

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 09967

(54) Procédé et dispositif permettant de détecter un état d'instabilité d'un phénomène à évolution lente, notamment la déformation d'un terrain.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). G 01 P 15/00; E 21 F 17/18; G 01 B 21/16; G 01 D 1/18.

(22) Date de dépôt..... 5 mai 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 45 du 6-11-1981.

(71) Déposant : Société à responsabilité limitée dite : SAMIFER, Société auxiliaire des mines de fer de France, résidant en France.

(72) Invention de : Denis De Winter et Pierre Sinou.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Office Blétry,
2, bd de Strasbourg, 75010 Paris.

La présente invention concerne un procédé permettant de détecter un état d'instabilité d'un phénomène à évolution lente mesurable par une variation de distance entre deux points prédéterminés, consistant à mesurer la valeur du déplacement d'un des deux points prédéterminés par rapport à l'autre et à traiter les résultats des mesures de déplacement en vue d'émettre un signal de commande ou d'alarme lorsque ledit traitement révèle un état d'instabilité.

La présente invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé.

Par phénomène à évolution lente, on entend un phénomène dont la durée d'évolution est comprise entre plusieurs minutes et plusieurs années. Il s'agit par exemple de la déformation d'un terrain, d'une roche ou similaire par exemple dans un chantier de mines souterraines ou à ciel ouvert.

Un éboulement massif dans un chantier de mines souterraines ou à ciel ouvert occupé par des travailleurs provoque des risques d'accidents mortels qui peuvent être évités si, avant que l'éboulement se produise, les travailleurs évacuent la zone menacée. De tels éboulements peuvent aussi provoquer des affaissements en surface qui, eux aussi, peuvent entraîner directement ou indirectement des dommages corporels aux personnes qui s'y trouvent. Dans ce cas aussi, une évacuation préalable desdites personnes minimise les risques d'accident.

On sait depuis longtemps que les éboulements sont précédés d'une déformation des terrains. Tant que cette déformation reste lente et uniforme, il n'y a pas de risques d'éboulements massifs. Pour détecter l'état d'instabilité d'un terrain, il est déjà connu de mesurer la distance entre deux points prédéterminés et d'enregistrer cette mesure, soit sous forme analogique, soit sous forme numérique, et d'effectuer ensuite, en temps différé, des tests statistiques sur la grandeur mesurée à l'aide d'un ordinateur. Ce procédé de détection nécessite l'intervention d'un spécialiste pour interpréter les résultats des tests fournis par l'ordinateur. La décision d'émettre un signal de commande ou de déclencher une alerte ou une alarme en vue de l'évacuation du lieu menacé d'un éboulement est prise par le spécialiste qui interprète les résultats des tests, lesquels ne donnent que des signes prémonitoires empiriques et le plus souvent non quantifiés. Toutefois, les difficultés d'interprétation entraînent sou-

vent une incertitude sur la nécessité de déclencher l'alerte ou l'alarme.

Par ailleurs, on a déjà proposé aussi des systèmes de détection faisant appel à la mesure des vibrations (vibrations propres au terrain ou vibrations émises par un émetteur de vibrations et captées par un détecteur). Ces systèmes sont complexes et ne permettent d'obtenir que des résultats intéressant une zone très étendue de terrain (plusieurs centaines de mètres carrés). En outre, dans ce système de détection, il existe aussi une difficulté d'interprétation de la grandeur mesurée qui entraîne une incertitude sur la nécessité de déclencher l'alerte ou l'alarme.

La présente invention a donc pour but de fournir un procédé permettant de détecter un état d'instabilité d'un phénomène à évolution lente, en particulier la déformation d'un terrain, et d'avertir toute personne concernée de l'état d'instabilité du phénomène étudié, en particulier de l'imminence d'un éboulement de terrain, ce procédé étant basé sur la mesure de la distance entre deux points prédéterminés et pouvant être mis en oeuvre entièrement automatiquement et en temps réel, c'est-à-dire que le dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention traite immédiatement les informations fournies par la mesure de la distance entre les deux points prédéterminés, interprète les résultats du traitement et prend lui-même la décision d'émettre, le cas échéant, un signal de commande, d'alerte ou d'alarme.

La présente invention a également pour but de fournir un dispositif répondant aux conditions indiquées ci-dessus.

L'invention est basée sur de nombreux essais effectués par les inventeurs qui ont constaté que la déformation d'un terrain, qui peut être représentée par la valeur du déplacement entre deux points prédéterminés dudit terrain, a une accélération de plus en plus forte dans les minutes qui précèdent un éboulement de terrain.

Le procédé selon la présente invention est caractérisé en ce que le traitement des résultats des mesures de déplacement consistent à calculer en temps réel la valeur de l'accélération dudit déplacement et à comparer la valeur

d'accélération calculée à au moins une valeur de seuil d'accélération préréglé de façon à émettre un signal de commande d'alerte ou d'alarme lorsque la valeur d'accélération calculée est supérieure ou égale à la valeur de seuil préréglée.

5 De préférence, le calcul de l'accélération est effectué périodiquement à une fréquence élevée par rapport à la vitesse d'évolution du phénomène étudié. Dans le cas où la présente invention est utilisée pour prévoir un éboulement dans un chantier de mines souterraines ou à ciel ouvert, il
10 peut être avantageusement prévu deux seuils de comparaison, par exemple un premier seuil correspondant à une alerte (galerie de mine dangereuse) et un deuxième seuil correspondant à une alarme (évacuation immédiate de la galerie de mine).

L'invention sera maintenant décrite plus en détail
15 en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est un schéma par blocs montrant, de façon générale, un dispositif selon l'invention pour détecter un état d'instabilité d'un phénomène à évolution lente, par exemple la déformation d'un terrain.

20 La figure 2 est un schéma montrant une réalisation concrète d'une partie du dispositif représenté sur la figure 1.

La figure 3 est un schéma par blocs montrant l'organisation interne du microcalculateur représenté dans la figure 2.
25

La figure 4 est un ordinogramme montrant la succession des opérations effectuées ou commandées par le microcalculateur représenté sur les figures 2 et 3.

Dans son aspect le plus large, le dispositif selon l'invention représenté sur la figure 1 comprend un capteur de déplacement 1 apte à fournir un signal variable correspondant à la distance entre deux points prédéterminés. Autrement dit, la valeur de ce signal à un instant donné donne une indication de la valeur du déplacement d'un des deux points
30 prédéterminés par rapport à l'autre. Dans le cas où on désire surveiller la stabilité du toit d'une galerie de mine, le capteur de déplacement 1 peut être par exemple constitué
35

par un dilatomètre à capteur résistif (potentiomètre) tel que par exemple ceux qui sont commercialisés sous la désignation SAM. - DR 76 ou SAM. - CR 76 par la Société SAMIFER.

Le signal fourni par le capteur de déplacement 1 est
5 appliqué à des moyens de traitement 2 qui comprend un dispositif de calcul 3 relié en permanence au capteur de déplacement 1 et apte à calculer la valeur de l'accélération de déplacement à partir du signal fourni par ledit capteur 1, et un dispositif comparateur 4 apte à comparer la valeur
10 d'accélération calculée par le dispositif de calcul 3 à une valeur de seuil d'accélération préréglée S_1 et à délivrer un signal de sortie lorsque la valeur d'accélération calculée est supérieure ou égale à ladite valeur de seuil d'accélération préréglée.

15 Le signal de sortie du dispositif comparateur 4 est envoyé à un dispositif de commutation 5 de type connu à semiconducteur commandé et/ou relais électromagnétique, qui réagit au signal de sortie du dispositif comparateur 4 pour actionner un dispositif d'alerte 6 éventuellement par l'inter-
20 médiaire d'un dispositif de commande 7 (amplificateur de puissance ou relais de puissance) si le dispositif d'alerte 6 requiert une puissance importante pour son fonctionnement.

Les moyens de traitement 2 peuvent en outre comporter un deuxième dispositif comparateur 8 apte à comparer la
25 valeur d'accélération calculée par le dispositif de calcul 3 à une deuxième valeur de seuil d'accélération préréglée S_2 , plus élevée que la première valeur de seuil S_1 , et apte à délivrer un signal de sortie lorsque la valeur d'accélération calculée est supérieure ou égale à ladite seconde valeur de
30 seuil S_2 . Un dispositif de commutation 9 semblable au dispositif de commutation 5 réagit au signal de sortie du deuxième dispositif comparateur 8 pour actionner un dispositif d'alarme 10 éventuellement par l'intermédiaire d'un dispositif de commande 11 si cela est nécessaire pour le fonctionnement du
35 dispositif d'alarme 10.

Le dispositif d'alerte 6 peut être du type sonore (sonnerie, avertisseur sonore, sirène) ou du type lumineux,

et il peut émettre un signal continu ou discontinu. De même, le dispositif d'alarme 10 peut être du type sonore ou du type lumineux et émettre un signal continu ou discontinu. Bien entendu, lorsqu'il est prévu un dispositif d'alerte 6 et un
5 dispositif d'alarme 10, les signaux respectifs émis par ces deux dispositifs doivent être différents afin que l'on puisse distinguer une alerte signalant simplement un danger d'une alarme indiquant que toute personne doit évacuer immédiatement le lieu dangereux. L'un des deux dispositifs 6 et 10 peut aussi
10 être constitué par des moyens connus aptes à diffuser, lorsqu'ils sont actionnés, un message en clair à travers des haut-parleurs. Si on le désire, le signal de sortie de l'un ou l'autre des deux dispositifs comparateurs 4 et 8 peut être aussi utilisé de manière similaire pour commander le fonction-
15 nement de tout autre dispositif de sécurité.

Dans le cas où il s'agit de surveiller la stabilité d'un terrain, par exemple le toit d'une galerie de mine, la déformation du sol est très lente. D'après les essais effectués par les inventeurs, le risque d'éboulement devient imminent
20 lorsque l'accélération de la déformation du terrain atteint 10^{-12} g à 10^{-11} g (g étant l'accélération de la pesanteur). Dans ce cas, le problème est donc de pouvoir calculer de manière fiable et précise des accélérations très faibles. On décrira maintenant une forme d'exécution concrète des
25 moyens de traitement 2 permettant de résoudre ce problème.

Dans la figure 2, on a représenté le capteur de déplacement 1 et les moyens de traitement 2. Comme indiqué plus haut, le capteur de déplacement 1 peut être constitué par un dilatomètre à capteur résistif, par exemple du type SAM.-DR 76
30 fabriqué par la Société SAMIFER. Le dilatomètre de ce type est placé dans un trou vertical de longueur comprise entre 2 et 6 m et de diamètre compris entre 40 et 50 mm, foré dans le toit de la galerie de mine dont on veut surveiller la stabilité. Le dilatomètre comprend un dispositif télescopique qui contient
35 un système à ressort et un potentiomètre linéaire à très grande résolution. L'une des extrémités du dispositif télescopique est

fixée à une plaque de base qui est elle-même fixée à la face libre du toit de la galerie de mine, tandis que l'autre extrémité du dispositif télescopique est ancrée dans le fond du trou foré dans le toit de la galerie. Le potentiomètre est agencé à l'intérieur du dispositif télescopique de telle façon que toute variation de la longueur dudit dispositif entraîne un déplacement correspondant du curseur du potentiomètre. Comme montré sur la figure 2, l'une des extrémités du potentiomètre est reliée électriquement à la masse, tandis que l'autre extrémité est reliée à une source de tension continue d'alimentation d'une manière qui sera décrite plus loin. Dans ces conditions, si le curseur du potentiomètre a été réglé dans une position initiale à l'extrémité du potentiomètre qui est reliée électriquement à la masse, la tension analogique V_c disponible sur le curseur du potentiomètre correspondra à une valeur analogique du déplacement entre les deux points prédéterminés auxquels sont respectivement reliés mécaniquement le curseur et l'extrémité à la masse du potentiomètre (on notera que, même si le curseur du potentiomètre n'a pas été réglé au préalable dans la position initiale susmentionnée, la tension analogique disponible sur le curseur du potentiomètre correspondra néanmoins à la valeur dudit déplacement à une constante près). Avec le dilatomètre du type indiqué plus haut, la précision de la mesure du déplacement est de $\pm 0,05$ mm.

Pour la mesure du déplacement et le calcul de l'accélération, les moyens de traitement 2 comprennent essentiellement :

- a) une source de tension continue 13 constituée par exemple par une batterie 14 de 12 volts qui fournit, par l'intermédiaire d'une alimentation stabilisée 15, les tensions continues nécessaires au fonctionnement du dispositif.
- b) Un microcalculateur programmable 16, constitué par exemple par un circuit intégré n° 8748 fabriqué par la Société INTEL. Dans la figure 2, les symboles qui sont indiqués à côté des bornes d'entrée ou de sortie du microcalculateur 16 sont les mêmes que ceux qui sont inscrits sur le boîtier du

circuit intégré n° 8748. La figure 3 montre l'organisation interne du microcalculateur 16. Il comprend une unité centrale de calcul 17 de 8 bits, qui est rythmée par une horloge 18 elle-même pilotée par un circuit oscillant extérieur 19 qui est reliée aux entrées XT_1 et XT_2 du lateur 16. L'unité centrale 17 échange des informations, par l'intermédiaire d'un bus 20 de circulation des informations, avec une mémoire programme 21 de 1024 mots de 8 bits, dans laquelle est stockée un programme de calcul et de commande, une mémoire vive 22 de 64 mots de 8 bits, dans laquelle sont stockés des résultats intermédiaires des calculs, un compteur d'événements 23 de 8 bits et une unité d'entrées/sorties 24 comportant 27 lignes d'entrée ou de sortie. Comme montré sur la figure 2, les bornes de sortie P_{15} et P_{16} du microcalculateur 16 sont reliées respectivement aux dispositifs de commutation 5 et 9 de la figure 1.

c) Un convertisseur numérique-analogique 25 constitué par exemple par un circuit intégré n° DAC 80 fabriqué par la Société BRAUN. Le convertisseur 25 comporte douze entrées qui sont reliées respectivement aux bornes de sortie DB_0 à DB_7 et P_{20} à P_{23} du microcalculateur 16, et deux bornes de sortie 26 et 27.

d) Un amplificateur 28 dont l'entrée est reliée à la borne de sortie 26 du convertisseur 25 et dont la sortie est reliée à l'une des extrémités du potentiomètre 1 (capteur de déplacement). Le gain de l'amplificateur 28 peut être réglé au moyen du potentiomètre 29.

e) Un comparateur 30 dont l'une des bornes d'entrée est reliée à la borne de sortie 27 du convertisseur 25 et dont l'autre borne d'entrée est reliée, par l'intermédiaire d'une cellule de filtrage formée par une résistance 31 et par un condensateur 32, au curseur du potentiomètre 1. La sortie du comparateur 30 est reliée à la borne d'entrée T_0 du microcalculateur 16.

f) Un commutateur codé 33 reliée par une liaison à trois fils aux bornes d'entrée P_{10} à P_{12} du microcalculateur 16.

Les moyens de traitement 2 comportent en outre les éléments auxiliaires suivants :

a Pour le contrôle de la tension d'alimentation du potentiomètre 1, un comparateur 34 dont l'une des deux entrées est reliée à la borne de sortie 27 du convertisseur 25 et dont l'autre entrée est reliée à la sortie de l'amplificateur 28.

5 La sortie du comparateur 34 est reliée à l'entrée T_1 du microcalculateur 16.

b) Pour le contrôle de la tension de la batterie 14, un comparateur 35 dont l'une des deux entrées est reliée à la borne de sortie 27 du convertisseur 25 et dont l'autre entrée est
10 reliée au point milieu d'un diviseur de tension formé par des résistances 36 et 37, qui divisent par deux la tension de la batterie 14. La sortie du comparateur 35 est reliée à l'entrée INT du microcalculateur 16.

c) Pour l'affichage de la valeur du déplacement (ou de l'accélération) et pour l'affichage d'un caractère de défaut, un dispositif d'affichage numérique 36 commandé par le microcalculateur 16 par l'intermédiaire d'un décodeur pilote 37. Le dispositif d'affichage numérique 36 peut être par exemple un
20 il peut comporter quatre éléments d'affichage à sept segments chacun. Le premier élément d'affichage (par exemple celui de gauche dans la figure 2) est réservé à l'affichage du caractère de défaut, tandis que les trois autres éléments d'affichage sont réservés à l'affichage de la valeur en mm du déplacement. Le décodeur pilote 37 peut être constitué par le
25 décodeur n° HES 4543 B fabriqué par la Société RTC. Il comporte quatre circuits décodeurs reliés respectivement aux quatre éléments d'affichage du dispositif d'affichage 36 par des liaisons à sept fils. Les bornes de sortie P_{20} à P_{23} du microcalculateur
30 16 sont reliées par une liaison à quatre fils aux bornes d'entrée A_0 à A_3 des quatre circuits du décodeur pilote 37. La borne de sortie P_{14} du microcalculateur 16 est reliée aux bornes d'entrée IP de chacun des quatre circuits du décodeur pilote 37 et à la borne d'entrée d'inversion de polarité du dispositif d'affichage numérique 36. Les bornes de sortie P_{24} , P_{25} , P_{26} et
35 P_{27} du microcalculateur 16 sont reliées respectivement aux bornes d'entrée EL des quatre circuits du décodeur pilote 37.

Les moyens de traitement 2 peuvent comporter en outre les éléments facultatifs suivants pour permettre la sortie

analogique du déplacement et de l'accélération, en particulier en vue de l'étalonnage du dispositif selon l'invention dans le but de l'adapter à des conditions de terrain particulières. Ces éléments sont les suivants :

- 5 a) un amplificateur 38 dont l'entrée est reliée à la sortie de la cellule de filtrage 31, 32, et dont la sortie est reliée à une borne extérieure de sortie 39 sur laquelle est disponible une tension V_{AD}' correspondant à la valeur analogique du déplacement. Le gain de l'amplificateur 38 peut être réglé au
10 moyen d'un potentiomètre 40.
- b) un échantillonneur bloqueur 41 qui comporte, de façon connue, un étage d'entrée 42 dont l'entrée est reliée à la borne de sortie 27 du convertisseur 25 et dont la sortie est reliée par l'intermédiaire d'un interrupteur commandé 43 à
15 une cellule de mémoire 44 avec condensateur de mémorisation 45, dont la sortie est reliée à une borne extérieure de sortie 46 sur laquelle est disponible une tension analogique V_{AA} correspondant à la valeur analogique de l'accélération. L'entrée de commande de l'interrupteur 43 est reliée à la
20 borne de sortie P_{13} du microcalculateur 16. L'échantillonneur bloqueur 41 a sa propre alimentation stabilisée 47.

On décrira maintenant le fonctionnement du dispositif selon l'invention en faisant référence aux figures 2, 3 et 4.

- La figure 4 montre la succession des opérations effectuées par le microcalculateur 16 sous la commande du
25 programme de calcul et de commande stocké dans la mémoire programme 21 (figure 3). Après la mise sous tension du dispositif selon l'invention (opération indiquée par le bloc 48 de la figure 4) le microcalculateur 16 initialise le compteur
30 d'événements 23, les drapeaux de l'unité centrale 17 et les registres de la mémoire vive 22 (opération interne indiquée par le bloc 49 de la figure 4), avant d'entreprendre les cycles de calcul proprement dits. Un cycle complet de calcul et de commande comporte 65 cycles élémentaires de durée $D = 15,68$ ms.
- 35 Chaque cycle complet dure donc 1,02 seconde. Il se décompose en 64 cycles élémentaires appelés ci-après cycles de mesure et un cycle élémentaire appelé ci-après cycle de calcul et d'affichage.

Chaque cycle complet de calcul et de commande commence par deux opérations annexes (bloc 50 de la figure 4), à savoir une opération de vérification de la tension d'alimentation du capteur 1 et une opération de vérification de la tension de la batterie 14. Ces deux opérations sont effectuées en utilisant le convertisseur 25 et les comparateurs 34 et 35, respectivement, d'une manière qui sera décrite plus loin.

Ensuite, le microcalculateur 16 détermine un caractère de défaut (opération interne indiquée par le bloc 51 de la figure 4) si l'une ou l'autre des deux opérations de vérification susmentionnées révèle une tension anormale d'alimentation du capteur 1 ou une tension anormale de la batterie 14 en vue de l'affichage ultérieur d'un caractère d'un défaut sur le dispositif d'affichage numérique 36. Ensuite, le microcalculateur commande la remise à zéro d'une variable RSOM dont la signification sera indiquée plus loin (opération interne indiquée par le bloc 52 de la figure 4). Ensuite, le microcalculateur effectue successivement 64 cycles de mesure. Chacun des 64 cycles de mesure commence par une opération de conversion analogique-numérique de la valeur du déplacement (bloc 53 de la figure 4) en utilisant le convertisseur 25, l'amplificateur 28 et le comparateur 30 d'une manière qui sera décrite plus loin. Ensuite, le microcalculateur 16 additionne la valeur numérique du déplacement donnée par l'opération de conversion 53 à la somme des valeurs numériques de déplacement obtenue lors du cycle de mesure immédiatement précédent (opération interne, bloc 54 de la figure 4). Par exemple, pour le cycle élémentaire de mesure d'ordre i , le microcalculateur 16 effectue l'opération : $RSOM_i = RSOM_{i-1} + \text{valeur du déplacement}$.

A la fin du 64ème cycle élémentaire de mesure, la variable $RSOM_{64}$ aura donc une valeur égale à la somme des 64 valeurs numériques de déplacement déterminées respectivement au cours des 64 cycles de mesure. La variable $RSOM_{64}$ servira par la suite de donnée d'entrée pour le calcul de l'accélération pendant le 65ème cycle élémentaire de calcul et d'affichage.

Chaque cycle élémentaire de mesure peut comporter en outre une opération consistant à sortir la valeur analogique de

l'accélération qui a été calculée au cours du cycle complet précédent (opération indiquée par le bloc 55 de la figure 4). Cette opération est effectuée en utilisant l'échantillonneur-bloqueur 41 d'une manière qui sera décrite plus loin. Chaque cycle élémentaire de mesure comporte en outre une opération d'ajustement de la durée du cycle à $D = 15,68$ ms (opération interne indiquée par le bloc 56 de la figure 4). Cette opération est effectuée de façon connue en utilisant l'horloge interne 18 et le compteur d'événements internes 23 du microcalculateur 16.

Après avoir effectué 64 cycles élémentaires de mesure identiques à celui qui vient d'être décrit, le microcalculateur 16 vérifie si le drapeau d'initialisation est mis (opération interne indiquée par le losange 57 de la figure 4). Si le drapeau d'initialisation est mis, le microcalculateur effectue une opération d'initialisation des données (indiquée par le bloc 58 de la figure 4). Pendant cette phase d'initialisation, le microcalculateur 16 détermine la vitesse moyenne du déplacement et calcule des valeurs initiales qui sont enregistrées dans la mémoire vive 22 du microcalculateur 16 et qui seront utilisées ultérieurement pour le calcul de l'accélération. Cette phase d'initialisation revient à remplacer les mouvements de terrain qui ont eu lieu avant la mise sous tension du dispositif selon l'invention, et qui sont donc inconnus, par un déplacement de vitesse uniforme égal à la vitesse moyenne calculée pendant la phase d'initialisation. Cette phase d'initialisation peut avoir par exemple une durée de 5 minutes. Elle dure tant que le drapeau d'initialisation est mis. A la fin de la phase d'initialisation, le drapeau d'initialisation est enlevé. Par la suite, aussi longtemps que le microcalculateur 16 sera alimenté en tension, il effectuera à chaque cycle complet de calcul et de commande les opérations 50 à 56 (les opérations 53 à 56 étant répétées 64 fois) suivies des opérations 59 à 63 qui vont maintenant être décrites.

En effet, lorsque le microcalculateur 16 détecte que le drapeau d'initialisation est enlevé (opération 57), il effectue le calcul de l'accélération (opération interne indiquée par le bloc 59 de la figure 4) suivant un procédé

de calcul connu, par exemple par filtrages numériques successifs, à partir de la variable RSON obtenue à la fin des 64 cycles élémentaires de mesure et à partir des résultats des calculs effectués lors des cycles de calcul de l'accélération précédents. Ensuite, le microcalculateur 16 compare la valeur numérique d'accélération calculée par l'opération 59 avec les seuils préréglés d'accélération qui sont définis par le commutateur codé 33 et qui correspondent respectivement à une alerte (galerie dangereuse) et à une alarme (évacuation immédiate de la galerie). Cette opération de comparaison est indiquée par le bloc 60 dans la figure 4. Il s'agit d'une opération interne qui peut être effectuée par un procédé connu. A titre d'exemple, le premier seuil peut correspondre à une accélération de $6.10^{-12}g$ et le deuxième seuil peut correspondre à une accélération de $1,2.10^{-11}g$. Ces deux seuils peuvent être définis par un code à trois bits qui est appliqué aux bornes d'entrée P_{10} à P_{12} du microcalculateur 16. Si la valeur numérique calculée de l'accélération est inférieure aux deux seuils, le microcalculateur 16 délivre un signal de commande d'ouverture sur ses deux bornes de sortie P_{15} et P_{16} qui sont reliées respectivement aux dispositifs de commutation 5 et 9, de sorte que le dispositif d'alerte 6 et le dispositif d'alarme 10 restent inactifs. Si la valeur numérique calculée de l'accélération est supérieure ou égale au premier seuil, mais inférieure au deuxième seuil, le microcalculateur 16 délivre sur sa sortie P_{15} un signal de commande de fermeture qui ferme le dispositif de commutation 5 et sur sa sortie P_{16} un signal de commande d'ouverture qui ouvre ou maintient ouvert le dispositif de commutation 9, de sorte que le dispositif d'alerte 6 est actionné, tandis que le dispositif d'alarme 10 reste inactif. Enfin, si la valeur numérique calculée de l'accélération est supérieure ou égale au deuxième seuil, le microcalculateur 16 délivre sur ses deux sorties P_{15} et P_{16} des signaux de commande de fermeture qui ferment les deux dispositifs de commutation 5 et 9, de sorte que le dispositif d'alerte 6 et le dispositif d'alarme 10 sont tous les deux actionnés.

Après l'opération de comparaison (bloc 60), le microcalculateur 16 effectue de façon interne par un procédé connu la conversion binaire/DCB (décimal codé binaire) de la

valeur du déplacement (opération indiquée par le bloc 61 de la figure 4). Ensuite, le microcalculateur 16 effectue une opération d'ajustement de la durée du cycle à $D = 15,68$ ms en utilisant l'horloge interne 18 et le compteur d'événements 23.

5 (Opération interne indiquée par le bloc 62 de la figure 4). Enfin, le microcalculateur 16 commande l'affichage du caractère de défaut et l'affichage de la valeur de déplacement sur le dispositif d'affichage 36 (opération indiquée par le bloc 63 de la figure 4). Après achèvement de l'opération 63, le cycle
10 complet de calcul et de commande de durée $65D$ est terminé et le microcalculateur 16 recommence un cycle complet de calcul et de commande identique à celui qui vient d'être décrit (sans l'opération d'initialisation 58 si le drapeau d'initialisation a été enlevé), et ainsi de suite.

15 Les opérations 50, 51, 55, 61 et 63 sont optionnelles, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas indispensables au fonctionnement du dispositif selon la présente invention.

On décrira maintenant en détail certaines des opérations de la figure 4.

20 La tension V_c disponible sur le curseur du potentiomètre 1 est une tension analogique correspondant à la valeur du déplacement. Cette tension analogique V_c est convertie en une valeur numérique (opération 53) de la façon suivante. Quand le programme emmagasiné dans la mémoire 21 du micro-
25 calculateur 16 commande l'opération 53, le microcalculateur 16 délivre sur ses huit bornes de sortie DB_0 à DB_7 et sur ses quatre bornes de sortie P_{20} à P_{23} une succession de combinaisons numériques à 12 bits. Le convertisseur 25 fournit sur sa sortie 27 une tension analogique variable V dont la valeur
30 dépend de la combinaison numérique à 12 bits qui est présente à un instant donné sur les douze entrées du convertisseur 25. Le convertisseur 25 fournit en outre une tension fixe de référence V_{ref} qui a par exemple une valeur de 6,3 volts et qui est utilisée pour alimenter le potentiomètre 1 à une tension
35 de 9,75 volts par l'intermédiaire de l'amplificateur 28 dont le gain est réglable au moyen du potentiomètre 29 (cette dernière valeur de tension est ajustée pour obtenir 4.000 points

de lecture au niveau de l'entrée du convertisseur 25 lorsque le curseur du potentiomètre 1 est au maximum de sa course). La tension analogique V_c disponible sur le curseur du potentiomètre 1, après avoir été filtrée par la cellule de filtrage 31, 32, est comparée dans le comparateur analogique 30 à la tension analogique variable V fournie par le convertisseur 25. Lorsque le comparateur 30 détecte l'égalité des deux tensions V_c et V , il produit sur sa sortie un signal logique de coïncidence qui est envoyé à la borne d'entrée T_0 du microcalculateur 16, lequel sélectionne, parmi les combinaisons numériques à 12 bits de ladite succession, la combinaison qui est présente sur l'entrée du convertisseur 25 au moment où le comparateur 30 détecte l'égalité de tension V_c et V . La combinaison numérique à 12 bits ainsi sélectionnée représente la valeur numérique du déplacement. Autrement dit, la valeur analogique du déplacement représentée par la tension analogique V_c est convertie en une valeur numérique par une méthode d'approximations successives.

Comme cela a été indiqué plus haut, cette opération de conversion analogique-numérique (opération 53 de la figure 4) est effectuée pendant chacun des 64 cycles élémentaires de mesure de durée D d'un cycle complet de calcul et de commande de durée $65 D$, et les valeurs numériques du déplacement ainsi obtenues sont additionnées les unes aux autres (opération 54 de la figure 4), la somme totale des valeurs numériques (variable RSOM) obtenue à la fin des 64 cycles élémentaires de mesure étant stockée dans la mémoire vive 22 du microcalculateur 16 en vue du calcul de la valeur de l'accélération (opération 59 de la figure 4) pendant le 65ème et dernier cycle élémentaire de calcul et d'affichage du cycle complet de calcul et de commande.

Les vérifications de la tension d'alimentation du potentiomètre 1 et de la tension de la batterie 14 (opération 50 de la figure 4) s'effectue de la manière suivante. Conformément aux instructions du programme stocké dans la mémoire programme 21 du microcalculateur 16, celui-ci vérifie la tension d'alimentation du potentiomètre 1 suivant la même méthode que celle

qui a été décrite plus haut pour la conversion numérique-analogique de la valeur du déplacement, mais en utilisant cette fois le convertisseur 25 et le comparateur 34. Le comparateur 34 compare la tension de sortie de l'amplificateur 28 à une
5 tension analogique variable V qui est fournie par le convertisseur 25 et dont la valeur dépend d'une combinaison numérique à 12 bits fournie par le microcalculateur 16. Le résultat de la comparaison est envoyé à la borne d'entrée T_1 du microcalculateur 16 qui engendre un caractère de défaut en cas de
10 tension anormale d'alimentation du potentiomètre 1.

De la même manière, le microcalculateur 16 vérifie la tension de la batterie 14 divisée par 2 par les résistances 36 et 37, en utilisant le convertisseur 25 et le comparateur 35 qui envoie le résultat de la comparaison à la borne
15 d'entrée INT du microcalculateur 16, lequel engendre un caractère de défaut en cas de tension anormale de la batterie 14.

L'affichage numérique du caractère de défaut et de la valeur du déplacement (opération 63 de la figure 4) est effectué de la manière suivante. Conformément aux instructions du
20 programme stocké dans la mémoire programme 21, le microcalculateur 16 effectue tout d'abord de façon interne la conversion binaire/DCB (décimal codé binaire) du caractère de défaut qui a éventuellement été engendré pendant l'opération 51 (figure 4) si les opérations de vérification 50 (figure
25 4) ont révélé une tension anormale d'alimentation du potentiomètre 1 ou une tension anormale de la batterie 14, et la conversion binaire/DCB de la valeur numérique du déplacement qui a été déterminée pendant l'opération de conversion analogique-numérique 53 (figure 4). Les caractères à afficher sont
30 sortis en DCB sur les bornes de sortie P_{20} à P_{23} du microcalculateur 16. Chaque caractère est mis en mémoire dans l'un des quatre circuits du décodeur pilote 37. La mise en mémoire de chaque caractère est commandée par les sorties P_{24} à P_{27}
35 du microcalculateur 16 qui sont reliées respectivement aux entrées EL de chacun des quatre circuits du décodeur pilote 37, en concordance avec la sortie du caractère correspondant

sur les sorties P_{20} à P_{23} du microcalculateur 16. Le décodeur pilote 37 décode le code DCB de chaque caractère en un code à 7 bits pour la commande des quatre segments du dispositif d'affichage numérique 36. Le microcalculateur 16 commande aussi l'inversion de polarité nécessaire au bon fonctionnement du dispositif d'affichage numérique 36 par l'intermédiaire de sa sortie P_{14} qui commande l'entrée IP des quatre circuits du décodeur pilote 37 et l'entrée d'inversion de polarité du dispositif d'affichage numérique 36.

La sortie analogique de la valeur du déplacement s'effectue de la manière suivante. L'amplificateur 38 qui est relié en permanence au curseur du potentiomètre 1 à travers la cellule de filtrage 31, 32, sert d'adaptateur d'impédance et, en réglant son gain à l'aide du potentiomètre 40, il permet d'obtenir sur la borne de sortie 39 une tension analogique V_{AD} proportionnelle à la tension V_C .

La sortie analogique de la valeur de l'accélération (opération 55 de la figure 4) s'effectue de la manière suivante. Sous la commande du programme stocké dans la mémoire programme 21 du microcalculateur 16, ce dernier envoie tout d'abord sur sa sortie P_{13} l'ordre de fermer l'interrupteur 43 de l'échantillonneur bloqueur 41. Ceci a pour effet de connecter la cellule de mémoire 44 à l'étage d'entrée 42 de l'échantillonneur bloqueur 41. Dans un deuxième temps, le microcalculateur 16 envoie la valeur numérique de l'accélération qui a été calculée au cours du cycle complet de calcul et de commande précédent (opération 59 de la figure 4) sur les entrées du convertisseur 25. Ce dernier délivre sur sa sortie 27 une tension analogique qui correspond à ladite valeur numérique de l'accélération et qui est envoyée à l'étage d'entrée 42 de l'échantillonneur bloqueur 41. Cette tension analogique charge le condensateur de mémorisation 45 de la cellule de mémoire 44. Dans un troisième temps, le microcalculateur 16 envoie sur sa sortie P_{13} l'ordre d'ouvrir l'interrupteur 43. La valeur de la tension analogique V_A emmagasinée dans le condensateur 45 reste disponible sur la borne de sortie 46 pendant toute la durée du cycle jusqu'au prochain

rafraîchissement au cours du cycle complet suivant de calcul et de commande.

5 Dans la description qui précède, il a été prévu d'afficher sur le dispositif d'affichage numérique 36 la valeur décimale du déplacement. Toutefois, au lieu d'afficher la valeur décimale de déplacement, on peut afficher suivant le même procédé et en utilisant les mêmes éléments, la valeur décimale de l'accélération ou de tout autre variable intervenant dans le calcul, par exemple la vitesse du déplacement.

10 Il est du reste bien entendu que la forme d'exécution de la présente invention qui a été décrite ci-dessus a été donnée à titre d'exemple purement indicatif et nullement limitatif, et que de nombreuses variantes peuvent être prévues par l'homme de l'art sans pour autant sortir du cadre de la
15 présente invention. C'est ainsi notamment qu'au lieu d'utiliser un potentiomètre à titre de capteur de déplacement, on peut utiliser aux mêmes fins une capsule déformable par la pression délivrant un signal proportionnel au déplacement.

20 En outre, bien que dans la description qui précède, l'invention ait été décrite plus particulièrement à propos de son utilisation pour prévenir toute personne concernée de l'imminence d'un éboulement ou effondrement de terrain dans un chantier de mines, il va de soi que l'invention n'est nullement limitée à cette application particulière, mais peut
25 être utilisée pour surveiller la déformation d'un terrain à proximité d'un ouvrage d'art ou, d'une manière générale, l'évolution de tout phénomène à évolution lente, susceptible d'atteindre un état d'instabilité présentant un danger pour la vie ou les biens des humains.

R E V E N D I C A T I O N S

=====

1.- Procédé permettant de détecter un état d'instabilité d'un phénomène à évolution lente mesurable par une variation de distance entre deux points prédéterminés, consistant à mesurer la valeur du déplacement d'un des deux points
5 prédéterminés par rapport à l'autre et à traiter les résultats des mesures de déplacement en vue d'émettre un signal de commande ou d'alarme lorsque ledit traitement révèle un état d'instabilité, caractérisé en ce que le traitement des résultats des mesures de déplacement consiste à calculer en
10 temps réel la valeur de l'accélération dudit déplacement et à comparer la valeur d'accélération calculée à au moins une valeur de seuil d'accélération préréglée de façon à émettre un signal de commande, d'alerte ou d'alarme lorsque la valeur
15 d'accélération calculée est supérieure ou égale à la valeur de seuil préréglée.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le calcul de l'accélération est effectué périodiquement à une fréquence élevée par rapport à la vitesse d'évolution du phénomène étudié.

20 3.- Procédé selon la revendication 2, dans lequel la valeur de déplacement est mesurée sous forme analogique, caractérisé en ce que chaque cycle de calcul de l'accélération comprend un nombre prédéterminé n de cycles élémentaires successifs, en ce que pendant chacun des cycles élémentaires
25 d'ordre 1 à $n-1$, on convertit la valeur analogique de déplacement mesurée en une valeur numérique et on ajoute ladite valeur numérique à celle obtenue pendant le cycle élémentaire

précédent, et en ce que pendant le cycle élémentaire d'ordre n , on calcule l'accélération par filtrage numérique à partir de la somme des valeurs numériques obtenues à la fin des $n-1$ cycles élémentaires et à partir des résultats des calculs effectués lors des cycles de calcul de l'accélération précédent.

4.- Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que pendant une période de temps initiale de durée prédéterminée, on enregistre les résultats des calculs sans comparer les accélérations calculées à ladite valeur de seuil préréglée.

5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite comparaison consiste à comparer la valeur d'accélération calculée à une première valeur de seuil et à une seconde valeur de seuil plus élevée que la première valeur de seuil, de façon à émettre un signal d'alerte quand la valeur d'accélération calculée est comprise entre les première et seconde valeurs de seuil, et à la fois ledit signal d'alerte et un signal d'alarme quand la valeur d'accélération calculée est supérieure à la seconde valeur de seuil.

6.- Dispositif pour détecter un état d'instabilité d'un phénomène à évolution lente mesurable par une variation de distance entre deux points prédéterminés, comprenant un capteur de déplacement (1) apte à fournir un signal électrique correspondant à la valeur du déplacement d'un des deux points prédéterminés par rapport à l'autre, et des moyens (2) de traitement du signal délivré par le capteur de déplacement (1), caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (2) comprennent des moyens de calcul (3) reliés en permanence au capteur de déplacement (1) et aptes à calculer la valeur de l'accélération du déplacement, des moyens de comparaison (4, 8) aptes à comparer la valeur d'accélération calculée à au moins une valeur de seuil d'accélération préréglée (S_1 , S_2) et à délivrer un signal de sortie lorsque la valeur d'accélération calculée est supérieure ou égale à la valeur de seuil d'accélération préréglée, et des moyens de commutation et de commande (5, 7 ; 9, 11) qui réagissent au signal de

sortie des moyens de comparaison (4, 8) pour actionner un dispositif d'alerte, un dispositif d'alarme ou tout autre dispositif de sécurité (6, 10).

7.- Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens de comparaison (4, 8) sont agencés pour comparer la valeur d'accélération calculée à une première valeur de seuil préréglée (S_1) et à une seconde valeur de seuil préréglée (S_2) plus élevée que la première valeur de seuil, et pour délivrer un premier signal de sortie pour provoquer l'actionnement d'un dispositif d'alerte (6) lorsque la valeur d'accélération calculée est comprise entre les première et seconde valeurs de seuil préréglées, et à la fois le premier signal de sortie et un deuxième signal de sortie pour provoquer l'actionnement du dispositif d'alerte (6) et d'un dispositif d'alarme (10) lorsque la valeur d'accélération calculée est supérieure à la seconde valeur de seuil préréglée.

8.- Dispositif selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul (3) et lesdits moyens de comparaison (4, 8) sont constitués par un micro-calculateur programmé (16).

9.- Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le microcalculateur (16) comprend de façon connue une unité centrale (17), une horloge (18) pour rythmer l'unité centrale (17), et une mémoire programme (21), une mémoire vive (22), un compteur d'événements (23) et une unité d'entrées/sortie (24) qui sont connectés à l'unité centrale (17) par un bus de circulation des informations (20).

10.- Dispositif selon la revendication 8 ou 9, dans lequel le capteur de déplacement (1) est constitué par un potentiomètre ayant une extrémité reliée électriquement à la masse et mécaniquement à l'un des deux points prédéterminés, une autre extrémité reliée électriquement à une source de tension continue d'alimentation et un curseur relié mécaniquement à l'autre point prédéterminé, la tension analogique (V_c) disponible sur le curseur correspondant à une valeur analogique du déplacement, caractérisé en ce qu'il comprend en outre

un convertisseur numérique-analogique (25) qui délivre d'une part une tension analogique variable (V) à partir d'une succession de combinaisons de bits fournie par le microcalculateur (16) et d'autre part une tension fixe de référence (V_{ref}) pour l'alimentation du potentiomètre (1), et un comparateur (30) qui compare ladite tension analogique variable (V) à la tension analogique (V_c) disponible sur le curseur du potentiomètre (1) et qui, lorsque ces deux tensions sont égales, fournit un signal logique de coïncidence au microcalculateur (16) de façon à sélectionner une combinaison de bits parmi les combinaisons de bits de ladite succession, la combinaison de bits ainsi sélectionnée représentant la valeur numérique du déplacement.

11.- Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un premier dispositif de contrôle (30) pour contrôler la tension d'alimentation du potentiomètre (1), ce dispositif de contrôle comportant un deuxième comparateur (30) qui compare la tension d'alimentation du potentiomètre (1) à une tension analogique fournie par le convertisseur numérique-analogique (25), le résultat de la comparaison étant appliqué au microcalculateur (16) qui engendre un caractère de défaut en cas de tension anormale d'alimentation du potentiomètre (1).

12.- Dispositif selon la revendication 11, alimenté par une batterie (14), caractérisé en ce qu'il comprend en outre un deuxième dispositif de contrôle (35) pour contrôler la tension de la batterie (14), ce deuxième dispositif de contrôle comprenant un troisième comparateur (35) qui compare une tension proportionnelle à la tension de la batterie (14) à une tension analogique fournie par le convertisseur numérique-analogique (25), le résultat de la comparaison étant appliqué au microcalculateur (16) qui engendre un caractère de défaut en cas de tension anormale de la batterie (14).

13.- Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif d'affichage numérique (36) commandé par le microcalculateur (16) par l'intermédiaire d'un décodeur pilote (37), pour afficher la valeur décimale

du déplacement ou de l'accélération et ledit caractère de défaut.

14.- Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend un échantillonneur bloqueur (41) qui est commandé par le microcalculateur (16) et auquel est appliquée
5 une tension analogique fournie par le convertisseur numérique-analogique (25) et correspondant à la valeur d'accélération calculée, la sortie de l'échantillonneur-bloqueur (41) étant reliée à une borne de sortie (46) sur laquelle est disponible une valeur analogique de l'accélération.

10 15.- Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que le curseur du potentiomètre (1) est relié par l'intermédiaire d'un amplificateur (38) à une borne de sortie (39) sur laquelle est disponible une valeur analogique du déplacement.

1/3

Fig. 1

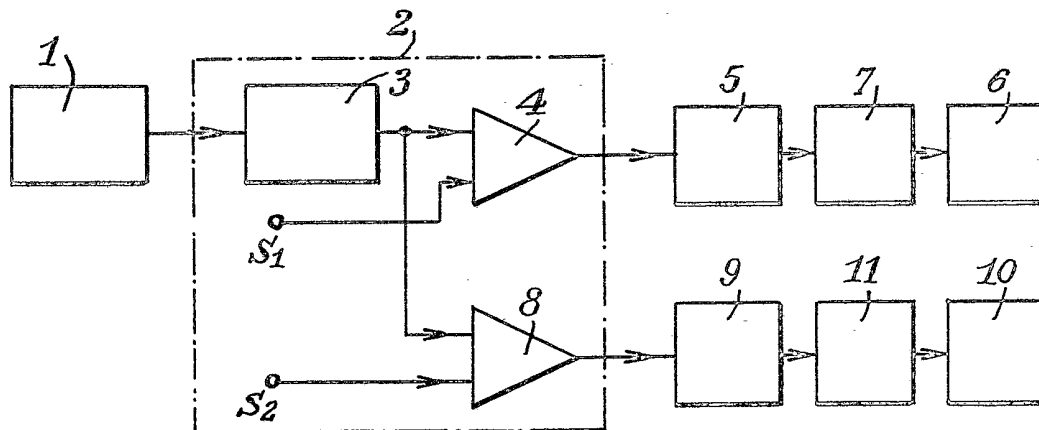


Fig. 3

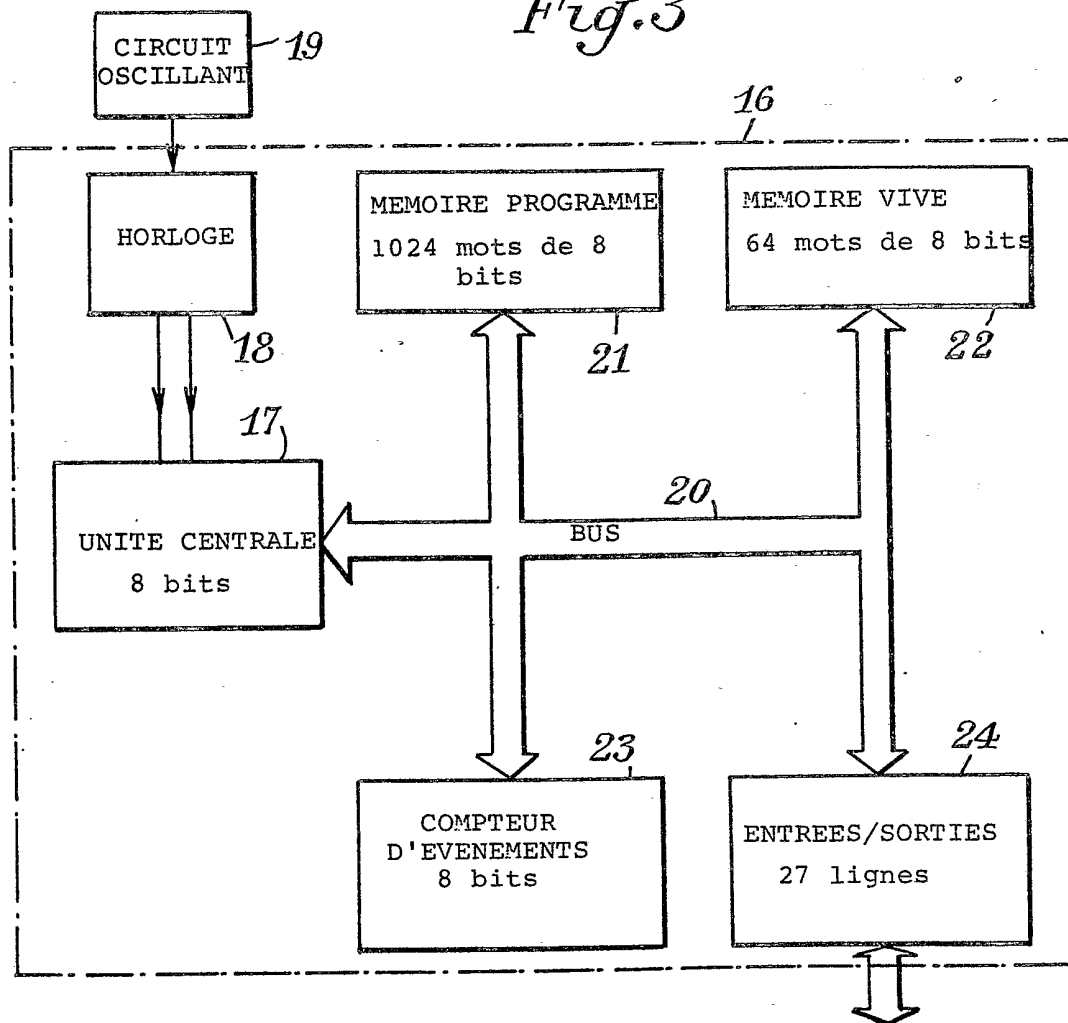
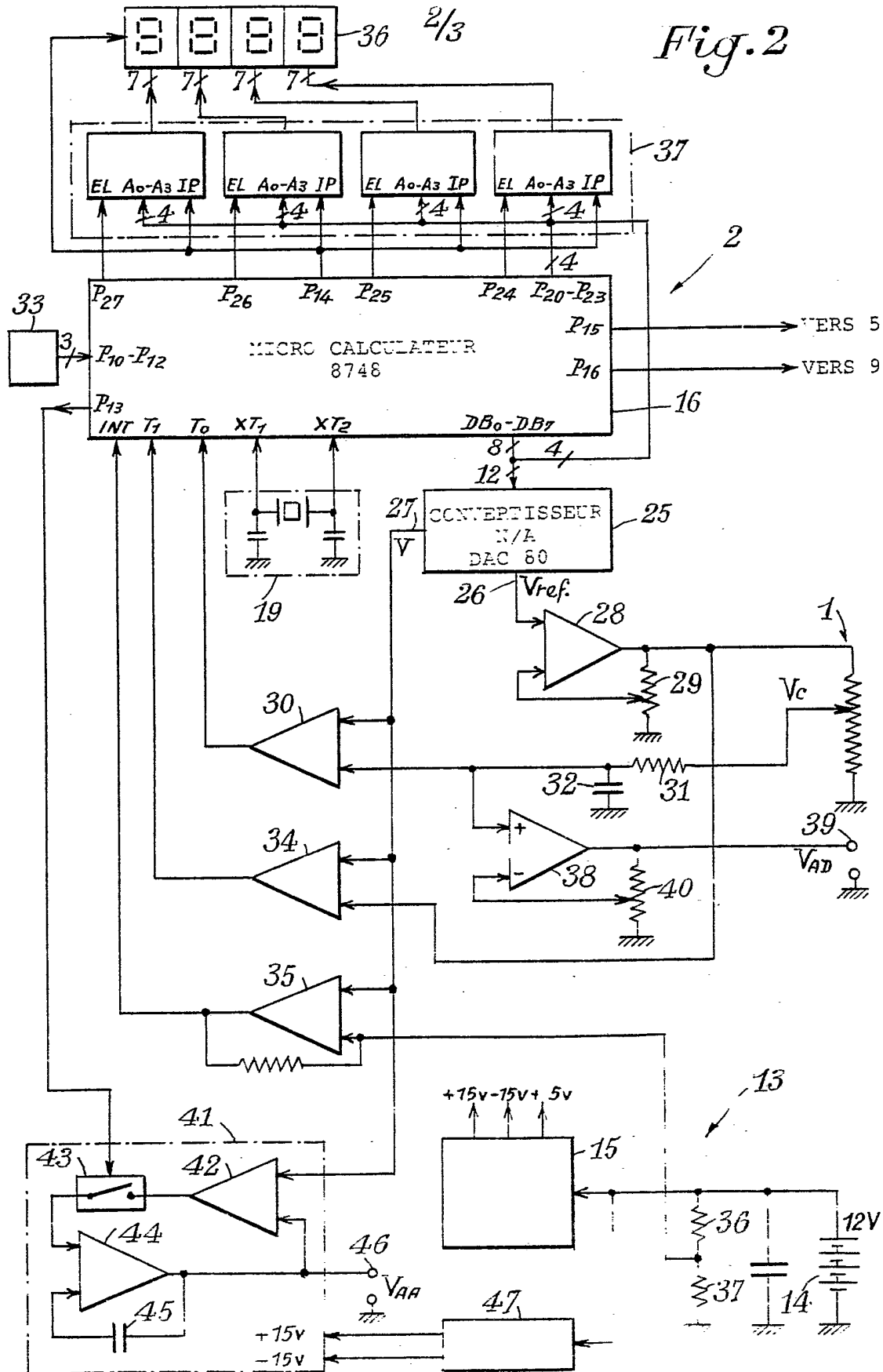


Fig. 2



3/3

Fig. 4

