(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 698 704**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **92 14683**

(51) Int Cl[5] : G 06 F 15/46, 15/78, G 08 B 31/00, G 07 C 3/00, 3/14, G 01 D 3/00, 1/00

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 30.11.92.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 03.06.94 Bulletin 94/22.

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

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *HECKMANN Didier* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** HECKMANN Didier.

(73) **Titulaire(s) :**

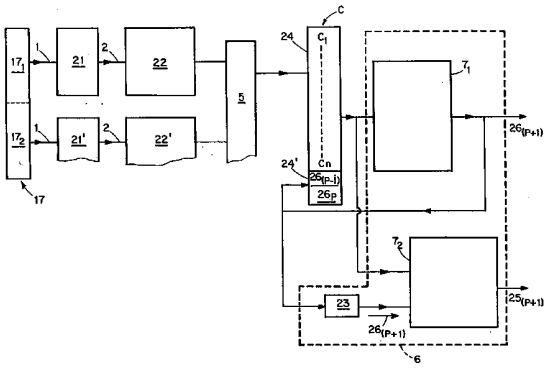
(74) **Mandataire :** Cabinet Beau de Loménie.

(54) Procédé et dispositif de maintenance prédictive.

(57) La présente invention est relative à un procédé de maintenance préventive et à un dispositif de mise en œuvre de ce procédé.

Un dispositif comporte au moins un module (1) d'acquisition de données de mesures, un module (2) de prétraitement des données de mesure, une mémoire (4), un module (5) de sélection de paramètre permettant d'établir des vecteurs caractéristiques, un module (6) d'analyse des vecteurs caractéristiques comportant au moins un réseau (7) de neurones, un moyen (10) de visualisation de modes et niveaux de performances détectées ou reconnu à partir des vecteurs caractéristiques par les moyens d'analyse.

Le domaine technique de l'invention est celui de la fabrication de dispositifs de surveillance et de maintenance de machines ou d'équipements divers.



FR 2 698 704 - A1

PROCEDE ET DISPOSITIF DE MAINTENANCE PREDICTIVE

La présente invention est relative à un procédé de maintenance préventive et à un dispositif de mise en oeuvre de ce procédé.

Le domaine technique de l'invention est celui de la fabrication de dispositifs de surveillance et de maintenance de machines ou d'équipements divers.

On connaît déjà de nombreux procédés et dispositifs de maintenance de machines ou d'équipements, notamment de machines ou d'équipements utilisés pour la fabrication ou le traitement de produits manufacturés divers.

A titre d'exemple il est connu dans le cas de machines incorporant des machines tournantes telles que moteurs, ventilateurs ou autres, d'équiper ce type de machine de capteurs de vibration, par exemple, qui sont reliés à des moyens de traitement de signaux et d'alarme qui sont déclenchés lorsque les vibrations de la machine surveillée dépassent un niveau pré-déterminé.

La présente invention a pour objet de procurer un procédé et un dispositif de mise en oeuvre de ce procédé, permettant d'effectuer une maintenance prédictive d'une machine, intervenant dans un procédé de fabrication de produits par exemple, c'est-à-dire qui permettent de détecter de façon préventive ou précoce des défaillances de tout ou partie de ladite machine, afin de permettre une maintenance (intervention, réparation) si possible préventive de la machine.

La présente invention à également pour objet de procurer un procédé et dispositif de maintenance de machine perfectionné.

On connaît déjà par le brevet US 5041976 (MARKO et al) un dispositif de diagnostic de panne dans un système de régulation électronique d'une machine, en particulier dans un système de régulation électronique du fonctionnement du moteur d'un véhicule automobile ; selon ce document des données de mesure sont enregistrées et sont utilisées pour former des vecteurs de paramètres qui décrivent le fonctionnement du régulateur électronique ; les vecteurs sont présentés à un système de reconnaissance tel qu'un réseau de neurones afin d'être classifiés pour déterminer des conditions de fonctionnement du système de régulation électronique.

Le procédé de diagnostic décrit dans ce document comporte les

opérations suivantes : on effectue des essais de fonctionnement du moteur, chaque essai correspondant à une condition de fonctionnement prédéterminée ; on enregistre pendant chacun de ces essais des données de fonctionnement du moteur correspondant à une pluralité de paramètres de fonctionnement ; on construit des vecteurs d'apprentissage avec les paramètres de fonctionnement observés et les conditions de fonctionnement correspondantes, que l'on présente à un système de reconnaissance pour établir des corrélations entre les paramètres de fonctionnement et les conditions de fonctionnement ; puis dans une phase d'exploitation, on effectue un essai d'un moteur à diagnostiquer, on enregistre des données correspondant auxdits paramètres de fonctionnement du moteur, on présente des vecteurs constitués à l'aide des données de fonctionnement du moteur à diagnostiquer au système de reconnaissance qui détermine le mode de fonctionnement observé du moteur à diagnostiquer.

Le procédé décrit dans ce document est destiné à permettre le diagnostic de conditions de fonctionnement reconnues par rapport à des conditions de fonctionnement prédéterminées ; mais ce procédé et le dispositif correspondant ne permettent pas d'effectuer une surveillance permanente de n'importe quel type de machine.

L'objectif de l'invention est de procurer un procédé et un dispositif de maintenance prédictive, c'est-à-dire un système de surveillance et d'analyse des paramètres de fonctionnement d'une machine, permettant de détecter précocement et/ou de prévoir des disfonctionnement de la machine, des baisses de performance de celle-ci et/ou des comportements ou modes de fonctionnement anormaux de cette machine.

L'objectif de l'invention consiste également à procurer un procédé et un dispositif de mise en oeuvre de procédé de maintenance permettant de fournir des informations relatives au fonctionnement d'une machine qui permettent de prévoir, de rationaliser et d'optimiser des interventions de maintenance sur de telles machines ou équipements de production.

La solution au problème posé consiste à procurer un procédé de maintenance d'au moins une machine équipée de capteurs, qui comporte les opérations suivantes :

- on choisit de décomposer ladite machine en plusieurs parties ou

sous ensembles fonctionnels,

- a) On mesure, de préférence de manière continue, et/ou on numérise, de préférence à des intervalles de temps t_1 réguliers correspondant à une fréquence de mesure, des signaux délivrés par l'ensemble desdits capteurs de manière à constituer des vecteurs ou tableaux de mesures brutes que l'on enregistre dans au moins une mémoire,

- b) On calcule de préférence à intervalles de temps réguliers correspondant à une fréquence de calcul par exemple inférieure ou égale à ladite fréquence de mesure, de préférence pour chaque partie ou sous ensemble fonctionnel de ladite machine, des vecteurs caractéristiques en fonction desdits vecteurs de mesure,

- c) On présente successivement, de préférence à des intervalles de temps t_2 réguliers correspondant à une fréquence d'analyse, des vecteurs choisis parmi lesdits vecteurs caractéristiques, à des moyens d'analyse comportant au moins un premier moyen de classification tel qu'un réseau de neurones , de manière à déterminer au moins un mode de fonctionnement d'au moins une partie de ladite machine, lequel mode de fonctionnement est choisi parmi des modes de fonctionnement prédéterminés, et on présente simultanément audit premier moyen de classification des informations relatives à au moins un mode de fonctionnement préalablement détecté ou observé par ledit premier moyen de classification,

- d) On présente une partie au moins dudit vecteur caractéristique déjà présenté audit premier moyen de classification, à un deuxième moyen de classification tel qu'un deuxième réseau de neurones et de préférence on présente audit deuxième moyen de classification au moins une information relative audit mode de fonctionnement actuel déterminé par ledit premier moyen de classification, de manière à déterminer un niveau ou type de performance de ladite partie de ladite machine, qui est choisi parmi des niveaux de performance prédéterminés,

- e) En cas d'échec de l'une desdites opérations de classification ci-dessus, on enregistre ledit vecteur caractéristique pour une classification ultérieure et on averti un opérateur,

- f) On répète en permanence les opérations repérées a) à e) ci-dessus.

Avantageusement, on présente audit premier moyen de classification une information d'identité et au moins une information de durée d'au moins un mode de fonctionnement précédemment observé, on présente audit deuxième moyen de classification au moins une information d'identité du mode actuel de fonctionnement déterminé par ledit premier moyen de classification.

Avantageusement, consécutivement à ladite opération a) de mesure et préalablement à ladite opération b) de calcul de vecteur caractéristique, on calcule des vecteurs de paramètres ou vecteurs de données de mesures prétraitées, de préférence on calcule un vecteur de paramètre pour chacun desdits vecteurs de mesure, chaque composante dudit vecteur de paramètre ayant une valeur correspondant à un prétraitement effectué sur une série temporelle de valeur prises par le signal correspondant, c'est-à-dire effectué sur une suite de composantes dudit vecteur de mesure, et dans ladite opération b) de calcul de vecteurs caractéristiques, on construit lesdits vecteurs caractéristiques pour chacune desdites parties ou sous ensembles fonctionnels de ladite machine, par une sélection de certaines composantes desdits vecteurs de paramètre.

Avantageusement, au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou desdits vecteurs caractéristiques correspond ou est égale à une moyenne temporelle de valeurs successivement prises par les composantes desdits vecteurs de mesure, à une valeur maximale prise par les composantes desdits vecteurs de mesure, à un écart type calculé pour une série ou succession temporelle de valeurs prises par les composantes desdits vecteurs de mesures, à un indice de capabilité ou de performance d'une partie au moins de ladite machine, lequel indice de capabilité est estimé sur la base d'une succession ou série temporelle de valeurs prises par les composantes desdits vecteurs de mesure.

Avantageusement, au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou desdits vecteurs caractéristiques correspond à un spectre des valeurs successives prises par les composantes desdits vecteurs de mesure.

L'invention procure également un dispositif de maintenance convenablement programmé pour mettre en oeuvre un procédé de maintenance selon l'invention, qui comporte au moins un module

d'acquisition de données de mesure, au moins un module de pré-traitement desdites données de mesure, au moins une mémoire, au moins un module de sélection et/ou de combinaison de paramètre permettant d'établir des vecteurs caractéristiques, au moins un module d'analyse desdits vecteurs caractéristiques comportant au moins un réseau de neurones, au moins un moyen de visualisation de mode et de type ou niveau de performance détectés ou reconnus à partir desdits vecteurs caractéristiques par lesdits moyens d'analyse.

L'utilisation du dispositif de maintenance selon l'invention s'effectue de la manière suivante : lors d'une phase d'apprentissage, un utilisateur introduit dans le dispositif des informations relatives au mode et/ou à la phase de fonctionnement de la machine ainsi que des informations relatives au niveau de performance de l'installation (de la machine); l'évaluation du niveau de performance peut être effectué en se basant sur les paramètres de fonctionnement observés ou simplement en fonction des caractéristiques observées du produit fabriqué par la machine à surveiller ; grâce à l'invention, l'apprentissage peut être effectué en quelques heures ; au terme de l'apprentissage le dispositif permet d'identifier en temps réel les comportements et niveaux de performance (de fonctionnement) de l'installation ; lors d'une phase d'exploitation, le dispositif peut déclencher un système d'alarme ou d'avertissement lorsqu'un événement inhabituel est détecté ou lorsque le niveau de performance détecté est insuffisant, et permet à tout moment d'être à nouveau utilisé en mode d'apprentissage.

Le procédé de maintenance et le dispositif de mise en oeuvre correspondant présentent notamment les avantages suivants :

- le procédé et le dispositif ne nécessitent pas de disposer préalablement à la phase d'apprentissage d'une connaissance formalisée des modes de fonctionnement du dispositif ; le procédé et le dispositif selon l'invention peuvent être adaptés à tout moment à des modifications éventuelles de l'installation ou de la machine à surveiller et/ou à un besoin nouveau de l'utilisateur ; le dispositif de maintenance prédictive selon l'invention est destiné à être raccordé en permanence à la machine à surveiller, et peut fonctionner sans aucune surveillance ou intervention humaine ; par ailleurs il faut noter que la programmation du dispositif utilisant les techniques

d'apprentissage en rend l'utilisation extrêmement simple.

De plus dans le cas d'une installation présentant un danger potentiel important, le procédé et le dispositif de maintenance prédictive permettent de détecter des fonctionnements "à risques", l'analyse des données mesurées pouvant dans ce cas être effectuée prioritairement en fonction de critères de sécurité préalablement définis.

Le procédé et le dispositif de maintenance prédictive selon l'invention permettent également, grâce à une surveillance permanente du procédé ou de l'installation de fabrication, de détecter des modes de fonctionnement risquant de provoquer un ou des défauts de conformité dans le produit traités ou fabriqués dans l'installation surveillée ; grâce au dispositif d'avertissement inclus dans le dispositif, la production peut alors être interrompue jusqu'à ce que le fonctionnement de celle ci permette d'assurer la conformité des produits délivrés.

Dans la présente demande, on défini les termes de performance de machine par la capacité de la machine à produire des produits conformes à des critères de qualité, sécurité... prédéterminés, et ceci à une cadence et/ou en quantité "normale" prédéterminée.

Ces résultats avantageux peuvent être atteints grâce à l'invention notamment grâce à la prise en compte dans le procédé selon l'invention de données observées correspondant à un historique de fonctionnement, et permettent également grâce auxdits premier et deuxième moyen de classification de données, de disposer d'informations hiérarchisées sur le fonctionnement de la machine à surveiller, c'est-à-dire d'une part d'informations relatives à des modes ou phases de fonctionnement, et d'autre part d'informations relatives à des types ou niveaux de performance qui peuvent être considérés comme des sous-classes définies à l'intérieur de chaque mode ou phase de fonctionnement ; ceci présente notamment un intérêt important car certains événements ou niveaux de performance peuvent ou doivent être considérés comme normaux dans certains modes de fonctionnement (par exemple une phase de mise en route de l'appareil) et doivent être interprétés comme anormaux lorsqu'ils apparaissent dans un autre mode de fonctionnement (par exemple une phase de fonctionnement correspondant à un fonctionnement établi).

Bien que ce type de procédé de maintenance puisse être mis en oeuvre avec un seul moyen de réseau de neurones, il est intéressant d'en utiliser au moins deux afin de faciliter la phase d'apprentissage.

Les nombreux avantages procurés par l'invention, seront mieux compris au travers de la description suivante qui se réfère aux dessins annexés, qui illustrent sans aucun caractère limitatif, des modes particuliers de mise en oeuvre de procédé selon l'invention et de dispositif de mise en oeuvre correspondant.

La figure 1 est un schéma synoptique de principe présentant les principaux composants d'un dispositif de maintenance prédictive selon l'invention, et leur mode de fonctionnement.

La figure 2 est un schéma synoptique de principe global illustrant l'ensemble des constituants principaux d'un dispositif de maintenance selon l'invention.

La figure 3 est un schéma simplifié montrant l'utilisation d'un dispositif selon l'invention et ses principaux constituants.

La figure 4 est un schéma représentatif d'une installation simplifiée surveillée par un procédé et un dispositif selon l'invention.

La figure 5 est une vue correspondant à des opérations effectuées dans le procédé selon l'invention concernant l'installation de la figure 4.

Par référence à la figure 2, un dispositif de mise en oeuvre du procédé de maintenance qui peut être en tout ou partie intégré par exemple dans un micro ordinateur 14, comporte des moyens ou modules 1 d'acquisition de signaux délivrés par une pluralité de capteurs 31, 32... 35... qui sont implantés sur une machine (repère 17 de la figure 3) à surveiller.

Le dispositif comporte des moyens de prétraitement des données numériques délivrées par ledit module d'acquisition 1 à partir desdits signaux délivrés par lesdits capteurs, lesquels moyens de prétraitement comportent des moyens 2 de calcul de paramètres tels que moyenne temporelle, spectre, écart type, capabilité, ... qui délivrent des vecteur de paramètres, à partir desquels sont construits des vecteurs caractéristiques grâce à un module combinatoire 5 ; lesdits vecteurs caractéristiques sont présentés à un dispositif 6 d'analyse

comportant au moins un moyen de réseau de neurones, par exemple et de préférence deux réseaux de neurones 71 et 72, qui délivrent sur leur neurones de sorties des données représentatives des modes de fonctionnement et niveaux de performance de la machine, lesquelles informations relatives aux modes et niveaux de performance peuvent notamment être affichées sur des moyens de visualisation 10, par exemple sous forme de graphe 12 ou histogramme, ou bien sous forme de synoptique 13.

Le dispositif comporte en outre au moins une mémoire 4 qui peut être organisée sous forme d'au moins une base de données et dans laquelle sont enregistrées lesdites données de mesure délivrées par ledit module d'acquisition 1, lesdits vecteurs de paramètre issus dudit module de prétraitement 2 et lesdits vecteurs caractéristiques délivrés par ledit module combinatoire 5.

Le dispositif comporte également une interface 9 avec un utilisateur 11 permettant d'introduire des données et/ou informations dans le dispositif et permettant de créer une base de données d'apprentissage 8 et permettant ainsi au fur et à mesure de l'apparition ou de la détection de nouveau comportement de la machine à surveiller, d'effectuer l'apprentissage desdits moyens d'analyse, particulièrement desdits réseaux de neurones par la modification de leurs poids synaptiques.

Par référence à la figure 1 on a représenté un mode préférentiel de réalisation desdits moyens d'analyse 6 qui comportent un premier réseau de neurones 71 auquel sont successivement présentés des vecteurs caractéristiques C comportant une première partie 24 de composantes $c_1 \ldots c_n$ qui sont élaborées par lesdits moyens 5 combinatoires à partir desdits vecteurs de paramètre ou tableau de mesure prétraitées 22 et 22' qui sont élaborés à partir desdites données de mesure 21 et 21' délivrées respectivement par des capteurs situés ou correspondant à des sous-ensembles fonctionnels 17_1 et 17_2 d'une machine 17.

Ledit vecteur caractéristique C comporte en outre une deuxième partie 24' de composantes $26_{(p-i)} \ldots 26_p$ qui correspondent respectivement aux données de sortie 26 déterminées par ledit réseau de neurones 71 lors de précédents cycles ou opérations d'analyse de rang ou d'ordre respectifs (p-i)...p ; lesdites données de sorties 26

correspondent aux informations de mode de fonctionnement desdites parties fonctionnelles de ladite machine ; ladite donnée de sortie repérée $26_{(p+1)}$ sur la figure 1, est la donnée de sortie déterminée lors du cycle d'analyse de rang (p+1) par ledit réseau 7_1 de neurones, c'est-à-dire la donnée de sortie "courante" ou la dernière en date.

Ladite donnée "courante" $26_{(p+1)}$ de sortie dudit premier réseau de neurones qui est sélectionnée et/ou mémorisée par un module de sélection 23, et qui correspond au dernier mode de fonctionnement détecté, ainsi que ladite partie 24 dudit vecteur caractéristique C, sont également appliquées à l'entrée d'un deuxième réseau de neurones 7_2, afin de déterminer lors dudit cycle (p + 1), une données 25 (p + 1) en sortie relative à un niveau de performance ou à un type de fonctionnement constituant une catégorie particulière de fonctionnement faisant partie d'un ensemble de catégories de fonctionnement incluses dans ledit mode correspondant auxdites données 26 délivrées par ledit premier réseau de neurones.

Par référence à la figure 3, est illustrée une machine 17 comportant au moins deux sous ensembles fonctionnels 17_1 et 17_2, et par exemple destinée à traiter un produit devant passer d'un état P_1 à l'entrée de ladite machine 17, à un état P_2 à la sortie de ladite machine ; ladite machine est pilotée par un système 16 de contrôle commande et comporte des capteurs 3_1 et 3_2 et au moins un actionneur 15.

Ledit système de maintenance prédictive qui peut être intégré dans un ordinateur 14 comporte comme indiqué précédemment un premier ensemble repéré 1 + 2 + 5 comportant lesdits moyens d'acquisition de mesure, de prétraitement et de combinaison, qui est activé à des intervalles de temps réguliers t_1 et qui délivre des données enregistrées dans une mémoire 4 organisée par exemple en base de données comportant une première partie 44 dans laquelle sont enregistrées des données relatives aux mesures brutes et aux signaux issus desdits capteurs, une deuxième partie 4_3 correspondant audit vecteurs ou tableaux de paramètres (c'est-à-dire desdites mesures prétraitées), une troisième partie 4_2 comportant lesdits vecteurs caractéristiques construits à partir desdits vecteurs de paramètres, et une quatrième partie 4_1 comportant les informations ou données relatives aux modes de fonctionnement et aux niveaux de performance

détectés par lesdits moyens d'analyse 6 qui reçoivent lesdites données desdits systèmes de mesure et de prétraitement.

Lesdits moyens d'analyse 6 sont activés à des intervalles de temps réguliers t_2 et permettent la construction d'une base de données d'apprentissage et de tests 8 ; des modules d'interface 9 et 19 permettent un dialogue avec l'opérateur et/ou l'expert et permettent l'introduction de données permettant l'apprentissage desdits réseaux de neurones dudit système d'analyse ; un module d'analyse statistique 18 est avantageusement également prévu qui permet de délivrer des informations relatives à un historique de fonctionnement de ladite machine.

Par référence aux figures 4 et 5, est illustré un exemple d'utilisation du procédé et du dispositif de maintenance selon l'invention, qui peuvent être appliqués par exemple à un dispositif de traitement de surface de produits repérés P1 à la figure 4, qui peuvent être plongés dans un bain grâce à des moyens de manipulation 32 dudit produit lui permettant d'être plongé ou extrait du bain selon les flèches 33.

Ledit bain est constitué d'une composition utilisée pour le traitement de surface qui est contenue dans une cuve 31 dotée d'un capteur 31 du niveau 34 du produit utilisé pour le traitement de surface, dont la température est mesurée par un capteur 32.

Le produit présent dans ladite cuve 31 peut être extrait par une canalisation 351 et dirigé vers un réchauffeur 36 (par exemple électrique, relié à une source d'alimentation non représentée).

Un capteur 33 peut mesurer le courant d'alimentation ou la puissance consommée par ledit réchauffeur 36.

Le produit ou fluide ayant traversé ledit réchauffeur 36 est véhiculé vers un circulateur ou une pompe 37 par l'intermédiaire d'une canalisation 352 puis refoulé dans une canalisation 353 pour revenir à ladite cuve 31.

Une vanne de vidange 40 de ladite cuve 31, est également prévue ainsi qu'une vanne 39 permettant un appoint en fluide ou liquide utilisé pour ce traitement de surface et circulant dans le circuit hydraulique décrit précédemment.

L'ensemble desdits capteurs ainsi que l'état desdites vannes 39 et 40, et la position desdits moyens 32 de déplacement dudit produit P1,

sont contrôlés et/ou commandés par un dispositif 1 de régulation qui est incorporé à ce dispositif de production.

Selon l'invention lesdits signaux mesurés peuvent être, dans cet exemple d'utilisation : un signal correspondant au niveau du produit dans ladite cuve 31, deux signaux correspondant à l'état d'ouverture ou de fermeture desdites vannes 39 et 40 respectivement, un signal représentatif de l'état de marche de ladite pompe 37, un signal correspondant à la température de ladite cuve et un signal correspondant à la consommation électrique dudit réchauffeur, et enfin un signal correspondant à la présence dudit produit P1 dans ledit bain de traitement de surfaces.

Selon l'invention, tous lesdits signaux issus desdits capteurs de mesures sont échantillonnés et numérisés à intervalles réguliers puis enregistrés de manière à constituer un vecteur de mesure pour chaque signal qui contient les valeurs successives prises par ce signal ; une partie au moins desdits signaux est prétraitée, par exemple de la façon suivante : pour le signal de la température du produit dans le bain (et le vecteur de mesure correspondant), quatre données ou composantes figurant dans le vecteur de paramètre correspondant peuvent être : un histogramme en 5 classes centré autour de la température moyenne, une valeur correspondant à l'écart ou l'erreur entre la température observée et une consigne, un écart type des températures observées sur une période prédéterminée, la capabilité de la machine ; ledit paramètre de capabilité ou de performance peut être calculé de la façon suivante : on calcule les deux valeurs suivantes :

- (limite supérieure spécifiée ou demandée - moyenne des valeurs prises par le signal) : (3 x écart type des valeurs prises par le signal)

- (moyenne des valeurs prises par le signal - limite inférieure spécifiée ou demandée) : (3 x écart type des valeurs prises par le signal).

On retient comme valeur (ou indice) de capabilité, la plus faible des deux valeurs définies ci-dessus.

Pour ce qui concerne les signaux délivrés par ledit capteur de niveau, les prétraitements effectués peuvent par exemple être les suivants : histogramme en cinq classes, erreur moyenne, écart type, capabilité.

A partir des signaux délivrés par le capteur de position desdits moyens 32 de manipulation dudit produit P1, on peut déterminer un temps d'immersion et des paramètres suivants : temps moyen d'immersion, écart type, capabilité.

Grâce au procédé et au dispositif selon l'invention, l'utilisateur et/ou l'expert peut introduire dans une mémoire du dispositif des données relatives au mode et niveau de performance observés ; à titre d'exemple on a représenté à la figure 5 un espace plan dans lequel sont situés ou projetés des vecteurs caractéristiques du fonctionnement observé de ladite machine, dans un mode de représentation bidimentionnel où l'axe des abscisses représente la température de la cuve et l'axe des ordonnées l'énergie ou la puissance consommée par le réchauffeur (par référence au dispositif représenté à la figure 4), on voit que l'utilisateur ou l'expert peut définir un certain nombre de domaines dans le plan (température, énergie) correspondant à différents modes de fonctionnement et à différents niveaux de performance à l'intérieur de chacun de ces modes de fonctionnement.

Comme illustré à la figure 5 un premier domaine limité par une courbe D_6 correspond à une plage "interdite", dans laquelle aucun vecteur caractéristique ne devrait être situé sauf en cas de disfonctionnement de la machine à surveiller.

Deux domaines limités par des courbes fermées D_1 et D_2 définissent un mode général de fonctionnement du dispositif correspondant à une phase de montée en température ; durant cette phase ou mode, un niveau de performance "bon" correspond à la zone limitée par la courbe D_2 et un fonctionnement jugé "moins bon" mais "correct" correspond au domaine limité par la courbe D_1.

De la même façon sur le graphe de la figure 5 sont représentées trois courbes D_3, D_4 et D_5 correspondant à un deuxième mode de fonctionnement du dispositif de la figure 4 ; c'est-à-dire à un mode de fonctionnement stabilisé, au voisinage d'une température de consigne T_C.

Dans ce mode de fonctionnement stabilisé sont définis trois niveaux de performance correspondant respectivement aux domaines limités par ladite courbe D_5 c'est-à-dire un niveau de performance optimal tel que celui correspondant à un vecteur caractéristique C_1,

un deuxième domaine limité par ladite courbe D_4 correspondant à un niveau de performance correct ou bon, et un troisième niveau de performance (inférieure) correspondant au domaine limité par ladite courbe D_3, comme par exemple dans le cas du vecteur caractéristique C_2.

On voit sur cette figure que ledit vecteur C_3 peut être caractéristique soit d'un niveau de performance bon lors d'une phase de montée en température, ou bien être caractéristique d'un niveau de performance à la limite de l'acceptable lors d'un fonctionnement établi ; grâce au module statistique permettant de tenir compte des modes de fonctionnement et niveau de performance précédemment observés sur ladite machine ou ledit dispositif, ledit procédé et dispositif de maintenance selon l'invention permettra de discriminer ces deux situations et s'il le faut déclencher un dispositif d'avertissement de l'utilisateur.

REVENDICATIONS

1. Procédé de maintenance d'au moins une machine (17) équipée de capteurs (3) caractérisé en ce qu'il comporte les opérations suivantes :

- a) On mesure, de préférence de manière continue, et/ou on numérise, de préférence à des intervalles de temps (t_1) réguliers correspondant à une fréquence de mesure des signaux délivrés par l'ensemble desdits capteurs de manière à constituer des vecteurs ou tableaux de mesures brutes (21) que l'on enregistre dans au moins une mémoire (4),

- b) On calcule, de préférence à des intervalles de temps réguliers correspondant à une fréquence de calcul par exemple inférieure ou égale à ladite fréquence de mesure, de préférence pour chaque partie(17_1, 17_2) ou sous ensemble fonctionnel de ladite machine, des vecteurs caractéristiques (C) en fonction desdits vecteurs de mesure,

- c) On présente successivement, de préférence à des intervalles de temps (t_2) réguliers correspondant à une fréquence d'analyse, des vecteurs choisis parmi lesdits vecteurs caractéristiques, à des moyens (6) d'analyse comportant au moins un premier moyen de classification tel qu'un réseau de neurones (7_1), de manière à déterminer au moins un mode (26) de fonctionnement d'au moins une partie de ladite machine, lequel mode de fonctionnement est choisi parmi des modes de fonctionnement prédéterminés, et on présente simultanément audit premier moyen de classification des informations relatives à au moins un mode de fonctionnement préalablement détecté ou observé,

- d) On présente une partie au moins dudit vecteur caractéristique à un deuxième moyen de classification tel qu'un deuxième réseau de neurones (7_2), et de préférence on présente audit deuxième moyen de classification au moins une information relative audit mode de fonctionnement (26) déterminé par ledit premier moyen de classification, de manière à déterminer un niveau ou type (25) de performance de ladite partie de ladite machine, qui est choisi parmi des niveaux de performance prédéterminés,

- e) En cas d'échec de l'une desdites opérations de

classification ci-dessus, on enregistre ledit vecteur caractéristique pour une classification ultérieure et on averti un opérateur.

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'on présente audit premier moyen de classification au moins une information d'identité et au moins une information de durée d'au moins un mode de fonctionnement précédemment observé, et en ce qu'on présente audit deuxième moyen de classification au moins une information d'identité dudit mode actuel de fonctionnement déterminé par ledit premier moyen de classification.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2 caractérisé en ce que consécutivement à ladite opération a) de mesure et préalablement à ladite opération b) de calcul de vecteur caractéristique, on calcule des vecteurs de paramètres ou vecteurs de données de mesures pré-traitées, de préférence on calcule un vecteur de paramètre pour chacun desdits vecteurs de mesure, chaque composante dudit vecteur de paramètre ayant une valeur correspondant à un pré-traitement effectué sur une série temporelle de valeurs prises par le signal correspondant, c'est-à-dire effectué sur une suite de composantes dudit vecteur de mesure, et en ce que dans ladite opération b) de calcul de vecteurs caractéristiques, on construit pour chacune desdites parties ou sous ensembles fonctionnels de machine, lesdits vecteurs caractéristiques par une sélection de certaines composantes desdits vecteurs de paramètre.

4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce qu'au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou desdits vecteurs caractéristiques correspond à une moyenne temporelle d'une partie au moins des composantes desdits vecteurs de mesure.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 4 caractérisé en ce qu'au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou des vecteurs caractéristiques correspond à une valeur maximale prise par les composantes desdits vecteurs de mesure.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5 caractérisé en ce qu'au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou desdits vecteurs caractéristiques correspond à un écart type calculé pour une série temporelle de valeurs prises par les composantes desdits vecteurs de mesures.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6

caractérisé en ce qu'au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou desdits vecteurs caractéristiques correspond à un indice de capabilité ou de performance d'une partie au moins de ladite machine, lequel indice de capabilité est estimé sur la base d'une succession ou série temporelle de valeurs prises par les composantes desdits vecteurs de mesure.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 7 caractérisé en ce qu'au moins une composante desdits vecteurs de paramètre et/ou desdits vecteurs caractéristiques correspond à un spectre des valeurs successives prises par les composantes desdits vecteurs de mesure.

9. Dispositif de maintenance convenablement programmé pour mettre en oeuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 qui comporte au moins un module (1) d'acquisition de données de mesure, au moins un module (2) de pré-traitement desdites données de mesure, au moins une mémoire (4), au moins un module (5) de sélection et/ou de combinaison de paramètre permettant d'établir des vecteurs caractéristiques, au moins un module (6) d'analyse desdits vecteurs caractéristiques comportant au moins un réseau (7) de neurones, au moins un moyen (10) de visualisation de mode et niveau de performance détectés ou reconnus à partir desdits vecteurs caractéristiques par lesdits moyens d'analyse (6).

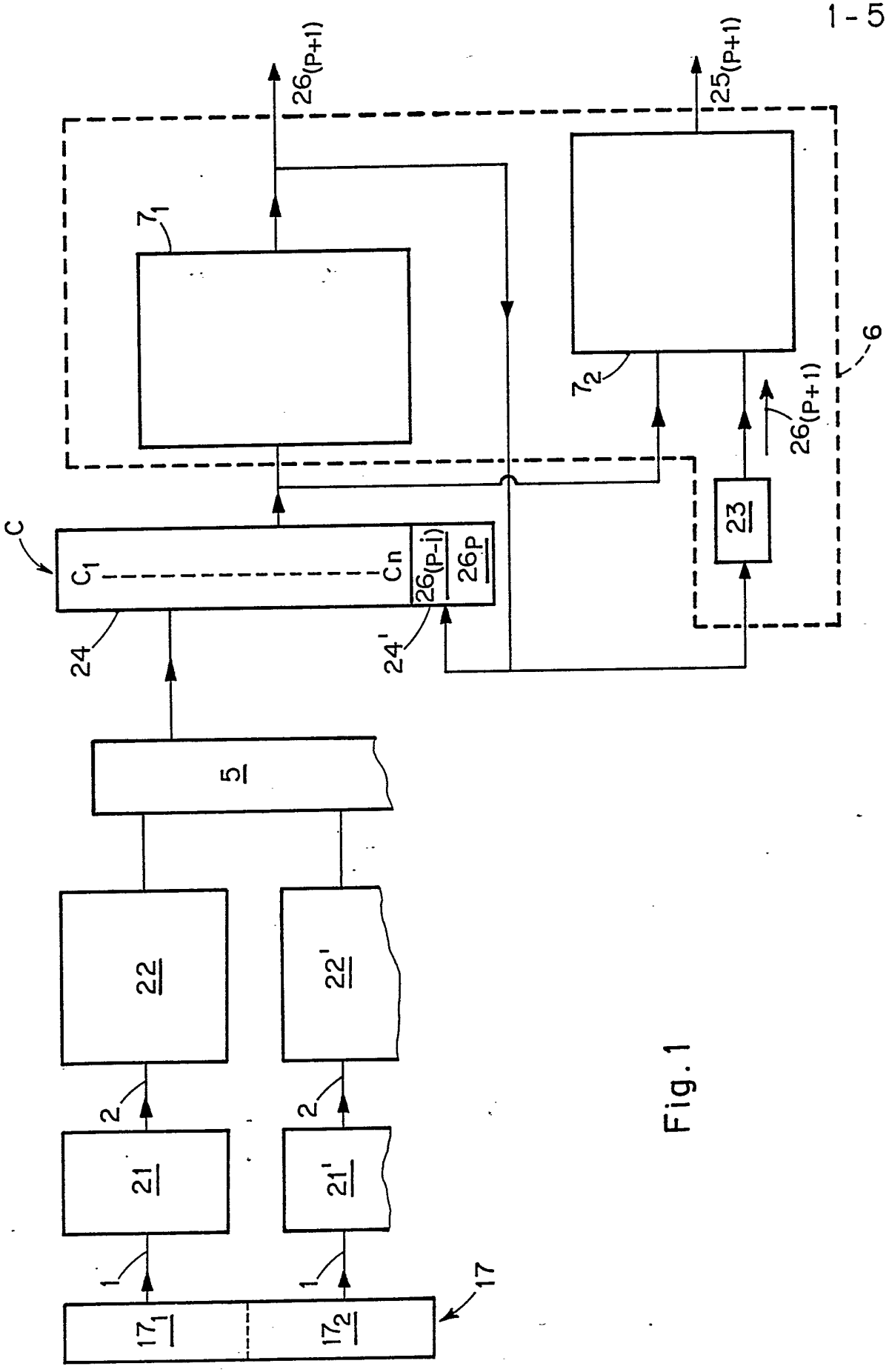

26(P+1)
25(P+1)
7₁
7₂
6
26(P+1)
23
C
C1
Cn
26(P-i)
26P
24
24'
5
22
22'
2
2
21
21'
1
1
17
17₁
17₂

Fig. 1

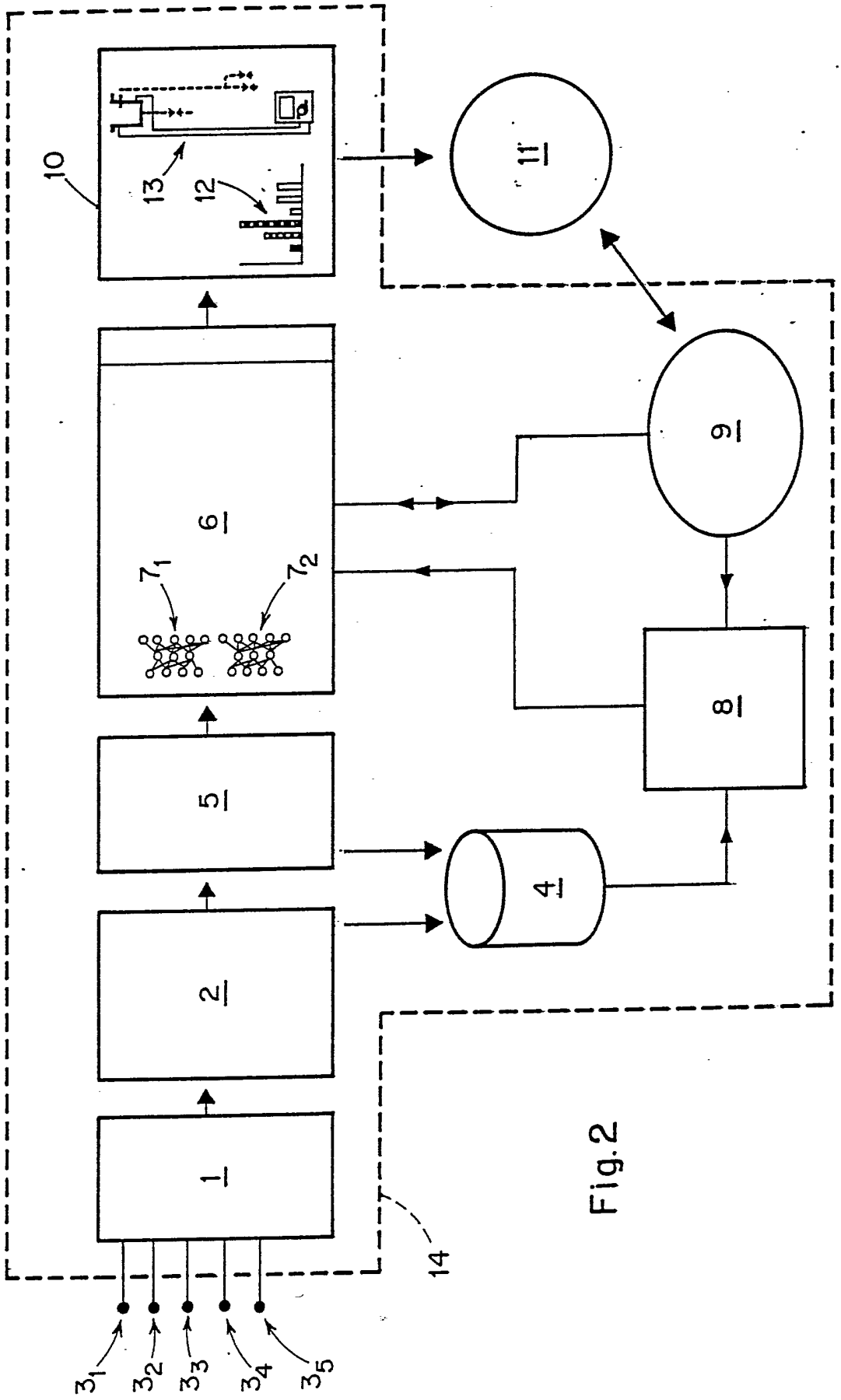


Fig.2

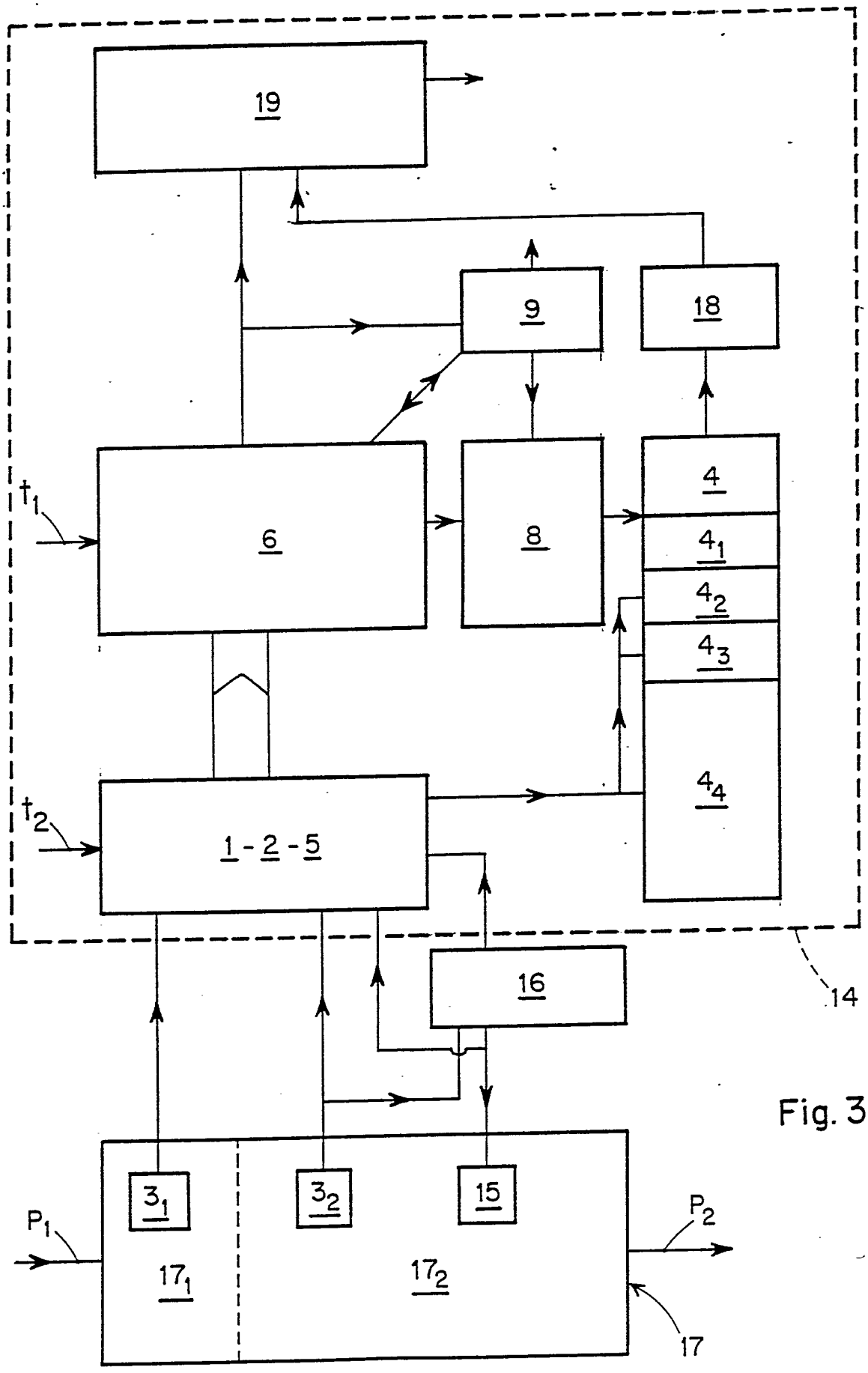


Fig. 3

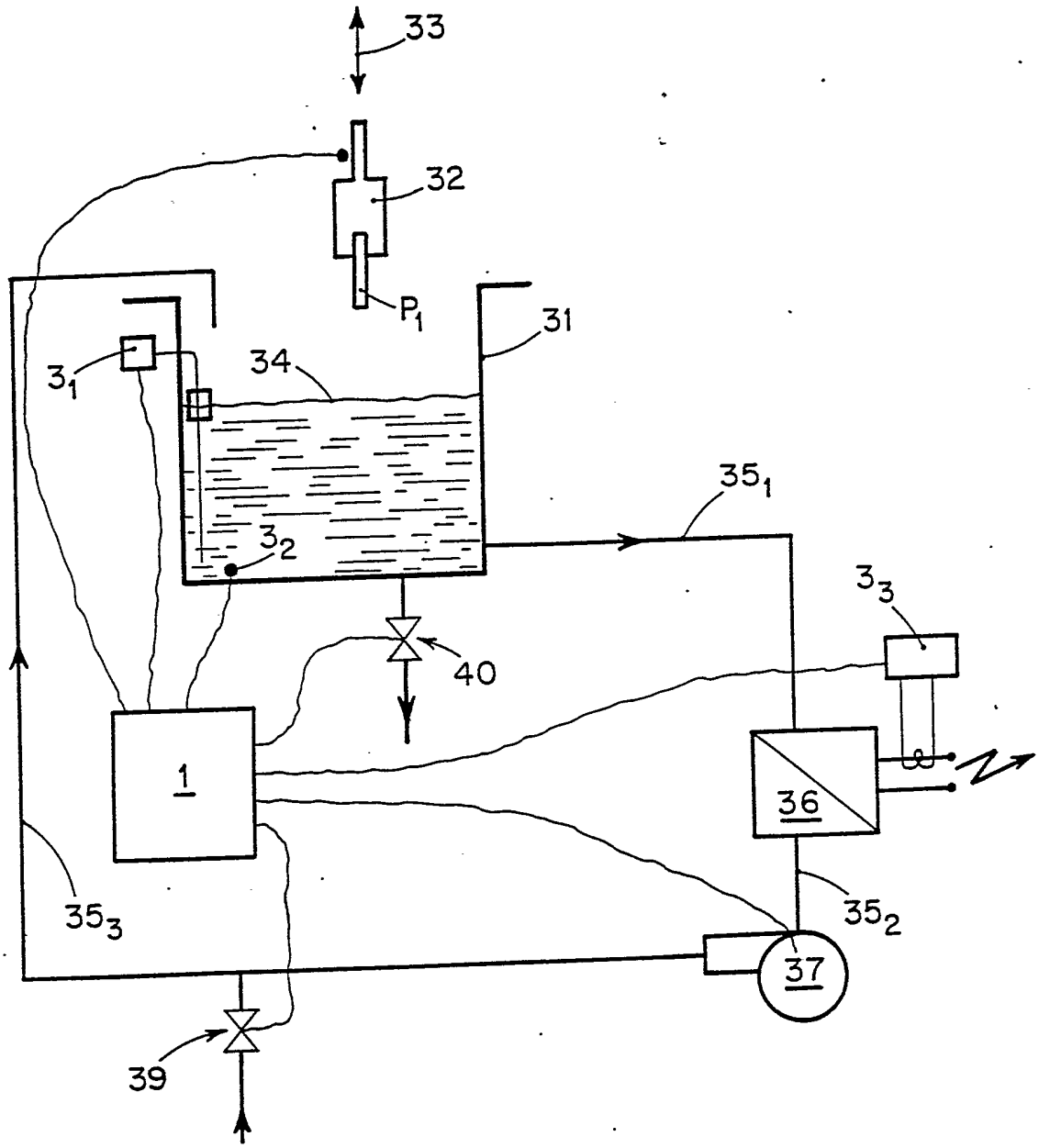


Fig. 4

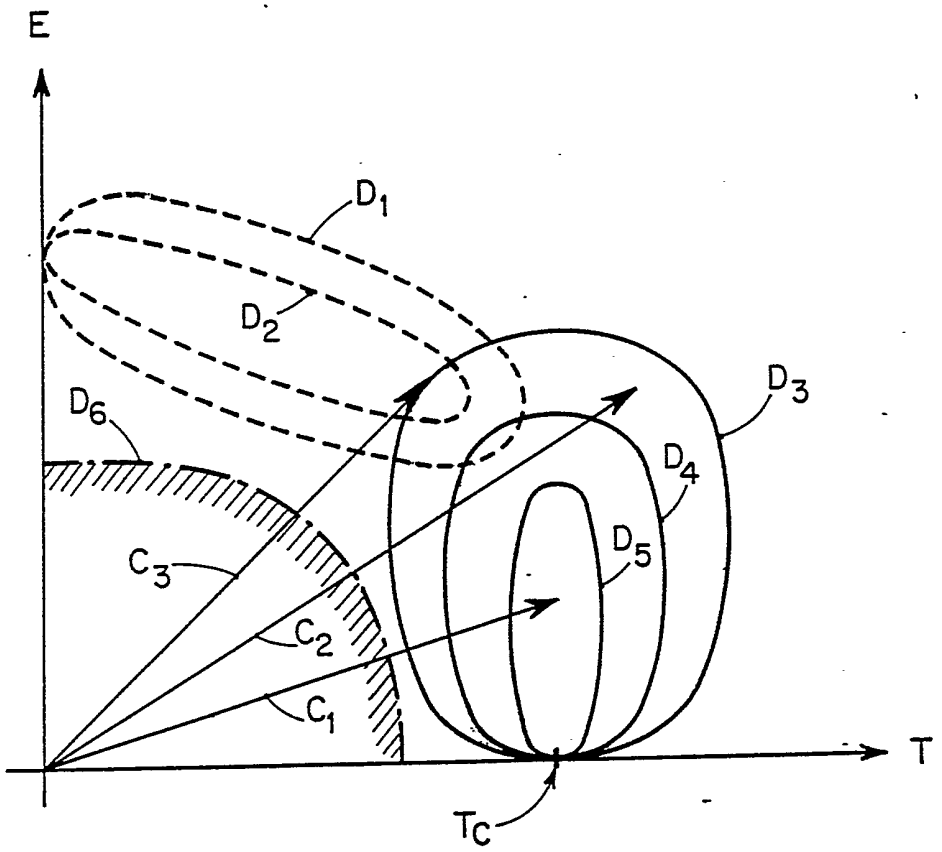


Fig. 5

REPUBLIQUE FRANÇAISE

2698704

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national
FR 9214683
FA 482063

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
A	SELECTION OF PAPERS FROM THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED PRODUCTION ENGINEERING Août 1991, COOKEVILLE, TN, USA pages 231 - 240 O. MASORY 'Monitoring Machining Processes using Multi-Sensor Readings Fused by Artificial Neural Network' * page 232 * * page 235 - page 236 *	1,9
A	EP-A-0 436 312 (WESTINGHOUSE) * page 6, ligne 40 - page 7, ligne 15 * * page 11, ligne 29 - ligne 41 *	1,3-6,8,9
D,A	EP-A-0 398 481 (FORD) * colonne 4, ligne 24 - ligne 45 *	1
A	WO-A-9 005 337 (ALLIED-SIGNAL) * page 8, ligne 13 - page 9, ligne 13 * * page 14, ligne 10 - page 15, ligne 9 *	1,2,7,9
A	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS vol. 21, no. 4, Juillet 1991, NEW YORK US pages 815 - 825 , XP000263604 T. SORSA ET AL. 'Neural Networks in Process Fault Diagnosis' * page 816 *	1

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)

G06F

Date d'achèvement de la recherche
20 JUILLET 1993

Examinateur
POTTIEZ M.G.

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)

1