gaz, associées à la position géographique X le long de chaque ligne 50.
- [0119] Puis, lors du vol du drone 22 ou après le vol du drone 22, le système de télé-transmission 38 exporte des données vers le système de calcul 24 au sol.
- [0120] Le module d'obtention et de traitement 70 reçoit les données représentatives des teneurs mesurées en au moins un gaz, de préférence en au moins deux gaz, le long de chaque ligne 50, telles que mesurées par le drone 22 à chaque point de mesure, associées à la position géographique X du point de mesure le long de la ligne 50.
- [0121] Il transforme les données représentatives en teneurs en chacun des gaz, à chaque point de mesure sur chaque ligne 50, sur la base d'une courbe de calibration associée à chaque gaz. Pour chaque ligne 50, une courbe 71 de teneur en chaque gaz en fonction d'une première coordonnée X le long de la ligne 50 suivant la direction D1 est ainsi obtenue, comme visible sur la figure 4.
- [0122] Le module d'obtention et de traitement 70 filtre éventuellement les teneurs obtenues par exemple selon la première méthode ou la deuxième méthode décrite plus haut.
- [0123] Puis, le module d'intégration 72 intègre la courbe 71 représentant les teneurs en chaque gaz le long de chaque ligne 50, suivant la première direction D1, sur toute la largeur de la ligne 50 pour obtenir une teneur globale intégrée TGI sur chaque ligne 50, par l'équation exposée ci-dessus :
- [0124]
$$TGI = \int_{X_{min}}^{X_{max}} T(X) dX$$
- [0125] Selon la première méthode de traitement des données par le module 70, l'intégrale de la courbe des valeurs de fond est également calculée et est soustraite de l'intégrale précédente.
- [0126] Selon la deuxième méthode, la courbe de valeurs de fond est soustraite de la courbe 70 des teneurs, avant intégration.
- [0127] Ainsi, pour chaque ligne 50 dans laquelle une mesure est intervenue, correspondant à une coordonnée Z suivant la deuxième direction D2, une teneur globale intégrée TGI (Z) est obtenue.
- [0128] Le module d'interpolation 74 interpole ensuite, à partir des teneurs globales intégrées TGI sur chaque ligne 50, associée à leurs coordonnées Z suivant la deuxième direction, une courbe 75 continue de teneurs globales intégrées TGI en fonction de la coordonnée

Z suivant la deuxième direction D2, comme illustré par la figure 5. La courbe interpolée 75 est par exemple obtenue par une interpolation cubique, en particulier une interpolation cubique par partie jusqu'à convergence.

[0129] Le module d'intégration 76 intègre alors le produit de la vitesse du vent $V(Z)$ mesurée ou obtenue à chaque coordonnée Z le long de la deuxième direction D2 avec la teneur globale intégrée $TGI(Z)$ correspondant à cette coordonnée (Z), obtenue à partir de la courbe interpolée 75, pour obtenir un flux brut Q_b passant à travers le plan de mesure suivant la formule :

$$[0130] \quad Q_b = \int_{Z_{min}}^{Z_{max}} V(Z) \times TGI(Z) dZ$$

[0131] Dans l'exemple illustré par la figure 2, la vitesse du vent $V(Z)$ est prise comme une vitesse du vent moyenne constante selon la deuxième coordonnée Z.

[0132] En variante, une courbe de vent $V(Z)$ en fonction de la deuxième coordonnée suivant la deuxième direction Z est établie, tel qu'illustrée par la figure 7, et la vitesse du vent $V(Z)$ à chaque deuxième coordonnée Z est utilisée pour calculer le produit avec la teneur globale intégrée $TGI(Z)$ à la deuxième coordonnée Z et réaliser l'intégration.

[0133] Le module d'intégration 76 obtient ainsi un flux total brut Q_b de chaque gaz mesuré passant à travers le plan de mesure P_m .

[0134] Puis, le module de correction 78 corrige la valeur de flux total brut Q_b mesuré pour tenir compte de la conformation du panache 16, comme décrit plus haut.

[0135] Par exemple, dans le cas où le plan de mesure P_m est vertical, un angle d'inclinaison α de la direction de flux dans le panache 16 au niveau du plan de mesure P_m ainsi qu'une vitesse d'évolution du panache 16 au niveau du plan de mesure P_m sont calculés en fonction d'une valeur de la hauteur de la zone de surélévation 18, et d'une forme supposée de panache dans la zone de transport 20.

[0136] Un flux total de gaz Q_g passant à travers un plan perpendiculaire P_p à la direction de flux est alors calculé sur la base du flux brut Q_b calculé par le module d'intégration 76, de l'angle d'inclinaison α déterminé et de la vitesse calculée d'évolution du panache 16, par exemple en supposant que la section du panache est circulaire perpendiculairement au flux. La vitesse d'évolution est calculée le long de l'axe du panache et correspond à la norme du vecteur vitesse du panache qui est perpendiculaire au plan P_p .

[0137] Selon le principe de conservation de la masse, le flux Q_g de gaz émis par la source 14 est alors égal au flux passant par ce plan.

[0138] Le procédé de mesure selon l'invention est donc particulièrement simple à mettre en œuvre, puisqu'il nécessite une simple campagne de mesures à l'aide d'un drone 22 volant directement dans le panache 16, à l'écart de la source 14.

[0139] Suite à cette campagne de mesures, le calcul est simple et efficace pour obtenir une

détermination précise du flux émis par la source 14.

- [0140] Cette méthode est apte à être mise en œuvre au voisinage d'installations industrielles 12 variées, même si ces installations sont inaccessibles ou/et nécessitent des précautions de sécurité. Les mesures peuvent être effectuées à moindre coût et de manière fréquente, ce qui permet notamment de suivre l'évolution des émissions engendrées par la source 14, et de s'assurer qu'elles sont sous contrôle ou qu'elles sont réduites.
- [0141] Dans une variante, représentée sur la figure 8, pour des conditions de vent peu fort, le panache 16 présente une configuration verticale et le plan de mesure Pm est un plan horizontal. La première direction D1 est alors une direction horizontale, et la deuxième direction D2 est une direction horizontale perpendiculaire à la première direction D1. Le procédé de mesure, incluant la méthode de mesure restent similaires à ceux décrits plus haut.
- [0142] Avantageusement, le procédé de mesure selon l'invention comporte une étape initiale de détermination de caractéristiques de conformation du panache 16, par exemple par mesure de la rose des vents s'appliquant sur la source 14 au moment de la campagne de mesure.
- [0143] Dans une autre variante, la vitesse du vent est mesurée directement au droit de l'installation 12, par exemple par un dispositif de mesure 100 de type LIDAR VENT, tel qu'illustré par la figure 2.

Revendications

- [Revendication 1] Méthode de calcul d'un flux d'au moins un gaz émis par une source (14) dans l'atmosphère, mis en œuvre par un système de calcul (24), comportant les étapes suivantes :
- récupération de données de teneurs en au moins un gaz, mesurées dans l'atmosphère à l'écart de la source (14) suivant une pluralité de lignes (50) parallèles à une première direction (D1) ;
 - intégration des teneurs relevées sur chaque ligne (50) suivant la première direction (D1) pour obtenir une teneur globale intégrée sur chaque ligne (50) ;
 - intégration du produit des teneurs globales intégrées sur chaque ligne (50) par une vitesse de vent présent sur la ligne (50) suivant une deuxième direction (D2) perpendiculaire à la première direction (D1), pour obtenir un flux brut de gaz ;
 - détermination du flux de gaz émis par la source (14), à partir du flux brut de gaz.
- [Revendication 2] Méthode selon la revendication 1, comprenant, entre les étapes d'intégration, une étape d'interpolation d'une courbe (75) de teneurs globales intégrées en fonction d'une coordonnée suivant la deuxième direction (D2), à partir des teneurs globales intégrées calculées.
- [Revendication 3] Méthode selon la revendication 2, dans laquelle l'interpolation est réalisée par une interpolation cubique, en particulier par une interpolation cubique par partie.
- [Revendication 4] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes comportant une étape préalable de récupération de données de vitesses de vent présent sur chaque ligne (50).
- [Revendication 5] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes comportant une étape préalable de détermination d'un vent moyen commun à toutes les lignes (50).
- [Revendication 6] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant, après l'étape de récupération des données de teneurs, le calcul d'un fond continu de gaz présent dans l'atmosphère et le traitement des données de teneurs pour éliminer le fond continu.
- [Revendication 7] Méthode selon la revendication 6, dans lequel la détermination du fond continu comprend pour chaque ligne (50), le calcul d'une valeur moyenne de teneurs mesurée sur la ligne (50), puis l'élimination des teneurs situées au-dessus de la valeur moyenne, et la répétition des

- étapes précédentes jusqu'à ce que la différence entre deux valeurs moyennes successives soit inférieure à un seuil de convergence.
- [Revendication 8] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la première direction (D1) est horizontale, la deuxième direction (D2) étant verticale.
- [Revendication 9] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les flux d'au moins deux gaz émis par la source (14) sont calculés.
- [Revendication 10] Procédé de mesure des émissions d'une source (14) dans l'atmosphère comprenant les étapes suivantes :
- collecte de teneurs en au moins un gaz dans l'atmosphère à l'écart de la source (14) suivant une pluralité de lignes (50) parallèles à une première direction (D1) par vol d'un drone (22) muni d'un ensemble (34) de mesure de données représentatives des teneurs en au moins un gaz ;
 - transfert des données représentatives collectées à un système de calcul (24) ;
 - mise en œuvre par le système de calcul (24) de la méthode de calcul selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 11] Procédé selon la revendication 10, comprenant une étape préalable de détermination d'une direction du vent et/ou d'une configuration d'un panache d'émission en aval de la source (14), le vol du drone (22) étant effectué en fonction de la configuration de panache prédéterminée.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 11, comprenant une étape de mesure de la vitesse du vent.
- [Revendication 13] Système de calcul (24) d'un flux d'au moins un gaz émis par une source (14) dans l'atmosphère, comportant
- un module (70) d'obtention de données de teneurs en au moins un gaz, mesurées dans l'atmosphère à l'écart de la source (14) suivant une pluralité de lignes (50) parallèles à une première direction (D1) ;
 - un module (72) d'intégration des teneurs relevées sur chaque ligne (50) suivant la première direction (D1) pour obtenir une teneur globale intégrée sur chaque ligne (50) ;
 - un module (76) d'intégration du produit des teneurs globales intégrées sur chaque ligne (50) par une vitesse de vent présent sur la ligne (50) suivant une deuxième direction (D2) perpendiculaire à la première direction (D1), pour obtenir un flux brut de gaz ;
 - un module (78) de détermination du flux de gaz émis par la source

(14), à partir du flux brut de gaz.

[Revendication 14]

Nécessaire (10) de mesure des émissions d'au moins un gaz par une source (14) dans l'atmosphère comportant :

- un drone (22), apte à voler dans l'atmosphère à l'écart de la source (14) suivant une pluralité de lignes (50) parallèles à une première direction (D1) ;

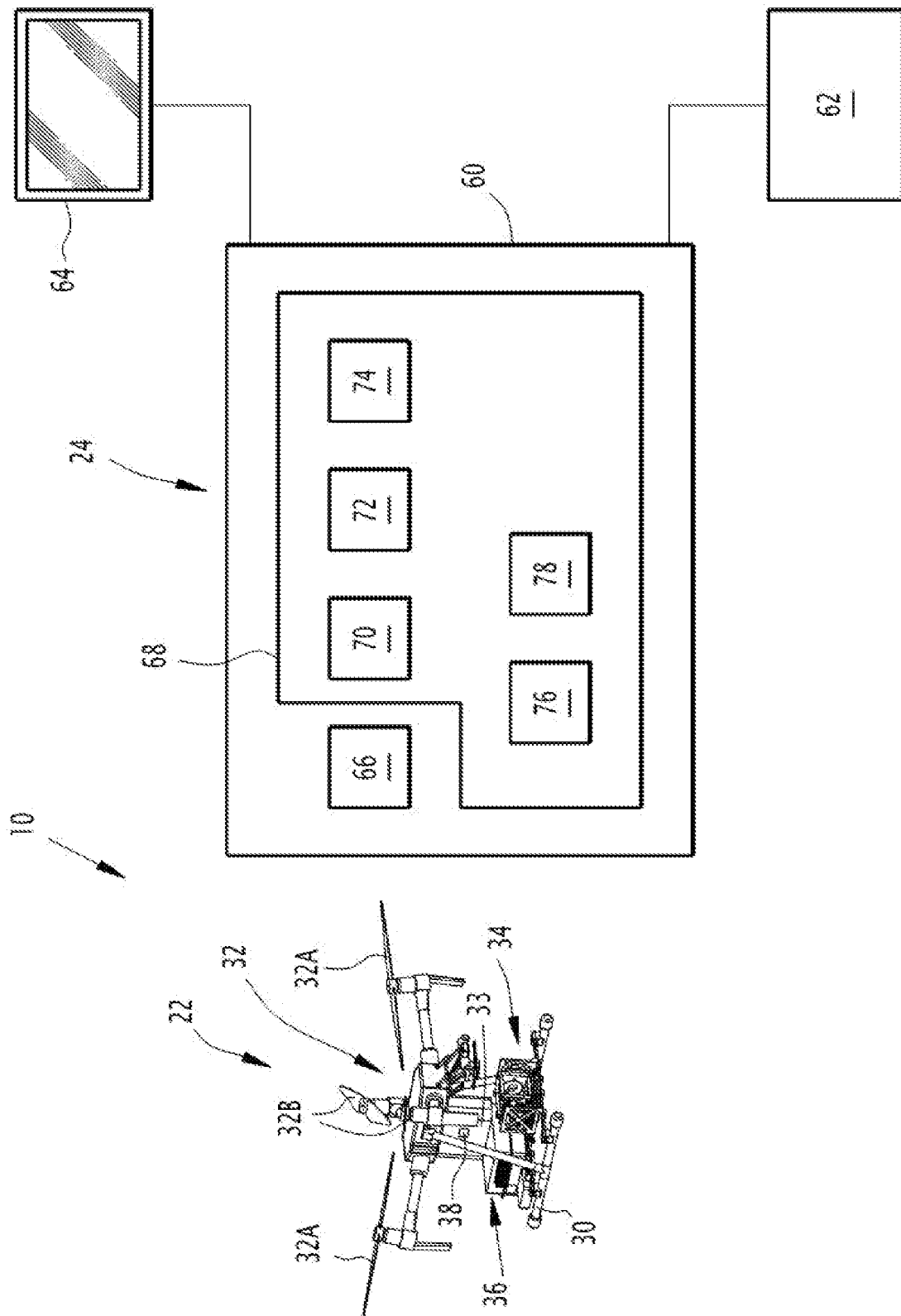
le drone (22) étant apte à mesurer des données représentatives des teneurs en au moins un gaz suivant chaque ligne (50) parallèle à la première direction (D1) ;

- un système de calcul (24) selon la revendication 13, propre à recevoir les données représentatives mesurées par le drone (22).

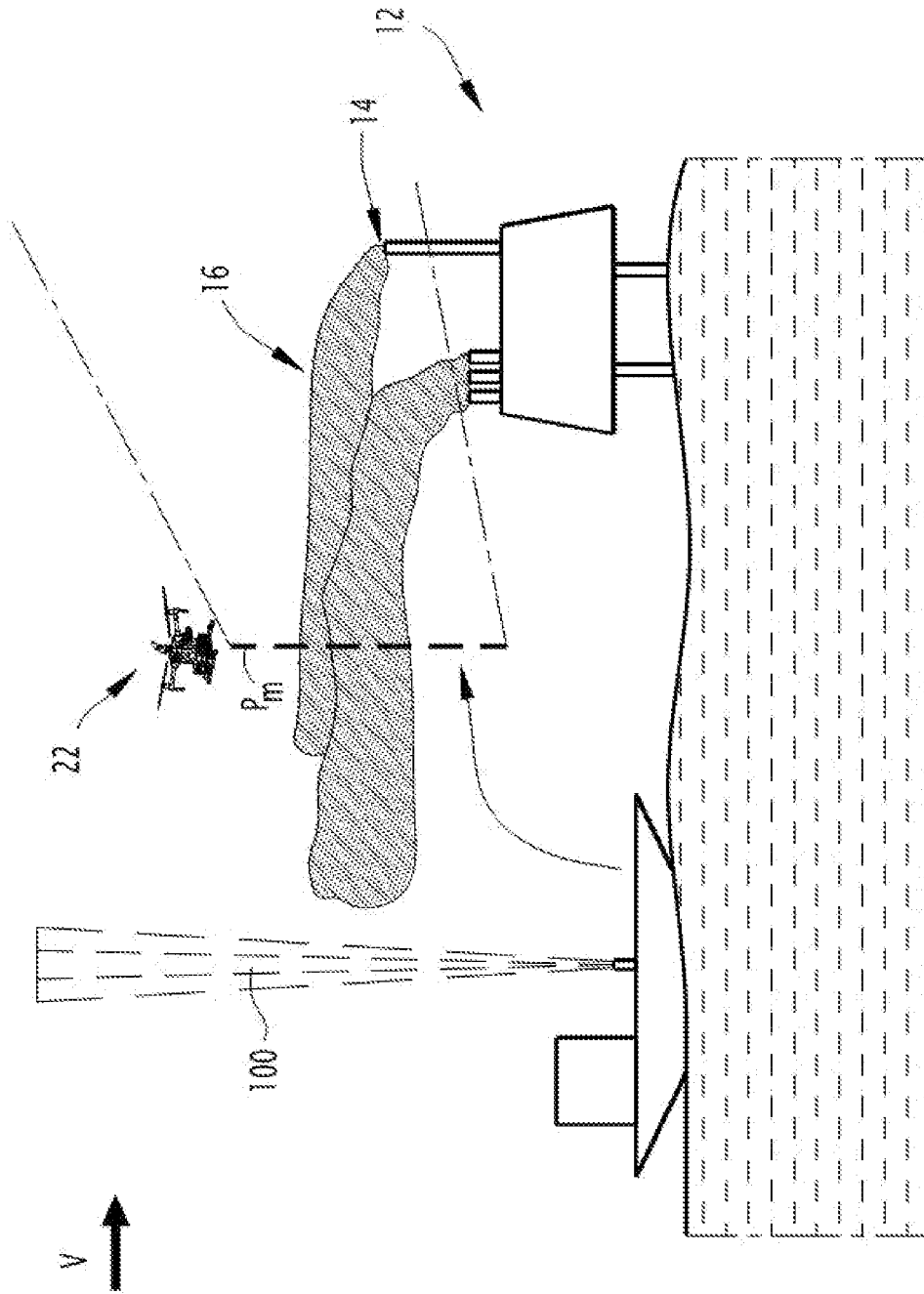
[Revendication 15]

Nécessaire (10) selon la revendication 14, dans lequel le drone (22) est apte à mesurer en continu des données représentatives des teneurs d'au moins deux gaz présents dans l'atmosphère.

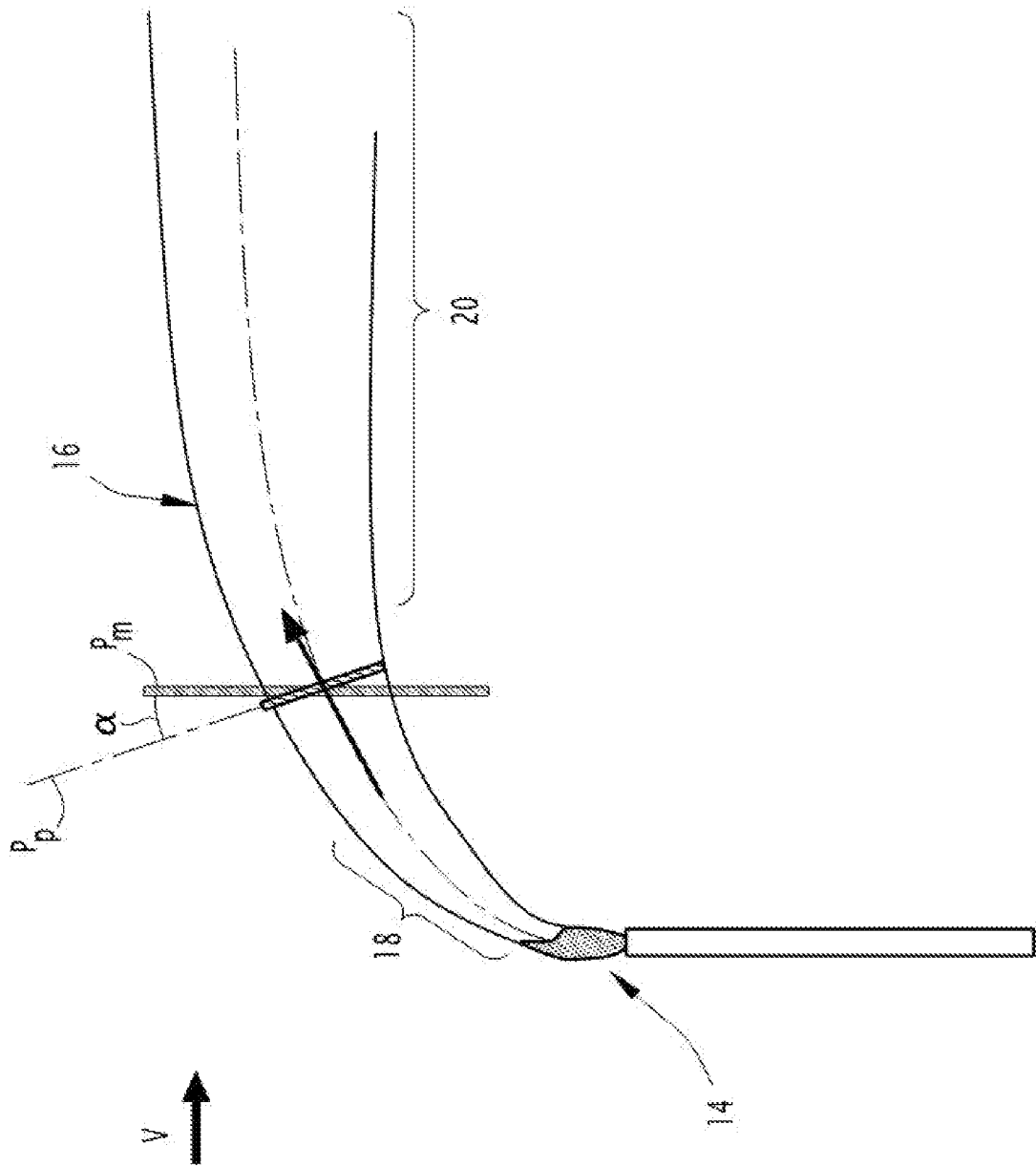
[Fig. 1]



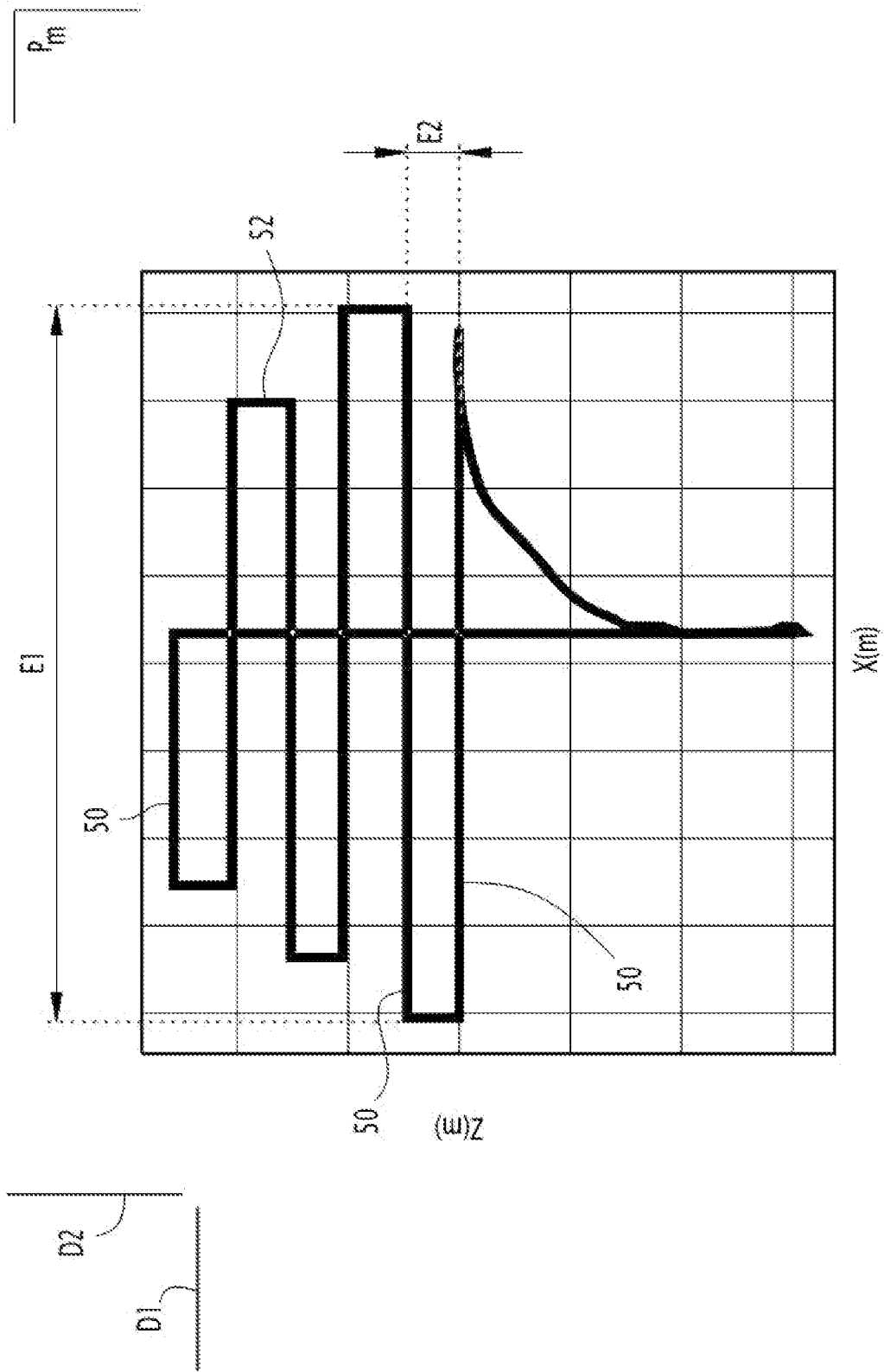
[Fig. 2]



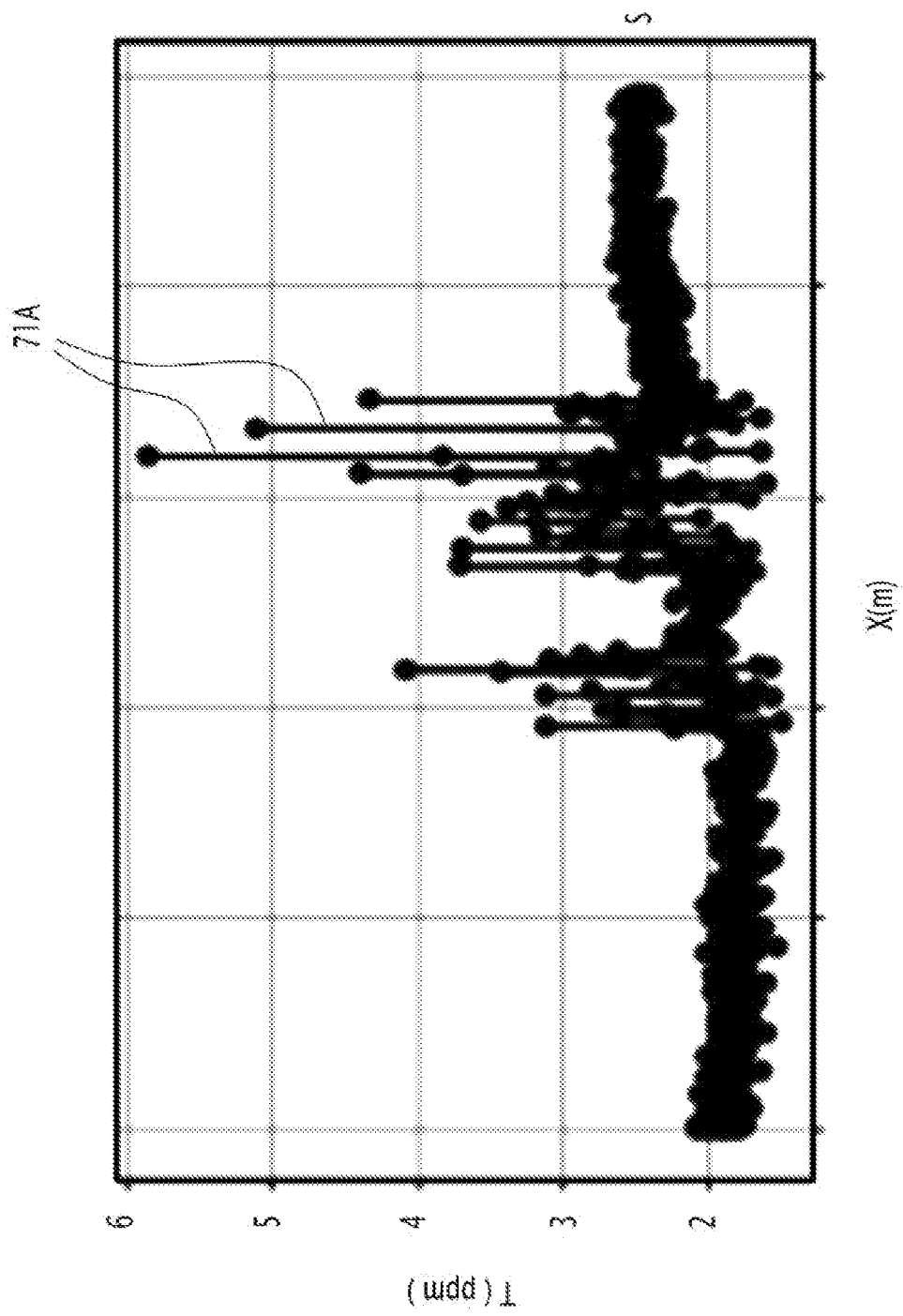
[Fig. 3]



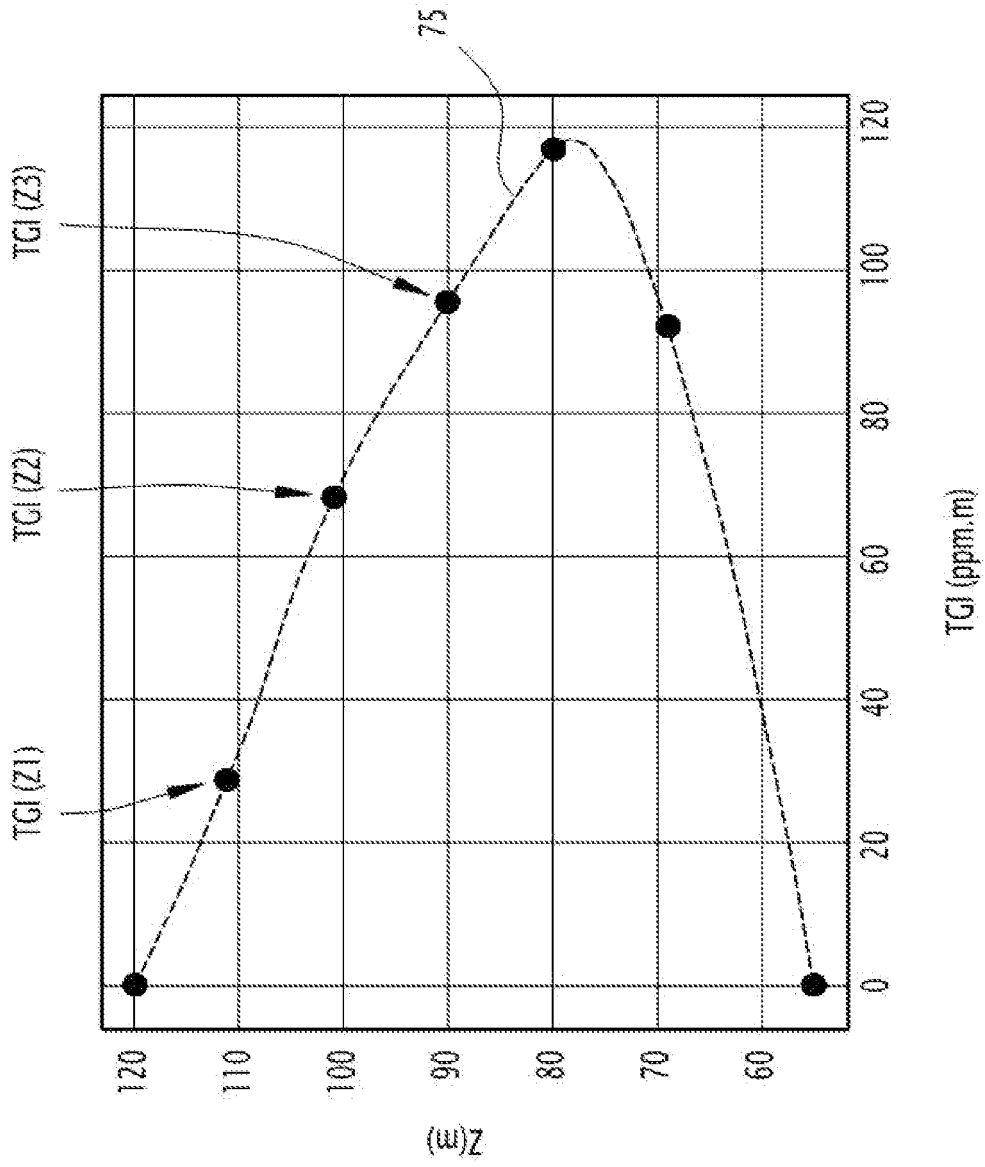
[Fig. 4]



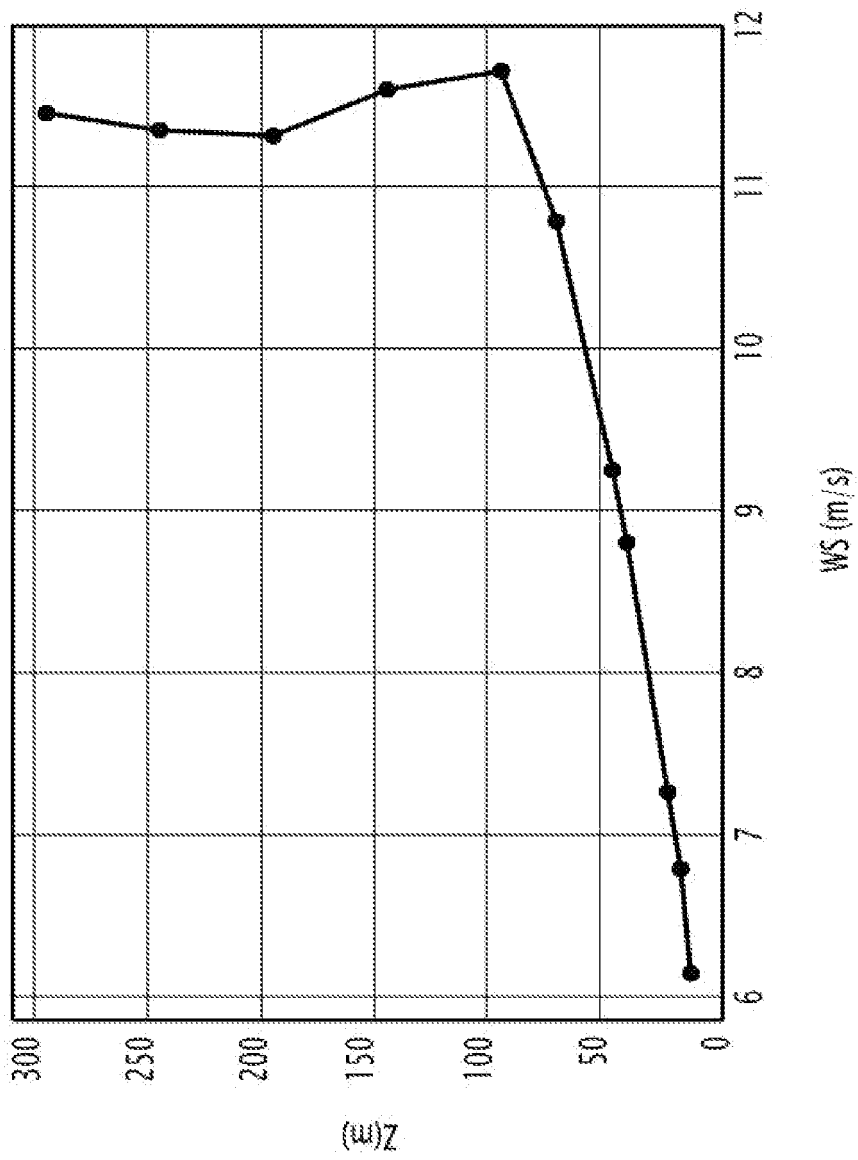
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
 déposées avant le commencement de la recherche
N° d'enregistrement
nationalFA 880418
FR 2003527

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	Simon A. Carn: "Gas, Plume, and Thermal Monitoring" In: "The Encyclopedia of Volcanoes", 1 janvier 2015 (2015-01-01), Elsevier, XP055759311, ISBN: 978-0-12-385938-9 pages 1125-1149, DOI: 10.1016/B978-0-12-385938-9.00065-1,	1-6,8-15	G01N15/06 B64C39/02
A	* page 1128, colonne de droite, ligne 15 - ligne 30 *	7	
X	WO 2019/246280 A1 (SEEKOPS INC [US]) 26 décembre 2019 (2019-12-26)	1-6,8-15	
A	* le document en entier *	7	
X	L.J. WARDELL ET AL: "Carbon dioxide and carbon monoxide emission rates from an alkaline intra-plate volcano: Mt. Erebus, Antarctica", JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH, vol. 131, no. 1-2, 24 décembre 2003 (2003-12-24), pages 109-121, XP055759022, NL ISSN: 0377-0273, DOI: 10.1016/S0377-0273(03)00320-2	1-6,8-15	
A	* Section 2. Methods * * figure 1 *	7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G16C G01N
X	US 4 135 092 A (MILLY GEORGE H) 16 janvier 1979 (1979-01-16)	1-6,8-15	
A	* le document en entier *	7	
X	US 2012/092649 A1 (WONG COLIN IRVIN [CA]) 19 avril 2012 (2012-04-19)	1-6,8-15	
A	* le document en entier *	7	
	-/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 décembre 2020		Denoual, Matthieu	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2003527 FA 880418**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **14-12-2020**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2019246280	A1	26-12-2019	AUCUN

US 4135092	A	16-01-1979	CA 1062042 A 11-09-1979
			DE 2902272 A1 31-01-1980
			FR 2434382 A1 21-03-1980
			GB 2018980 A 24-10-1979
			US 4135092 A 16-01-1979

US 2012092649	A1	19-04-2012	AU 2010305239 A1 19-04-2012
			CA 2681681 A1 08-06-2010
			CA 2715677 A1 14-12-2010
			US 2012092649 A1 19-04-2012
			WO 2011041908 A1 14-04-2011
