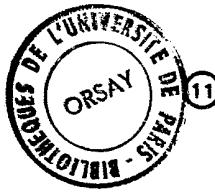


(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DU DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL
ET SCIENTIFIQUE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE



1 605 449

BREVET D'INVENTION

- (21) N° du procès verbal de dépôt 8.949 - Bas-Rhin.
(22) Date de dépôt 27 juillet 1967, à 18 h 10 mn.
Date de l'arrêté de délivrance 1er décembre 1975.
(46) Date de publication de l'abrégé descriptif au
Bulletin Officiel de la Propriété Industrielle. 9 janvier 1976 (n. 2).
(51) Classification internationale G 01 N.

(54) DéTECTEUR DE CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE.

(72) Invention de : Wilson P. Ralston.

(71) Déposant : Société dite : THE PERKIN-ELMER CORPORATION, résidant aux Etats-Unis
d'Amérique.

Mandataire : Pierre Nuss, Ingénieur-Conseil.

(30) Priorité conventionnelle : *Demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le 29 juillet 1966, n. 568.872 au nom de Wilson P. Ralston.*

(32) (33) (31)

La présente invention concerne un détecteur de conductibilité thermique du type comportant un circuit en pont qui présente un fil chauffant de mesure et un fil chauffant de référence, tous les deux possédant un coefficient résistance-température positif et un circuit de connexion pour la production d'un flux de courant à travers les fils chauffants, auquel cas la résistance résultante (R_e) du circuit en pont du détecteur croît lorsque la résistance d'un des fils chauffants croît.

De tels détecteurs de conductibilité thermique trouvent leur emploi, par exemple, dans les chromatographes à gaz. Les détecteurs de conductibilité thermique utilisés dans la chromatographie gazeuse présentent un ou plusieurs fils chauffants de mesure et un ou plusieurs fils chauffants de référence qui sont disposés dans un bloc détecteur chauffé et qui sont branchés dans un circuit en pont équilibré. Les fils chauffants produisent un flux de courant. A partir d'une source de gaz porteur ce dernier s'écoule dans l'appareil directement sur les fils chauffants de référence, tandis que, à partir d'une colonne de séparation, on dirige dans l'appareil, du gaz porteur, avec les composants séparés par chromatographie gazeuse, sur les fils chauffants de mesure. En l'absence de composants séparés, les courants de gaz porteur établissent une conductibilité thermique prédéterminée entre les fils chauffants et une paroi du bloc détecteur.

Après que dans la colonne de séparation, un constituant d'un échantillon analysé a été séparé, ce constituant est dirigé sur les fils chauffants de mesure et il amoindrit la conductibilité thermique entre les fils chauffants de mesure et la paroi du détecteur. L'amoindrissement de la conductibilité thermique élève la température et ainsi la résistance des fils chauffants de mesure d'une quantité qui est proportionnelle à la concentration et inversement proportionnelle à la conductibilité thermique du constituant séparé. Le circuit à pont est ainsi désaccordé et on obtient une indication

de la quantité d'un constituant séparé.

La sensibilité du circuit en pont est plus grande lorsque le courant de chauffage moyen qui s'écoule dans les fils chauffants, est relativement grand. Un courant relativement grand peut cependant aboutir à une surchauffe et provoquer une destruction des fils chauffants par brûlage. Il en est même ainsi lorsque les fils chauffants sont bobinés avec soin et les variations de résistance d'un fil chauffant par rapport à l'autre fil chauffant sont maintenues dans la pratique dans les limites données à la fabrication.

10 Dans une disposition connue, on utilise des thermistors comme organes de mesure qui possèdent un coefficient de température négatif de la résistance. La résistance des organes de mesure décroît alors dans le cas de surchauffe et ainsi la consommation de puissance est limitée. Cependant les matières ayant un coefficient de température négatif de la résistance sont limitées dans leur emploi d'une manière défavorable du point de vue de leur température de service supérieure.
15 Etant donné qu'il est généralement désirable de faire fonctionner le détecteur à une température égale ou supérieure à la température de la colonne de séparation, les organes de mesure à thermistor n'ont ,
20 qu'un emploi limité.

On utilise des détecteurs de conductibilité thermique à fils chauffants, qui peuvent fonctionner aux températures élevées désirées et qui présentent des coefficients de température positifs de la résistance. Les détecteurs connus de ce genre rendent cependant nécessaire que le personnel de service surveille et régularise le courant délivré aux fils chauffants en vue d'éviter un brûlage des fils. En général le personnel règle le courant de détecteur de telle sorte qu'il puisse fonctionner avec un domaine de sécurité considérable. Ceci diminue cependant la sensibilité du détecteur d'une manière défavorable.

L'invention a pour but d'éviter le brûlage des fils chauffants dans le cas d'un détecteur de conductibilité thermique.

Elle a spécialement pour but d'éviter un tel brûlage des fils chauffants dans un détecteur de conductibilité thermique qui contient des fils chauffants ayant des coefficients de température positifs de la résistance.

L'invention a encore pour but de réaliser un détecteur à fil chauffant ayant une sensibilité de détecteur maximale mais en évitant cependant la possibilité d'un brûlage du fil chauffant, auquel cas on évite la nécessité d'une surveillance et d'une régulation du courant par le personnel de service.

Dans ce but, l'invention est caractérisée par un circuit de connexion qui assure une diminution du flux de courant à travers les fils chauffants lorsque la résistance résultante (R_e) dépasse une valeur limite prédéterminée et/ou un circuit de connexion qui assure une diminution du flux de courant à travers les fils chauffants lorsqu'un rapport entre les résistances des fils chauffants dépasse une valeur prédéterminée. -

L'invention s'étend également aux caractéristiques résultant de la description ci-après et des dessins joints ainsi qu'à leurs diverses combinaisons possibles. La description se rapporte à un exemple de réalisation de l'invention, non limitatif, expliqué avec référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- La fig. 1 est une représentation schématique qui montre la disposition générale d'un chromatographe à gaz avec détecteur de conductibilité thermique,

25 - La fig. 2 est un schéma d'un détecteur de conductibilité thermique et d'un circuit de sécurité à l'égard du brûlage conforme à l'invention,

- la fig. 3 est un schéma détaillé de la disposition de connexion de la fig. 2.

En se référant à la fig. 1 on décrit un chromatographie à gaz dans lequel la présente invention est avantageusement applicable.

5 L'appareil contient une colonne de séparation 10, une source de gaz porteur 12 et un bloc d'injection 14 pour l'introduction d'un échantillon qui contient des constituants qui sont séparés les uns des autres dans un courant de gaz porteur. L'échantillon est transporté par le gaz porteur à travers la colonne 10 et s'écoule vers un détecteur 16
10 pour la détermination des quantités des constituants séparés.

Le gaz porteur s'écoule également directement vers le détecteur 16 à travers une canalisation appropriée 17. La colonne 10 peut être chauffée d'une manière usuelle suivant un programme par un dispositif de chauffage 18 et une source de courant de chauffage 20.

15 Le détecteur désigné d'une manière générale par 16 est un détecteur de conductibilité thermique avec un bloc de maintien pour les fils chauffants qui n'est pas spécialement représenté. Le bloc est chauffé par un serpentin chauffant 22 qui est alimenté par une source de courant de chauffage 24, de telle sorte que le bloc fonctionne à une température
20 désirée qui est généralement plus élevée que la température maximale de la colonne programmée 10 et qui est de l'ordre de 400°C. Dans le bloc sont disposés des fils chauffants de mesure et de référence et indiqués généralement par le circuit en pont 26. Dans une autre disposition, les fils chauffants de mesure et de référence sont disposés avec chacun
25 un fil chauffant unique en commun avec des résistances fixes dans un circuit en pont. Les résistances fixes ne sont pas, dans ce cas, sensibles à la température.

Les bornes de sortie 32 et 34 du pont sont reliées avec un organe scripteur 36 ou d'autres moyens d'enregistrement désirés, de

telle sorte que les hauteurs relatives des bandes obtenues sont enregistrées d'une manière appropriée. Comme il a été dit plus haut, le gaz porteur est dirigé directement sur les fils chauffants de référence du détecteur 16, tandis que le mélange de gaz porteur et de constituants séparés est raccordé au bloc 16 par l'intermédiaire d'une canalisation 30 et est dirigé sur les fils chauffants de mesure.

La fig. 2 représente le circuit en pont du détecteur avec les fils chauffants de mesure et de référence en détail dans une installation de connexion pour empêcher le brûlage des fils chauffants.

Le circuit en pont du détecteur contient les fils chauffants de mesure 40 et 42 qui forment des branches se faisant face d'un circuit en pont équilibré et les fils chauffants de référence 44 et 46 qui forment également des branches se faisant face du circuit en pont.

Suivant une caractéristique de la présente invention, il est prévu une installation de connexion, qui répond à un accroissement de la résistance résultante R_e de ce circuit en pont et qui réduit le courant à travers le circuit en pont lorsque R_e dépasse une valeur limite prédéterminée R_L . Suivant une disposition pour l'exécution de cette fonction, le circuit en pont du détecteur lui-même est monté comme une branche dans un autre circuit en pont qui sera désigné dans ce qui suit par circuit en pont de limitation. Le circuit en pont de limitation contient la branche d'impédance avec les résistances 48, 50 et 52. Un courant de chauffage pour les fils chauffants est prélevé à une source de tension 53 et est amené au pont de limitation à travers un régulateur de courant constant 54 et les bornes 55 et 56. Les valeurs d'impédance des résistances 44, 50 et 52 produisent un premier état de désaccord initial du pont de limitation lorsque R_e est inférieur à R_L , un état de compensation du pont de limitation lorsque R_e est égal à R_L et un second état de désaccord du pont de limitation lorsque R_e est

plus grande que R_L . Le premier état de désaccord rend, par exemple, la borne de sortie 62 positive relativement à la borne 60, tandis que la borne 62 est négative par rapport à la borne 60, lorsque le second état de désaccord se produit. Les relations entre les impédances de pont pour l'état compensé sont données par

$$R_e = R_L = \frac{R_{48} + R_{52}}{R_{50}} \quad (1)$$

Un amplificateur de différence 58 est monté entre les bornes de sortie 60 et 62 du pont de limitation et est disposé de telle manière qu'il délivre une indication de sortie, lorsque R_e dépasse la valeur limite prédéterminée R_L .

Les fils chauffants de mesure et de référence sont bobinés soigneusement lors de la fabrication et sont adaptés entre eux à l'intérieur de tolérances de fabrication satisfaisantes. Leur valeur de résistance à froid est de l'ordre de grandeur de 30 ohms. Le courant provenant de la source de chauffage des fils chauffants assure un accroissement de la résistance des fils chauffants et la puissance absorbée par ces fils croît en correspondance.

Un accroissement de la résistance au-dessus d'une certaine valeur de sécurité augmente le risque de brûlage. On peut ainsi déterminer une résistance résultante de sécurité R_e identique à R_L pour le pont de détecteur. Par exemple, les fils chauffants, dans un cas particulier, peuvent posséder des valeurs de résistance chaudes qui donnent une résistance résultante de sécurité R_e allant jusqu'à 80 ohms à 550°C. De cette manière, la résistance résultante limite est déterminée et les résistances 48, 50 et 52 peuvent être choisies telles qu'elles répondent à la relation (1), ainsi qu'à d'autres exigences de circuit.

Lorsqu'un état limite est atteint, le pont de limitation est équilibré et l'équilibre est

déterminé par l'amplificateur différentiel 58. L'amenée de courant au pont de détecteur est aussitôt diminuée, dès que R_e dépasse la valeur R_L . Comme le montre la fig. 2, et ainsi qu'il sera indiqué plus loin, le courant est prélevé à l'alimentation 53 et le circuit en pont du détecteur le reçoit par l'intermédiaire du régulateur de courant 54.

5 Ce régulateur fonctionne de la manière habituelle aux régulateurs de courant usuels lorsque R_e est inférieur à R_4 . Si cependant R_e dépasse la valeur R_L , l'intensité du courant de réglage est déterminée par un circuit de commande 68.

10 L'amplificateur différentiel 58 délivre une tension de sortie qui est amenée à un circuit d'amplification et de connexion 70. Dans une disposition déterminée, le circuit de connexion 70 agit pour que le circuit de commande 68 vienne à agir sur le régulateur de courant constant 54 d'une manière telle, que le courant pour le circuit en pont soit interrompu. Le circuit d'amplification et de connexion fonctionne comme dispositif bistable à retour à la main pour commander le régulateur. Une touche de rappel en position 72 est prévue pour appliquer à nouveau l'amenée de courant au circuit en pont après que l'amenée de courant a été interrompue comme dit ci-dessus.

20 Bien que la résistance résultante R_1 du circuit en pont de détecteur soit calculée pour déterminer la relation de sa grandeur à une valeur de résistance prédéterminée, il serait possible que les différents fils chauffants présentent une combinaison de valeurs de résistance trop élevée et trop faible, tandis que la résistance résultante R_e reste inférieure à la valeur limite R_L .

25 Suivant une autre caractéristique de l'invention, il est prévu une disposition de branchement destinée à donner la grandeur de désaccord du pont qui dépasse la grandeur de désaccord admissible pour

une concentration prédéterminée, et pour modifier le courant dans le circuit en pont de détecteur d'une manière telle qu'un désaccord excessif soit évité. Cette disposition de branchement comprend un amplificateur de différence 74 et les résistances 84 et 86, dont les 5 impédances sont choisies de telle sorte qu'elles déterminent une valeur limite pour le désaccord des fils chauffants.

Si le rapport de la résistance du fil chauffant de mesure à la résistance du fil chauffant de référence, ou inversement le rapport de la résistance du fil chauffant de référence à celle du fil chauffant 10 de mesure dépasse le rapport $\frac{R_{86}}{R_{84}}$, un état limite est créé, c'est-à-dire que

$$\frac{R_{det}}{R_{ref}} \geq \frac{R_{86}}{R_{84}} ; \quad \frac{R_{ref}}{R_{det}} \geq \frac{R_{86}}{R_{84}}$$

Un exemple pour la valeur de $\frac{R_{86}}{R_{84}}$ est 1,06, ce qui donne 15

une limite pour des concentrations de plus de 10 % d'un échantillon dans un courant de gaz porteur d'hélium.

L'amplificateur de différence 74 provoque alors une diminution du courant dans le pont de détecteur, d'une quantité telle qu'elle 20 soit suffisante pour réduire le chauffage des fils et pour maintenir le rapport de la résistance fil de mesure à fil de référence dans le domaine de limitation. Les tensions de sortie de l'amplificateur de différence 74 sont amenées à la commande de régulateur 68 et provoquent la diminution désirée du courant de chauffage.

25 La fig. 3 représente une disposition de branchement spéciale pour la sécurité à l'égard du brûlage des fils chauffants dans le détecteur de fig. 2. Les parties de la fig. 3 qui remplissent les mêmes fonctions que celles de la fig. 2 portent des références identiques.

L'amplificateur de différence 58 du pont de limitation contient des transistors NPN 100 et 102 dont les électrodes émettrices sont reliées à une électrode de collecteur d'un transistor 88 fonctionnant comme source de courant constant.

5 Les tensions de fonctionnement sont choisies de telle manière que le transistor 102 est maintenu dans un état de barrage du courant de collecteur lorsque R_e est inférieur à R_L . Un accroissement de la résistance résultante R_e du circuit à pont du détecteur jusqu'à la valeur R_L et au-delà de celle-ci a pour effet une tension croissante dans le sens positif à la borne 60 et a pour résultat un courant de collecteur correspondant dans le transistor 102. La tension variable à l'électrode de collecteur du transistor 102 est appliquée par l'intermédiaire d'une borne de sortie 107 à l'étage d'amplification et de connexion 70. Cet étage, dont la description détaillée sera donnée plus loin est représenté dans la fig. 3 par le circuit contenu à 15 l'intérieur du rectangle en traits interrompus 70.

L'amplificateur de différence 74 du pont de détecteur utilise un transistor de référence commun 104. Un amplificateur de différence avec les transistors 152 et 164 reçoit la tension existante entre les bornes de sortie 32 et 33, tandis qu'un autre amplificateur de différence avec les transistors 154 et 164 reçoit la tension existante entre les bornes 34 et 33.

Si la tension à l'une des bornes 32 et 33 est plus positive que la tension à la borne 33, le courant de collecteur de l'amplificateur de différence croît et un effet de limitation se trouve appliqué. Des tensions qui apparaissent aux bornes de sortie 170 et 172 de cet amplificateur sont amenées au circuit de commande du régulateur 68 et le courant du pont de détecteur est diminué d'une quantité qui est suffisante pour maintenir 25 le rapport prédéterminé entre les résistances des fils chauffants.

30 Si l'on considère le mode de fonctionnement de l'amplifi-

cateur de différence du pont de détecteur d'une manière plus précise, on voit que, si la borne 32 est positive par rapport à la borne 33, les transistors 152 et 164 agissent ensemble comme un amplificateur de différence, et un courant de collecteur passe dans le transistor 152.

- 5 La tension de collecteur est alors appliquée, par l'intermédiaire de la borne de sortie 170 et d'une diode de découplage 148, sur la base du transistor 144 du circuit de commande du régulateur.

De la même manière, lorsque la borne 34 est plus positive que la borne 33, les transistors 154 et 164 agissent comme un amplificateur de différence et il se produit un accroissement du courant de collecteur du transistor 154. La tension de sortie du collecteur est appliquée, par l'intermédiaire de la borne 172 et de la diode découplée 150 sur le circuit de commande du régulateur 68. Les grandeurs des variations de la tension de collecteur des transistors 152 et 154 correspondent au degré de désaccord du pont. Ces tensions ont pour effet que la commande de réglage 68 diminue l'intensité du courant de chauffage d'une quantité qui est suffisante pour maintenir le rapport prédéterminé entre les résistances des fils chauffants. Afin que les amplificateurs de différence 58 et 74 possèdent un amortissement élevé de cadence synchrone et fonctionnent indépendamment du courant de repos du pont, l'installation est pourvue de régulateurs de courant constant. Un premier régulateur pour l'amplificateur de différence 58 contient le transistor 88 avec base à la terre, lequel est ramené, par l'intermédiaire d'une résistance 90, à une tension négative. Un second régulateur pour l'amplificateur de différence 74 contient un transistor 92 avec base à la terre, lequel est ramené, par l'intermédiaire d'une résistance 94 à une tension relative négative. Dans le circuit sont prévues des impédances réglables pour l'équilibrage du pont et pour la compensation des transistors.

Les moyens pour l'équilibrage du pont de détecteur comprennent les potentiomètres à réglage fin 174 et à réglage de dégrossissage 176. Les résistances réglables 160 et 162 sont prévues pour permettre

la compensation des variations des transistors.

L'amplificateur de l'étage de connexion 70 contient un transistor PNP qui sert comme un circuit émetteur habituel pour l'inversion de polarité du signal. La résistance de collecteur 112 est raccordée à une source de tension -E et court-circuitée par un condensateur 114. Un courant de collecteur dans le transistor 102 qui indique un état limite, provoque un courant de collecteur dans un transistor 108. Lorsqu'une tension intervenant à la résistance 112 atteint la valeur E, l'électrode de commande d'un contacteur à silicium commandé 116 devient positive et le contacteur est basculé. Il en résulte une chute de tension négative à la résistance 123 et celle-ci est amenée à la commande de régulateur 68 par l'intermédiaire d'une diode découplée 141.

Le circuit de commande de régulation 68 répond de telle sorte qu'il commande le flux de courant vers le pont. Le contacteur au silicium commandé 116 est un dispositif bistable et doit être ramené en retour. Un contacteur 72 est prévu pour amener à travers le condensateur 120 pendant un court instant l'anode du contacteur au silicium commandé à un potentiel -E. Cette disposition interrompt le flux de courant dans le contacteur commandé 116. Le contacteur au silicium commandé reste alors à l'état de barrage jusqu'à ce qu'il soit à nouveau basculé. Il est basculé à nouveau automatiquement lorsque la résistance du pont reste supérieure à la résistance limite ($R_e > R_L$), c'est-à-dire lorsque l'état de déséquilibre aux fils chauffants n'a pas été corrigé.

Le régulateur de courant constant 54 de la fig. 2 est représenté dans la fig. 3 par la disposition de connexion intérieure au rectangle en traits interrompus. Ce régulateur est construit d'une manière usuelle et contient les transistors de réglage en série 124 et 126. Un transistor 128 fournit un courant dans le circuit de base du transistor 126. La diode de Zener 130 produit une tension préalable fixe pour la base du transistor 128 et elle est, en outre, utilisée pour abaisser la tension +E₁ à une tension plus faible +E₂ à utiliser dans d'autres

circuits de courant;

Des variations oscillatoires du courant de chauffage de sortie provoquent des oscillations de la tension à la résistance 134 du circuit de réglage. Un amplificateur de réglage, désigné dans son ensemble par 140 et qui contient un transistor et des diodes de Zener de tension de référence, répond à ces oscillations de tension et modifie l'intensité du courant de base qui est délivré par le transistor 128 à la base du transistor 126 en vue d'assurer le réglage du courant. Le régulateur maintient un courant de chauffage nominal constant qui est déterminé au début par le personnel de service par réglage de la prise 132. Cette prise est réglée de telle manière qu'elle intéresse un nombre désiré de résistances dans le groupe de résistances 125, 127, 129, 131, 133, 135, 137 et 139 qui sont branchées en série dans le circuit émetteur du transistor 124.

Le circuit de commande de réglage 68 de la fig. 2 qui est représenté dans le rectangle en traits interrompus de la fig. 3 fonctionne en dépendance d'une tension provenant du circuit d'amplification et de connexion 70 ou des sorties de l'amplificateur de différence 74 du pont de détecteur, et il commande la grandeur du courant de chauffage. Un transistor 142 de ce circuit d'amplification et de connexion est relié à la base du transistor 126 du circuit de réglage 54. Ce transistor agit de telle manière qu'il modifie le courant allant au transistor de réglage 126 suivant une tension de commande qui est amenée à sa base à partir de l'amplificateur à transistor 144. Il est également prévu une lampe indicatrice d'état limite 178 qui est alimentée par le transistor 144 lorsque le circuit de commande de réglage 68 provoque une interruption ou une diminution du courant allant au circuit en pont du détecteur.

Suivant une forme de réalisation représentée dans la fig. 3 on utilise les valeurs suivantes pour les éléments de circuit en vue d'obtenir un mode de fonctionnement satisfaisant :

Transistors

88, 92, 100, 102, 126, 142, 152, 154, 164, 180 - type 2 N 697

108, 128, 144 - type 2 N 3250

116 contacteur au silicium commandé - Type 3 N 58

124 Type 2 N 1485

5 140 amplificateur de référence type RAIA (General Electric)

Diodes

130, 149 - diodes de Zener IN3828A, 6,2 volts

146, 148, 150 - IN4004

Tensions

10 + E₁ = +45 volts; E₂ = + 38 volts; -E = - 6,2 volts

Résistances

R 48	22 Ω , 10w	1%	R 106	18K	R123	15K
R 50	2,2K, 1%		R 110	8,2K	R 125	1,8 Ω , 1%
R52	8,0K, 1%		R 112	10K	R127	2,0 Ω , 1%
15 R84	6K, 1/2%		R 117	2,7K	R 129	2,2 Ω , 1%
R86	6,4K 1/2%		R 118	10K	R 131	6,2 Ω , 1%
R90	5,6K		R 119	15K	R 133	7,5 Ω , 1%
R94	3,3K		R 121	15K	R 134	1,2K
R104	4,7K		R 122	1Meg.	R 135	10 Ω , 1%
20 R136	3,3K		R 145	4,7K	R 174	10K réglable
R137	16 Ω , 1%		R 147	8,2K	R 175	390K
R138	20K réglable		R 156	4,7K	R 176	2K réglable
R139	20 Ω , 1%		R 158	4,7K	R 177	1,2K
R141	10K		R 160	20K	R 179	4,7K
25 R143	1,2K		R 162	20K	R 181	470 Ω , 2 ^w
					R 191	22 Ω

Condensateurs

114 0,047 microfarad

120 0,22 microfarad

30 139 0,22 microfarad

R E S U M E

L'invention s'étend notamment aux caractéristiques ci-après ainsi qu'à leurs diverses combinaisons possibles.

1.) Détecteur de conductibilité thermique du type comportant un circuit en pont qui comprend un fil chauffant de mesure et un fil chauffant de référence possédant chacun un coefficient résistance/température positif, un circuit de connexion étant prévu pour produire un flux de courant à travers ces fils, la résistance résultante du circuit en pont de détecteur étant croissante avec un accroissement d'une des résistances de fil chauffant-détecteur caractérisé par une disposition de connexions qui assure une diminution du flux de courant à travers les fils chauffants lorsque la résistance résultante dépasse une valeur prédéterminée ou/et une disposition de connexions qui assure une telle diminution lorsqu'un rapport entre les résistances des fils chauffants dépasse une valeur prédéterminée.

2.) Le circuit en pont du détecteur forme par lui-même une branche d'un pont de limitation non équilibré dans son état de départ, ce pont présentant des bornes de sortie entre lesquelles se produit une première ou une seconde polarité suivant le désaccord du pont de limitation lorsque la résistance résultante du circuit en pont de détecteur est respectivement plus faible ou plus grande qu'une valeur limite prédéterminée, l'aménée de courant aux fils chauffants pouvant être diminuée en dépendance de cette tension lorsqu'est produite une tension de ladite première polarité.

3.) Entre les branches du circuit en pont de détecteur est branché un amplificateur de différence de telle manière qu'il réponde à l'état de désaccord du circuit en pont de détecteur, cet amplificateur de différence pouvant modifier le flux de courant à travers les fils chauffants de telle manière que le rapport entre les résistances du fil chauffant de mesure et du fil chauffant de référence soit limité à une

valeur prédéterminée.

4.) Entre les branches du pont de limitation est branché un amplificateur de différence par lequel lors d'un dépassement d'une valeur limite prédéterminée de la résistance résultante du circuit en pont de détecteur, le flux de courant à travers les fils chauffants est interrompu.

