

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 491 216

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 20813

(54) Dispositif de contrôle acoustique de la prise et du durcissement des ciments.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 N 33/38; E 21 B 33/13; G 01 N 29/00.

(22) Date de dépôt..... 29 septembre 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° 13 du 2-4-1982.

(71) Déposant : Société anonyme dite : SOCIETE NATIONALE ELF AQUITAIN (PRODUCTION),
résidant en France.

(72) Invention de : François Rodot.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire :

La présente invention a pour objet une cellule pour le contrôle par voie acoustique des caractéristiques, notamment de la prise et du durcissement de matériaux passant de l'état liquide ou pâteux à l'état solide, en particulier des 5 ciments, et plus spécialement pour la détermination du temps de pompabilité et de la résistance mécanique de ciments. Elle concerne encore les appareillages pour le contrôle par voie acoustique des caractéristiques desdits matériaux incluant une telle cellule.

10 Lors de la réalisation de sondages, on est amené à effectuer des injections de ciment notamment pour fixer les colonnes de tubage à la paroi du sondage ou encore pour isoler les couches poreuses susceptibles de contenir des hydrocarbures. Dans de tels cas, il est nécessaire, après chaque 15 injection de ciment, d'attendre que le ciment injecté ait fait prise et présente une résistance mécanique suffisante pour poursuivre les opérations.

Afin de travailler dans de bonnes conditions, l'utilisateur s'intéresse tout particulièrement à deux caractéristiques des ciments employés, à savoir le temps de pompabilité, c'est-à-dire le temps pendant lequel la viscosité du ciment gâché est assez faible pour pouvoir être pompé aux fins d'injection dans le sondage, et le temps, dit temps d'attente, après lequel le ciment présente une résistance 25 mécanique suffisante pour permettre une reprise du forage. Ces deux caractéristiques doivent être connues, autant que possible dans les conditions de pression et de température régnant dans la zone du sondage où le ciment doit accomplir sa fonction

On connaît divers appareils pour la détermination 30 du temps de pompabilité de ciments. Un appareil généralement employé pour les mesures en laboratoire est celui normalisé par l'American Petroleum Institute, qui permet de déterminer le temps de pompabilité d'un ciment gâché dans les conditions réelles de pression et de température auxquelles sera soumis 35 le ciment au cours des opérations de pompage pour son injection dans la zone à cimenter. Le principe de cet appareil repose sur la mesure du couple exercé sur une palette fixe par le ciment gâché contenu dans un bol mis en rotation.

Lorsque le couple atteint une certaine valeur, le ciment présente une viscosité considérée comme limite pour le pompage. La norme faisant appel à cet appareil, dénommé consistomètre, définit plus précisément le temps de pompabilité comme le 5 temps au bout duquel la viscosité du ciment gâché atteint 100 unités de consistance. Un tel appareil est volumineux et coûteux, et en outre, il doit être utilisé par du personnel qualifié, et de ce fait il ne peut être utilisé qu'en laboratoire. Un appareil de mesure du temps de pompabilité, utilisable sur les chantiers, fonctionne suivant un principe analogue, mais ses performances sont limitées, car il permet seulement de travailler à la pression atmosphérique et à des températures inférieures à 100°C. Un autre appareil de chantier, dont le principe repose sur la mesure de l'énergie 10 consommée par un moteur entraînant en rotation une palette plongeant dans un bol immobile renfermant le ciment gâché, pour atteindre une viscosité déterminée pour le ciment, peut opérer à des températures pouvant aller jusqu'à 200°C mais sous des pressions ne dépassant pas 35 bars. Aucun de ces deux 15 types d'appareil de chantier ne permet donc de déterminer la valeur du temps de pompabilité dans des conditions de pression et de températures élevées correspondant à celles rencontrées dans les sondages profonds.

La résistance mécanique du ciment, dont les variations en fonction du temps permettent d'accéder au temps d'attente défini précédemment, est obtenue par une procédure normalisée de mesure de la résistance à la compression du ciment (norme ASTM-C 109-75). Cette procédure consiste à déterminer la pression nécessaire pour écraser à la presse hydraulique des cubes du ciment préalablement conservés dans les 20 conditions de pression et de température auxquelles on s'intéresse. Pour obtenir la résistance mécanique correspondant à un moment prédéterminé, cette mesure nécessite d'écraser au moins trois cubes du ciment de 50 millimètres de côté pour 25 fournir une valeur moyenne. L'équipement nécessaire pour appliquer cette procédure, à savoir presse hydraulique, cellule de conservation des échantillons, moules servant à former les cubes échantillons, est important et ladite 30 procédure, employée en laboratoire, ne peut pas être utilisée

sur les chantiers. En outre, même au laboratoire, la procédure précitée présente l'inconvénient de constituer un essai destructif qui nécessite de faire appel à un grand nombre de cubes échantillons pour établir la courbe des variations de 5 la résistance du ciment en fonction du temps.

Des dispositifs de thermométrie, descendus dans le sondage, permettent d'observer la prise du ciment en détectant le dégagement de chaleur provoqué par cette prise, toutefois les mesures obtenues en faisant appel à ces dispositifs ne 10 donnent aucune indication sur la résistance mécanique du ciment.

On connaît également un appareillage pour la détermination par voie acoustique de la prise de matériaux tels que béton ou résines, c'est-à-dire par transmission d'impulsions 15 ultrasoniques à travers le matériau en cours de prise et mesure du temps de passage des impulsions à travers le matériau et de l'amplitude du signal transmis par ledit matériau (conférer brevet russe n° 602852). Toutefois un tel appareillage présente une cellule de mesure qui n'est pas adaptée 20 pour opérer dans les conditions de pression et de température élevées que l'on rencontre dans les sondages profonds.

Dans une demande de brevet français n° 79 25327 de la demanderesse, est décrite une cellule pour le contrôle par voie acoustique des caractéristiques d'un matériau passant de 25 l'état liquide à l'état solide. Cette cellule comporte un corps de cellule délimitant une cavité dite chambre de mesure débouchant sur la surface extérieure du corps de cellule par au moins un passage apte à contenir un bouchon étanche amovible, cette chambre de mesure étant munie de deux transducteurs 30 électroacoustiques ayant des surfaces d'émission et de réception planes parallèles et se faisant face. Le corps de cellule est constitué par un cylindre creux délimitant par une paroi cylindrique une cavité dont la portion médiane constitue la chambre de mesure et dont les portions extrêmes constituent 35 deux passages opposés aptes à contenir chacun un bouchon étanche amovible.

Les deux transducteurs électroacoustiques sont disposés dans deux évidements ménagés dans les parois cylindriques de la chambre de mesure.

On entend par transducteur électroacoustique un dispositif susceptible de transformer un signal électrique en ondes acoustiques ou inversement de transformer une onde acoustique en signal électrique.

5 Avec une telle cellule, il est possible de mesurer les caractéristiques de vitesse et d'atténuation des ondes sonores dans un matériau en cours de solidification aux pressions et températures observées dans les forages aux profondeurs d'opération. Toutefois, les dispositions proposées 10 rendent la mise en place de l'échantillon de matériau liquide et son retrait après solidification également difficiles et de ce fait le rendement opératoire de l'appareil est resté faible. Les difficultés observées résidaient dans le contact direct des transducteurs avec le matériau à essayer et dans 15 le nombre important d'étanchéité à contrôler.

Le nouveau dispositif permet de pallier ces difficultés en réduisant le nombre de bouchons amovibles de 4 à 2, ce qui divise par deux le nombre d'étanchéités à contrôler, et en localisant l'échantillon de matériau à essayer dans un 20 réceptacle de telle façon que les transducteurs et les circuits hydrauliques soient à l'écart de toute pollution par le matériau objet de l'essai.

Une cellule selon l'invention comporte un corps de cellule (2) constitué par un cylindre creux délimitant par 25 une paroi cylindrique, une cavité dont la portion médiane constitue une chambre de mesure (3), munie de deux transducteurs électroacoustiques (27) et (33) dont les surfaces d'émission et/ou de réception sont planes, parallèles et se faisant face, et dont les portions extrêmes (4) et (5) constituent deux 30 passages opposés, débouchant sur la surface extérieure et aptes à contenir chacun un bouchon (6) et (7) étanche amovible, la chambre de mesure (3) étant reliée par au moins un percement (38) au travers de la paroi de la cellule à un moyen d'injection d'un fluide hydraulique et à des moyens de contrôle de la 35 pression de ce fluide. Elle est caractérisée en ce que chaque transducteur électroacoustique (27) et (33) est disposé dans un évidement ménagé (26) et (32) sur la paroi interne de chacun des deux bouchons (6) et (7).

Dans une telle cellule, la chambre de mesure (3) contient un réceptacle cylindrique (42) pourvu d'un couvercle amovible (45) pour la mise en place du matériau à essayer et d'un percement (47) en un point haut pour égalisation des pressions entre l'intérieur et l'extérieur du réceptacle (42).

La cellule suivant l'invention peut comporter également des moyens permettant de l'amener à la température désirée et de réguler ladite température, lesdits moyens étant par exemple du type colliers chauffants ou crayons chauffants asservis par thermocouple.

Les transducteurs formant partie de la cellule, qui peuvent être en particulier des transducteurs piézoélectriques, sont de préférence associés à des moyens assurant leur maintien en équipression dans les évidements du corps de cellule.

L'invention concerne également les appareillages incluant une cellule du type défini précédemment, qui sont employés pour déterminer par voie acoustique les caractéristiques des matériaux passant d'un état liquide ou pâteux à un état solide, en particulier ciments.

De tels appareillages, dans leur version la plus générale, incluent, outre la cellule, un système générateur d'impulsions électriques, dont la sortie est connectée à l'entrée du transducteur électroacoustique (27) de la cellule jouant le rôle d'émetteur, et des moyens pour enregistrer et/ou visualiser le signal électrique de sortie du transducteur électroacoustique (33) jouant le rôle de récepteur, et éventuellement le signal électrique alimentant le transducteur émetteur, ou pour traiter lesdits signaux et enregistrer et/ou visualiser une grandeur représentative de leur décalage temporel et/ou du rapport de leurs amplitudes.

Un type d'appareillage, suivant l'invention, équipé pour mesurer le temps de passage, ou temps de transit, des ondes acoustiques à travers le matériau faisant prise et durcissant, temps à partir duquel on peut déterminer par exemple le temps de pompage et la résistance mécanique des matériaux du type des ciments comme il sera exposé en détail plus loin, comporte, en plus de la cellule, un générateur d'impulsions électriques, alimentant le transducteur émetteur de la cellule, constitué par un générateur de signaux électriques

de commande (50) dont la sortie est connectée, à travers un interrupteur (48) actionné par un déclencheur (49), à l'entrée du transducteur (27), un système de comptage de temps (51), par exemple une horloge à quartz ou tout autre système équivalents, recevant par une première entrée le signal issu de l'interrupteur (48) et par une deuxième entrée le signal de sortie du transducteur récepteur (33) de la cellule, ledit système étant déclenché à l'instant de début d'arrivée de l'impulsion électrique au transducteur émetteur (27) et étant arrêté dès que le signal de sortie du transducteur récepteur (33) atteint un niveau fixé, et des moyens pour enregistrer et/ou visualiser le signal de sortie du système de comptage de temps, ledit signal étant représentatif du temps de passage des ondes acoustiques à travers le matériau.

15 Un autre type d'appareillage, suivant l'invention, équipé pour mesurer l'atténuation de l'amplitude des ondes acoustiques traversant le matériau, à partir de laquelle on peut déterminer par exemple le temps de pompabilité lorsque le matériau est un ciment, comporte, outre la cellule, un 20 générateur électrique de bruit (55) à fréquence aléatoire et à amplitude sensiblement constante connecté à l'entrée du transducteur émetteur (27) de la cellule, et un enregistreur (56) et/ou un dispositif de visualisation recevant le signal de sortie du transducteur récepteur (33) de la cellule.

25 On peut encore prévoir des moyens permettant l'agitation du matériau liquide ou pâteux faisant prise contenu dans la chambre de mesure de la cellule, lesdits moyens étant extérieurs à la chambre de mesure et pouvant être incorporés à la cellule, par exemple éléments vibreurs, ou être extérieurs à la 30 dite cellule, par exemple support animé d'un mouvement de va-et-vient sur lequel est fixé la cellule pour imprimer ledit mouvement à l'ensemble de la cellule.

Dans le cas d'un contrôle de la prise d'un ciment devant être pompé dans un sondage, l'agitation du ciment gâché, 35 contenu dans la chambre de mesure de la cellule, est effectuée pendant une durée correspondant à la durée de l'opération de pompage pour se placer dans des conditions d'essai représentatives.

On donne ci-après, à titre non limitatif, la descrip-

- tion d'un mode de réalisation d'une cellule suivant l'invention, et de deux schémas d'appareillage incluant cette cellule et utilisables pour le contrôle par voie acoustique de la prise et du durcissement de matériaux passant d'un état liquide ou 5 pâteux à l'état solide, notamment de ciments, cette description étant illustrée par le dessin annexé sur lequel :
- Figure 1 : Schéma d'une cellule dans laquelle les transducteurs sont disposés dans les deux bouchons d'extrémité de la chambre de mesure.
 - 10 - Figure 2 : Schéma d'un appareillage pour mesurer le temps de transit.
 - Figure 3 : Schéma d'un appareillage pour mesurer l'atténuation d'amplitude.
 - Figure 4 : Enregistrement des signaux d'entrée et de sortie 15 pour différents stades de la prise du ciment.
 - Figure 5 : Comparaison entre deux enregistrements obtenus avec l'appareillage selon la figure 1 et les enregistrements d'un consistomètre normalisé API.
 - Figure 6 : Amplitude du signal de sortie en fonction du 20 temps pour un ciment en cours de prise et ensuite du durcissement.

En se référant à la figure 1, la cellule (1) comporte un corps de cellule (2) de forme cylindrique dans lequel est ménagée une cavité cylindrique dont la portion médiane (3) 25 constitue la chambre de mesure et dont les portions extrêmes (4) et (5) coaxiales de la portion (3) constituent deux passages opposés, chacun muni d'un filetage et apte à recevoir un bouchon (6) et (7), chacun comportant un pas de vis approprié.

Dans le passage (4) est installé un bouchon (6) com- 30 portant un corps cylindrique ou piston (8) mobile en trans- lation dans la cavité cylindrique (3) et prolongé par une tige cylindrique coaxiale (9) coulissant dans un passage cylindrique coaxial (10) au travers d'un écrou à filetage extérieur (11). Cet écrou (11) est prolongé par un chapeau annulaire (12) sur 35 lequel sont fixés des leviers de serrage.

L'étanchéité de l'obturation par le bouchon (6) est obtenue à la fois par un joint (13) toroïdal placé dans une gorge circulaire (14) pratiquée dans le contour externe du corps cylindrique (8) et par un joint annulaire en teflon (15)

disposé dans un espace annulaire délimité entre le corps cylindrique (8), l'écrou (11) et la paroi cylindrique de la cavité (3). Le joint (15) est séparé de l'écrou (11) par une bague d'appui (16).

- 5 Dans le passage (5) est installé un bouchon (7) identique au bouchon (6) et comportant un corps cylindrique ou piston (17) mobile en translation dans la cavité cylindrique (3) et prolongé par une tige cylindrique coaxiale (18) coulissant dans un passage cylindrique coaxial (19) au travers 10 d'un écrou à filetage extérieur (20). Cet écrou (20) est prolongé par un chapeau annulaire (21) sur lequel sont fixés des leviers de serrage.

- 15 L'étanchéité de l'obturation par le bouchon (7) est obtenue à la fois par un joint (22) toroïdal placé dans une gorge circulaire (23) pratiquée dans le contour externe du corps cylindrique (17) et par un joint annulaire en teflon (24) disposé dans un espace annulaire délimité entre le corps cylindrique (17), l'écrou (20) et la paroi cylindrique de la cavité (3). Le joint (24) est séparé de l'écrou (20) par une 20 bague d'appui (25).

- 25 Dans le corps cylindrique ou piston (8), élément du bouchon (6), est ménagé un évidement cylindrique (26) coaxial dans lequel est logé un ensemble transducteur électroacoustique (27), par exemple un transducteur piézoélectrique, disposé sur un support de maintien en équipression, tel que le transducteur (27) est maintenu immergé dans un fluide transmettant la pression. Cet ensemble transducteur électroacoustique (27) est relié à un moyen d'alimentation électrique non figuré par des câbles d'alimentation (28) et (29). Ces câbles (28) et (29) 30 isolés, passent au travers de la tige cylindrique coaxiale (9) par deux percements (30) et (31), chacun étant muni de moyens d'étanchéité non figurés.

- 35 De même, dans le corps cylindrique ou piston (17), élément du bouchon (7), est ménagé un évidement (32) coaxial, dans lequel est logé un ensemble transducteur électroacoustique (33), par exemple un transducteur piézoélectrique, disposé sur un support de maintien en équipression tel que le transducteur (33) est maintenu immergé dans un fluide

transmettant la pression. Cet ensemble transducteur électro-acoustique (33) est relié à un moyen d'alimentation électrique non figuré par des câbles (34) et (35). Ces câbles (34) et (35), isolés, passent au travers de la tige cylindrique coaxiale 5 (18) par deux percements (36) et (37), chacun étant muni de moyens d'étanchéité non figuré.

L'un des transducteurs, par exemple (27), est mis en rapport avec l'alimentation au travers des moyens d'émission, et l'autre transducteur (33) est mis en rapport avec l'alimentation au travers des moyens de réception et de comptage. 10

Dans la zone médiane de la cavité cylindrique (3), la paroi du corps de cellule (2) est percée par un canal (38) de faible section se prolongeant vers l'extérieur par un embout (39) haute pression pour être connecté avec une conduite 15 d'alimentation en fluide hydraulique de pressurisation, non figurée.

La paroi du corps de cellule (2) est également percée par un canal (40) de faible section se prolongeant vers l'extérieur par une entrée (41) haute pression pour être 20 connectée avec une purge de dépressurisation non figurée.

A l'intérieur de la cavité cylindrique (3) délimitée par les faces internes des bouchons (6) et (7), dite chambre de mesure, est logée un réceptacle cylindrique (42) limitée par deux fonds (43) et (44) d'épaisseurs constantes avec 25 surfaces planes et parallèles, ce réceptacle étant muni d'un couvercle amovible (45) permettant le remplissage de laitier de ciment jusqu'à un certain niveau (46), le couvercle comportant un percement (47) pour l'égalisation de la pression par le moyen du fluide hydraulique entre l'intérieur et l'extérieur 30 du réceptacle (42).

Sur le schéma d'appareillage représenté sur la figure 2, le repère (1) désigne la cellule décrite en référence à la figure 1. Le conducteur d'alimentation du transducteur électroacoustique, par exemple transducteur piézoélectrique, 35 de ladite cellule jouant le rôle d'émetteur, par exemple le conducteur (28-29) du transducteur (27) est connecté, à travers un interrupteur (48) actionné par un déclencheur (49), à la sortie du générateur (50) de signaux électriques de commande.

L'ensemble générateur (50), interrupteur (48) et déclencheur (49) constituent par exemple un générateur de signaux électriques en forme d'impulsions rectangulaires. Un système de comptage de temps (51), en particulier une horloge à quartz, 5 reçoit par une première entrée le signal électrique issu de l'interrupteur (48) et par une deuxième entrée le signal de sortie délivré par le conducteur du transducteur électro-acoustique (33), par exemple transducteur piézoélectrique, de la cellule (1) jouant le rôle de récepteur. Ledit système de 10 comptage de temps est déclenché par le début d'émission du signal électrique impulsional en forme d'onde rectangulaire par exemple et il s'arrête dès que le signal de sortie du transducteur (33) arrivant par le conducteur (34-35) atteint un niveau fixé. Le système de comptage de temps délivre un 15 signal représentatif du temps de passage des ondes acoustiques à travers le matériau contenu dans la chambre de mesure de la cellule (1). Ledit signal est envoyé à un enregistreur (52) sur lequel s'inscrit la courbe des variations du temps de passage, ou temps de transit, en fonction du temps. Un système, 20 désigné schématiquement par le repère (53), du type comportant un ou plusieurs colliers chauffants, chauffés électriquement, entourant le corps de cellule (1) et asservis par un thermocouple disposé dans le corps de ladite cellule, permet de chauffer la cellule à la température appropriée et d'assurer 25 une régulation de ladite température. Dans le cas de contrôles effectués sur des ciments destinés à être injectés dans un sondage, on peut en particulier réaliser une montée progressive en température pour reproduire les conditions rencontrées par le ciment au cours de son injection. Lorsque l'on désire 30 opérer dans des conditions contrôlées de température, la cellule (1) est placée dans une enceinte calorifugée. Un système pneumatique (54), du type hydropompe, d'amplification et de régulation de pression est relié à l'embout haute pression (39) de la cellule (1) pour injecter un fluide hydraulique 35 sous pression dans la chambre (3) de la cellule (1) de manière à amener au moyen du percement (47) à travers le couvercle (45) la pression exercée par le fluide logé dans le réceptacle (42) à la valeur appropriée et à réguler ladite pression. Dans le

cas de contrôles effectués sur des ciments destinés à être injectés dans un sondage, on peut aussi réaliser une montée progressive en pression pour reproduire les conditions rencontrées par le ciment au cours de son injection.

Sur le schéma d'appareillage donné sur la figure 3, le repère (1) désigne la cellule (1) décrite en référence à la figure 1. On retrouve également les conducteurs (28-29) d'alimentation du transducteur électroacoustique (27), notamment transducteur piézoélectrique, jouant le rôle d'émetteur 5 et le conducteur (34-35) par lequel est issu le signal électrique de sortie du transducteur électroacoustique (33), notamment transducteur piézoélectrique, jouant le rôle de récepteur. Les repères (53) et (54) désignent respectivement le système 10 de chauffage et de régulation de température de la cellule (1) et le système pneumatique d'amplification et de régulation de pression de ladite cellule qui ont été décrits plus 15 en détail en référence à la figure 2. Un générateur électrique (55) de bruit à fréquence aléatoire et à amplitude sensiblement constante alimente les conducteurs (28-29) du transducteur (27) jouant le rôle d'émetteur. Le conducteur (34-35) du transducteur (33), jouant le rôle de récepteur, est connecté à 20 l'entrée d'un enregistreur (56). Cet enregistreur (56) donne un diagramme représentant, en fonction du temps, les variations de l'amplitude des ondes acoustiques engendrées à partir 25 du signal émis par le générateur de bruit (55) et ayant traversé le matériau sous contrôle. L'amplitude du signal générateur étant sensiblement constante, l'amplitude du signal reçu par l'enregistreur est représentative de l'atténuation 30 des ondes acoustiques ayant traversé le matériau. L'utilisation d'un générateur de bruit à fréquence aléatoire élimine les atténuations du signal résultant de phénomènes de résonance lors du passage des ondes à travers la cellule.

La réalisation d'un essai de contrôle de la prise et du durcissement d'un matériau passant d'un état liquide ou 35 pâteux à un état solide, et en particulier d'un ciment, en faisant appel à l'appareillage suivant l'une des figures 2 ou 3 et équipé de la cellule décrite en référence à la figure 1 peut être schématisée comme suit:

La cellule (1) est ouverte par enlèvement du bouchon (7) : la cavité (3) contient alors sur ses différentes parois une pellicule d'huile de pressurisation. Le laitier de ciment est alors versé dans un réceptacle (42) jusqu'à atteindre le 5 niveau (46), le couvercle (45) est mis en place et bloqué. Comme la cellule (1) est montée sur un support de telle sorte que l'axe de la cavité (3) soit sensiblement horizontal, on peut glisser le réceptacle (42) dans cette cavité (3) en maintenant le couvercle (45) et donc le percement (47) en 10 position haute, sans craindre de verser du laitier de ciment. Le bouchon (7) est mis en place et bloqué. Une circulation d'huile permet d'assurer un parfait remplissage des espaces résiduels de la cavité (3) avec l'huile de pressurisation.

La cellule (1) ainsi préparée contenant le matériau 15 à contrôler est placée dans une enceinte calorifugée et le système (53) de chauffage de la cellule et de régulation de sa température ainsi que le système (54) d'amplification et de régulation de la pression s'exerçant dans le réceptacle (42) par l'orifice (47). La sortie du générateur d'impulsions 20 électriques, ensemble formé par le générateur (50), l'interrupteur (48) et le déclencheur (49) dans le cas de l'appareillage de la figure 2 ou bien générateur (55) de bruit à fréquence aléatoire et à amplitude constante dans le cas de l'appareillage de la figure 3, est connectée aux conducteurs (28-29) 25 du transducteur émetteur (37) de la cellule tandis que les sorties (34-35) du transducteur (33) de ladite cellule sont reliées soit, dans le cas de l'appareillage de la figure 2, à l'une des entrées du système de comptage (51) dont l'autre entrée est connectée à la sortie de l'interrupteur (48) et la sortie est 30 reliée à l'enregistreur (52), soit, dans le cas de l'appareillage de la figure 3, directement à l'enregistreur (56). Lorsque la cellule se trouve dans les conditions choisies de pression et de température, le générateur d'impulsions ou de bruit est actionné et les impulsions électriques produites excitent le 35 transducteur émetteur qui produit des ondes acoustiques se propageant à travers la matière à contrôler vers le transducteur récepteur, ce dernier transformant l'énergie acoustique qu'il reçoit en un signal électrique. On enregistre, en fonction du temps, un signal représentatif soit du temps

de transit des ondes acoustiques dans le matériau sous contrôle dans le cas de l'appareillage de la figure 2, soit de l'atténuation des ondes acoustiques ayant traversé le matériau sous contrôle dans le cas de l'appareillage de la 5 figure 3. Dans le cas de l'appareillage de la figure 2, le générateur d'impulsions utilisé émet des impulsions électriques rectangulaires de largeur déterminée (par exemple 10 microsecondes) qui se répètent à une cadence telle (par exemple période égale à 100 microsecondes) que l'enregistrement 10 correspondant à une impulsion soit complètement terminée lorsque l'impulsion suivante est émise.

Sur la figure 4, on donne, à partir d'une même origine des temps, à savoir l'instant zéro de début d'émission d'une impulsion rectangulaire de durée 10 microsecondes, le 15 signal électrique E représentant cette impulsion fourni au transducteur émetteur et le signal de sortie S du transducteur récepteur de la cellule de l'appareillage de la figure 2 résultant de cette impulsion pour trois stades d'évolution d'un ciment (ciment de type CPA gâché avec 46 % de son poids 20 d'eau douce), à savoir ciment liquide (diagramme A), ciment en début de prise (diagramme B), et ciment durci (diagramme C). Une comparaison des diagrammes montre que le temps de transit des ondes acoustiques dans le matériau sous contrôle, c'est-à-dire la différence entre l'instant d'apparition d'un signal 25 de niveau fixé à la sortie du transducteur récepteur et l'instant de début d'émission de l'impulsion rectangulaire d'excitation du transducteur émetteur, diminue sensiblement lorsque le ciment évolue depuis l'état liquide (diagramme A avec un temps de transit de 47 microsecondes), en passant par 30 la phase de début de prise (diagramme B avec un temps de transit de 41 microsecondes) pour arriver à l'état de ciment durci (diagramme C avec un temps de transit de 30 microsecondes). En d'autres termes, la vitesse des ondes acoustiques dans le ciment en cours d'évolution augmente sensiblement lorsque le 35 ciment évolue de l'état liquide, en passant par la phase de prise, jusqu'à l'état durci.

Sur la figure 5, les courbes I et II représentent, en fonction du temps, les variations du temps de transit mesuré

en microsecondes (en abrégé μ s) pour un ciment de la classe G gâché avec 44 % de son poids d'eau douce et sans additif, cette mesure étant réalisée avec l'appareillage de la figure 2 en utilisant des impulsions d'excitation rectangulaires de 5 période 100μ s et de largeur égale à 10μ s, la cellule ayant une chambre de mesure présentant un diamètre de 40 millimètres. La courbe I est obtenue en travaillant à la pression atmosphérique et à une température de 48°C et la courbe II correspond à une opération mise en oeuvre à 48°C et sous une 10 pression égale à 200 bars, la montée en pression se faisant en 30 minutes à partir de l'instant de début d'émission. En outre, sur cette même figure, la courbe III représente, avec la même échelle des temps en abscisse, la courbe de consistance obtenue pour un contrôle du ciment au consistomètre 15 normalisé API. On constate que le début de prise du ciment au consistomètre normalisé (consistance atteignant 100 unités de consistance [en abrégé U.C]) correspond à une variation brutale du temps de transit (courbes I et II). Le temps de pompabilité du ciment, dont la définition normalisée correspond 20 au temps au bout duquel la consistance du ciment gâché atteint la valeur 100 U.C. au consistomètre normalisé et correspond à l'abscisse t_p sur le diagramme de la figure 5, correspond à une diminution de 20 % du temps de transit.

La résistance mécanique à la compression du ciment 25 mesurée à la presse hydraulique après des durées de 3,25 heures, 5 heures et 24 heures était égale à 30 bars, 90 bars et 236 respectivement. Cette augmentation avec le temps de la résistance à la compression du ciment (durcissement du ciment) correspond à une diminution du temps de transit comme indiqué 30 ci-après :

Résistance à la compression :	30	90	236
(bars)			

Diminution du temps de			
transit (%)	:	22	36

35 Pour un type de ciment donné, la connaissance de la diminution du temps de transit des ondes acoustiques traversant le ciment en cours de prise puis de durcissement permet d'accéder d'une part à une valeur représentative du temps de

pompabilité du ciment gâché et d'autre part à la résistance à la compression du ciment durci, cette dernière indication permettant de déterminer le temps d'attente pour la reprise des opérations de forage du sondage soumis à l'injection de ciment.

5 Le comportement du ciment précité peut être schématisé comme suite en relation avec la diminution du temps de transit :

	<u>Diminution du temps de transit (%)</u>	<u>Evolution du ciment</u>
10	0	Ciment liquide
	0 - 10	Epaississement
	10 - 20	Temps de pompabilité
	22	Résistance 30 bars
	36	Résistance 90 bars
15	42	Résistance 236 bars

En comparant les courbes I et II, on peut voir qu'à un instant donné, dans l'intervalle correspondant à la prise du ciment, le temps de transit est plus faible lorsque la pression est plus élevée, ce qui indique un stade d'évolution 20 plus avancée du ciment. Ceci montre la nécessité de connaître la valeur du temps de pompabilité dans les conditions réelles de pression et de température que doit rencontrer le ciment, surtout pour une utilisation du ciment à pression et température élevées, pour éviter une prise en masse prématuée du 25 ciment. D'où l'intérêt de faire appel, pour le contrôle du ciment, à la cellule suivant l'invention qui permet d'opérer même à des pressions et températures élevées.

La courbe de la figure 6 représente en fonction du temps l'amplitude du signal électrique de sortie du transducteur récepteur de la cellule (1) de l'appareillage suivant la figure 3, pour un ciment de type CPA (Ciment Portland Artificiel) gâché avec 46 % d'eau douce, en opérant avec une chambre de mesure de 40 millimètres de diamètre et dans des conditions de température et de pression correspondant à la 35 température ambiante et à la pression atmosphérique. L'amplitude dudit signal, qui est fonction de l'atténuation des ondes acoustiques ayant traversé le ciment (une faible amplitude du signal correspondant à une forte atténuation des ondes acoustiques et vice versa), reste très faible tant que le ciment

est liquide, puis elle augmente brusquement au moment de la prise et continue à augmenter par la suite. Le moment où le début d'évolution est constaté correspond encore à la valeur t_p du temps de pompabilité mesurée au consistomètre normalisé 5 API. L'impédance acoustique du milieu continue ensuite à décroître (atténuation allant en diminuant) pendant le durcissement du ciment.

La connaissance des variations en fonction du temps de l'amplitude du signal précité fonction de l'atténuation de 10 l'amplitude des ondes acoustiques traversant le ciment en cours d'évolution et produites par un signal d'excitation à niveau constant, permet encore d'accéder à une valeur représentative du temps de pompabilité du ciment, cette valeur correspondant au temps au bout duquel on observe un accroissement brusque 15 de l'amplitude dudit signal enregistré.

REVENDICATIONS

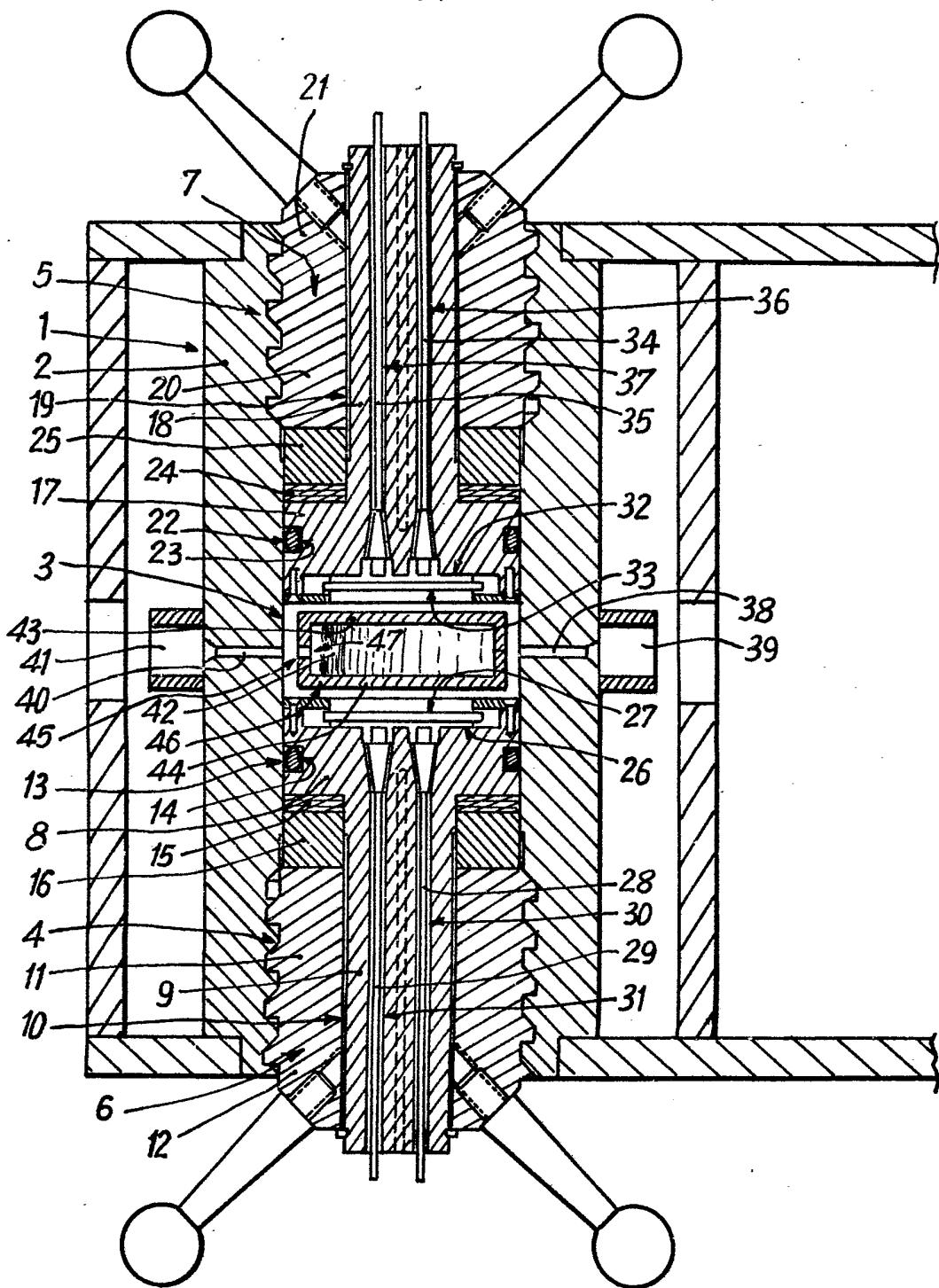
- 1 - Cellule pour le contrôle par voie acoustique des caractéristiques, notamment de la prise et du durcissement de matériaux passant de l'état liquide ou pâteux à l'état solide, en particulier les ciments, comportant un corps de cellule (2) constitué par un cylindre creux délimitant par une paroi cylindrique une cavité dont la portion médiane constitue une chambre de mesure (3), munie de deux transducteurs électroacoustiques (27) et (33) dont les surfaces d'émission et/ou de réception sont planes, parallèles et se faisant face, et dont les portions extrêmes (4) et (5) constituent deux passages opposés, débouchant sur la surface extérieure et aptes à contenir chacun un bouchon (6) et (7) étanche amovible, la chambre de mesure (3) étant reliée par au moins un percement (38) au travers de la paroi de la cellule à un moyen d'injection d'un fluide hydraulique et de moyens de contrôle de la pression de ce fluide, caractérisée en ce que chaque transducteur électroacoustique (27) et (33) est disposé dans un évidement ménagé (26) et (32) sur la paroi interne de chacun des deux bouchons (6) et (7).
- 2 - Dispositif selon la revendication 2 dans lequel la chambre de mesure contient un réceptacle cylindrique (42) pourvu d'un couvercle amovible (45) pour la mise en place du matériau à essayer et d'un percement (47) pour égalisation des pressions entre l'intérieur et l'extérieur du réceptacle (42).
- 3 - Cellule suivant l'une des revendications 1 à 2, caractérisée en ce qu'elle comporte des moyens permettant de l'amener à la température désirée et de réguler ladite température, lesdits moyens étant en particulier du type colliers chauffants ou crayons chauffants asservis par thermo-couple.
- 4 - Cellule suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que les transducteurs sont du type piézo-électriques.

- 5 - Cellule suivant l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les transducteurs électroacoustiques sont associés à des moyens assurant leur maintien en équilibre dans les évidements du corps de cellule.
- 5 6 - Cellule suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle comporte des moyens ou est associée à des moyens extérieurs à la cavité permettant l'agitation du matériau contenu dans ladite cavité.
- 7 - Appareillage pour le contrôle par voie acoustique des caractéristiques, notamment de la prise et du durcissement de matériaux passant de l'état liquide ou pâteux à l'état solide, en particulier de ciments, incluant une cellule suivant l'une des revendications 1 à 6, et comportant en outre un système générateur d'impulsions électriques, dont la sortie est connectée à l'entrée du transducteur électroacoustique (27) de la cellule jouant le rôle d'émetteur, et des moyens pour enregistrer et/ou visualiser le signal électrique de sortie du transducteur électroacoustique jouant le rôle de récepteur (33) et éventuellement le signal électrique alimentant le transducteur émetteur, ou encore pour traiter lesdits signaux et enregistrer et/ou visualiser une grandeur représentative de leur décalage temporel et/ou du rapport de leurs amplitudes.
- 25 8 - Appareillage suivant la revendication 7, caractérisé en ce qu'il inclut une cellule suivant l'une des revendications 1 à 6, et comporte, en outre, un générateur d'impulsions électriques constitué par un générateur de signaux électriques (50) de commande, dont la sortie est connectée, à travers un interrupteur (48) actionné par un déclencheur (49), à l'entrée du transducteur émetteur de la cellule, un système de comptage de temps (51) recevant par une première entrée le signal issu de l'interrupteur (48) et par une deuxième entrée le signal de sortie du transducteur récepteur (33) de la cellule, ledit système étant déclenché à l'instant de début d'arrivée de l'impulsion électrique au transducteur émetteur (27) et étant arrêté dès que le signal de sortie du transducteur récepteur (33)

atteint un niveau fixé, et des moyens pour enregistrer et/ou visualiser le signal de sortie du système de comptage de temps.

- 9 - Appareillage suivant la revendication 7, caractérisé en 5 ce qu'il inclut une cellule suivant l'une des revendications 1 à 6, et comporte, en outre, un générateur électrique de bruit (55) à fréquence aléatoire et à amplitude sensiblement constante connecté à l'entrée du transducteur émetteur (27) de la cellule, et un enregistreur (56) 10 et/ou un dispositif de visualisation recevant le signal de sortie du transducteur récepteur (33) de la cellule.

Fig: 1



2/5

Fig:2

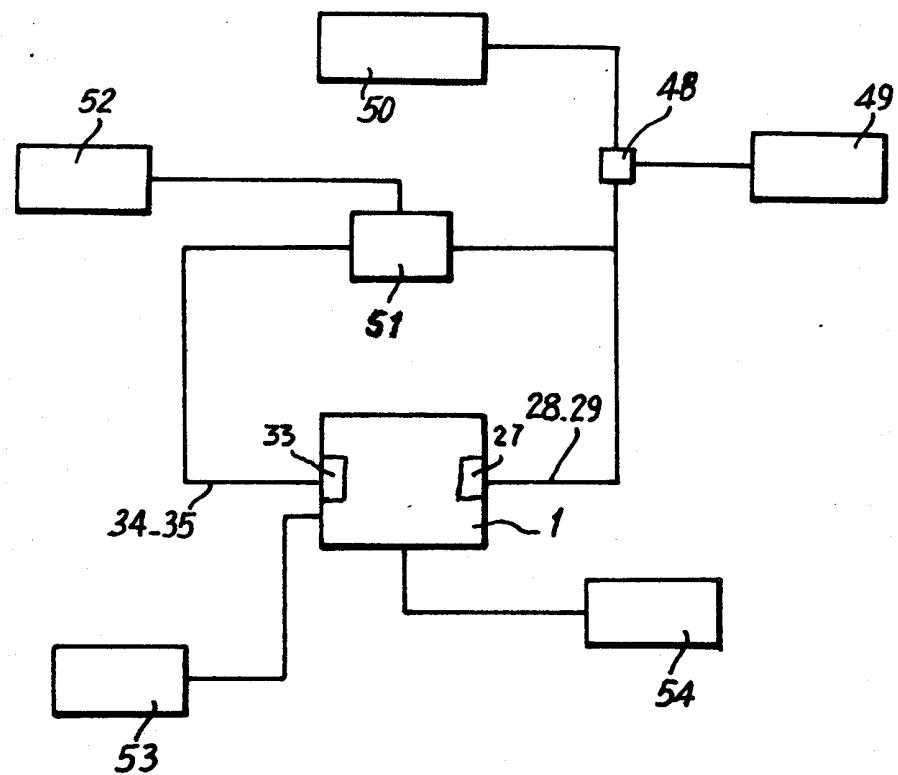
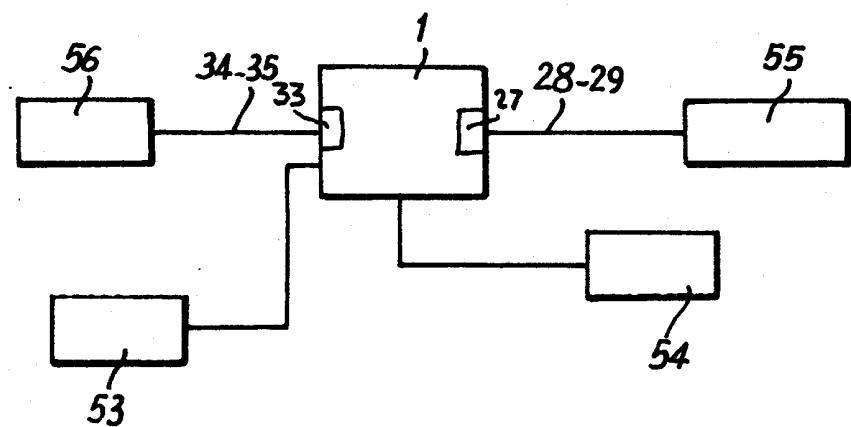
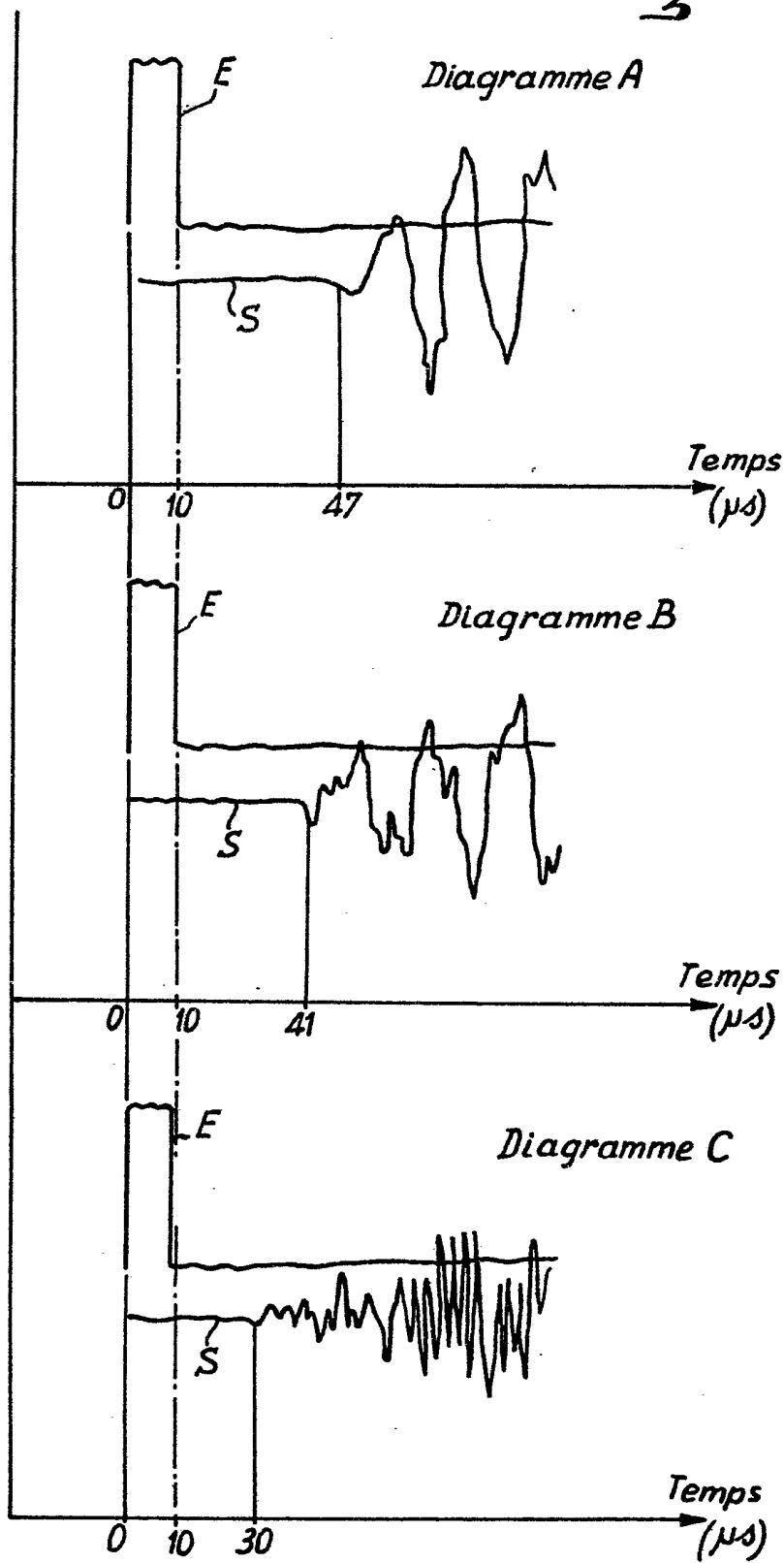


Fig:3

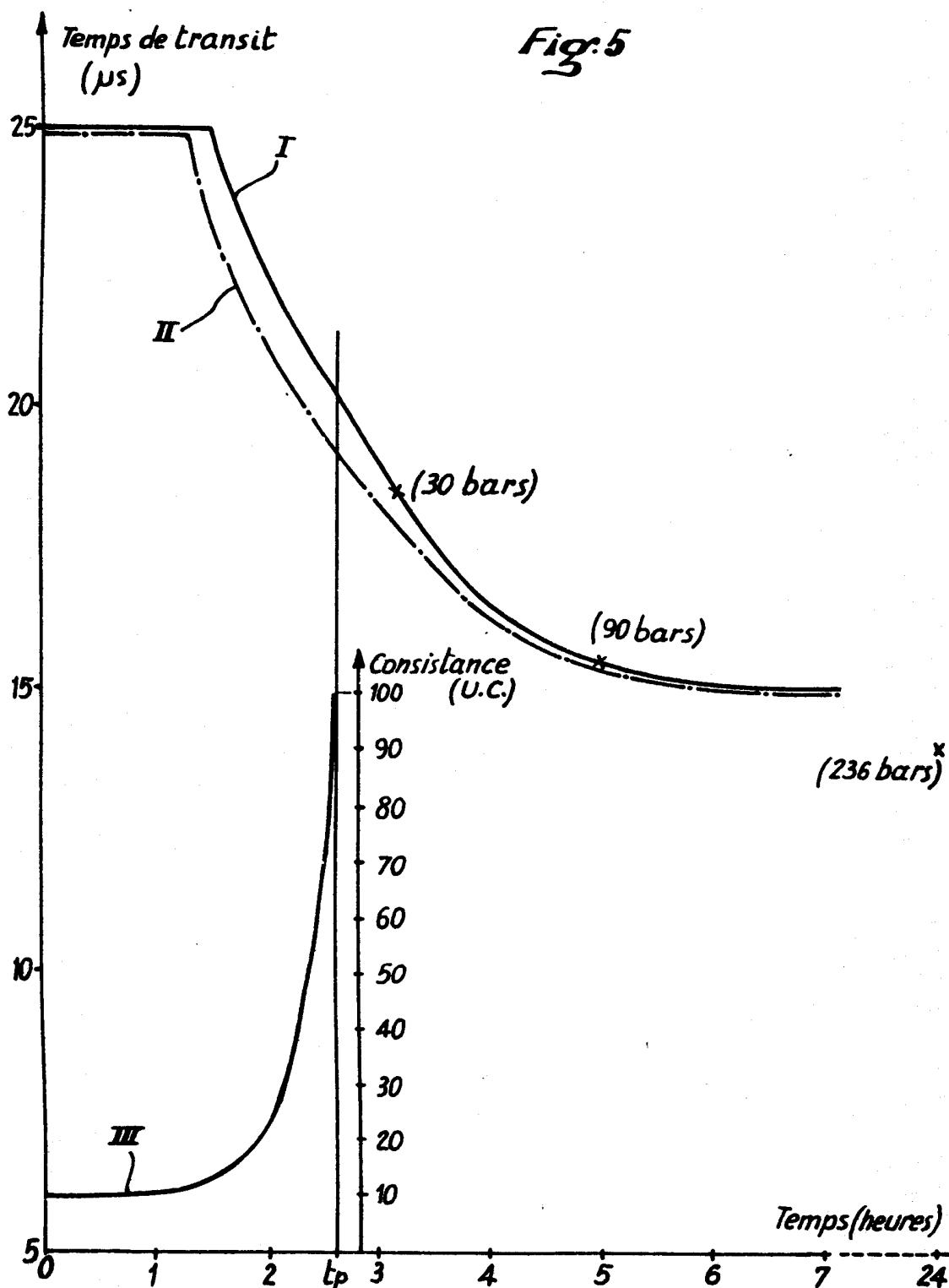


3/5

Fig:4



4/5



5/5

Fig:6

