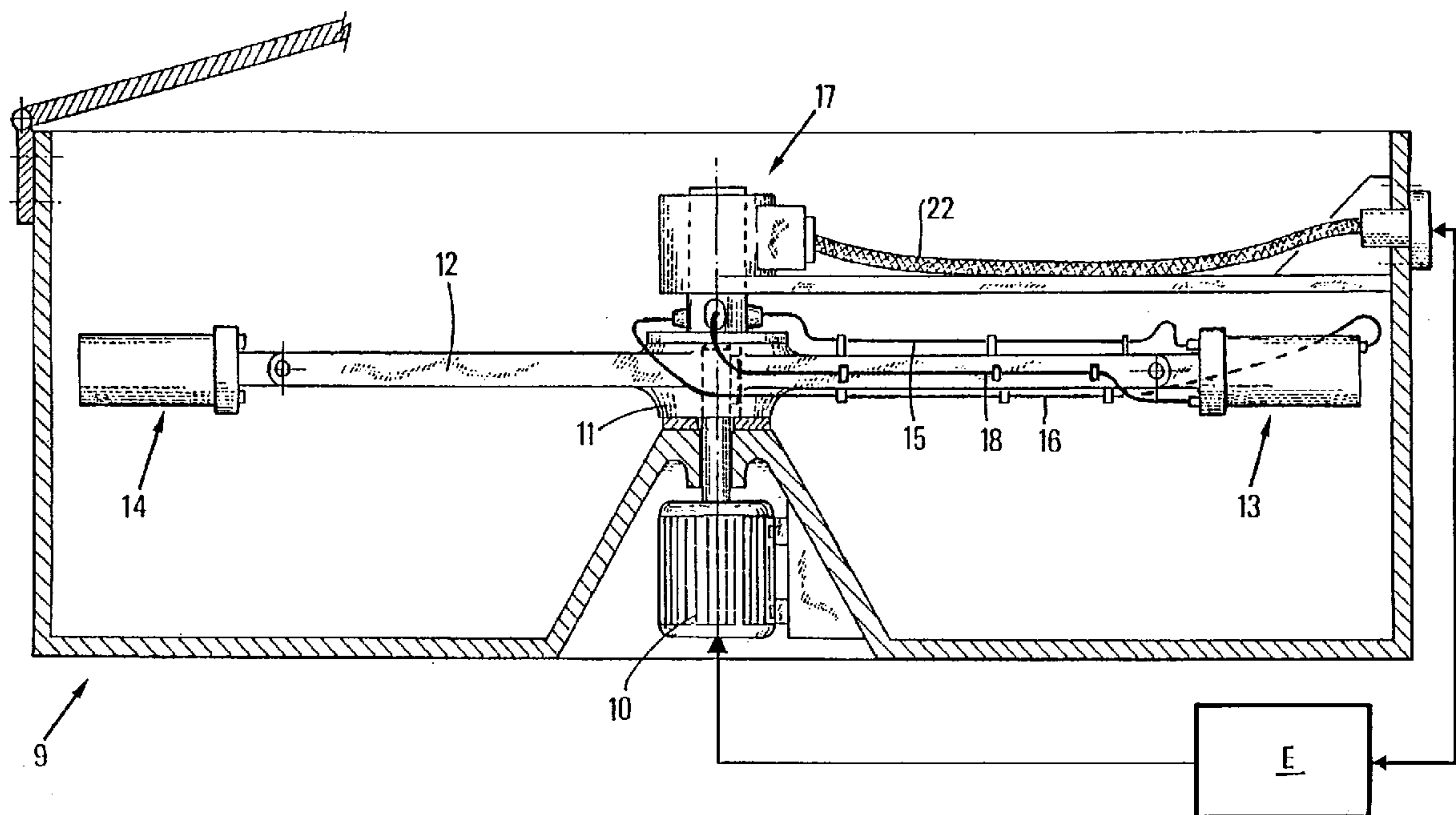




- (72) GOGLIN, ELODIE, FR
(72) FLEURY, MARC, FR
(72) EGERMANN, PATRICK, FR
(71) INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR
(51) Int.Cl.⁷ G01N 15/08, G01V 9/00
(30) 1999/09/21 (99 12 266) FR
(54) **METHODE OPTIMISEE POUR DETERMINER DES
PARAMETRES PHYSIQUES D'UN ECHANTILLON SOUMIS A
CENTRIFUGATION**
(54) **OPTIMIZED METHOD TO DETERMINE THE PHYSICAL
PARAMETERS OF A SAMPLE SUBJECTED TO
CENTRIFUGATION**



(57) - Méthode pour déterminer plus rapidement certains paramètres physiques (courbes de pression capillaire et perméabilités relatives par exemple) d'un échantillon géologique initialement saturé avec un premier fluide placé dans un récipient et soumis à centrifugation en présence d'un deuxième fluide. - Par le biais d'une modélisation analytique mettant en jeu des fonctions exponentielles, s'ajustant au mieux à une courbe de production effective, pour chaque palier de vitesse, on détermine les saturations d'équilibre bien avant d'atteindre la complète stabilisation. On utilise une base de données obtenues par diverses simulations, pour obtenir les courbes de perméabilités relatives correspondant à l'échantillon centrifugé. - Applications à des mesures de caractéristiques pétrophysiques.

PRECIS DE LA DIVULGATION :

- Méthode pour déterminer plus rapidement certains paramètres physiques (courbes de pression capillaire et perméabilités relatives par exemple) d'un échantillon géologique initialement saturé avec un premier fluide placé dans un récipient et soumis à centrifugation en présence d'un deuxième fluide.
- Par le biais d'une modélisation analytique mettant en jeu des fonctions exponentielles, s'ajustant au mieux à une courbe de production effective, pour chaque palier de vitesse, on détermine les saturations d'équilibre bien avant d'atteindre la complète stabilisation. On utilise une base de données obtenues par diverses simulations, pour obtenir les courbes de perméabilités relatives correspondant à l'échantillon centrifugé.
- Applications à des mesures de caractéristiques pétrophysiques.

MÉTHODE OPTIMISÉE POUR DÉTERMINER DES PARAMÈTRES PHYSIQUES
D'UN ÉCHANTILLON SOUMIS À CENTRIFUGATION

La présente invention concerne une méthode de modélisation permettant d'obtenir plus rapidement certains paramètres physiques d'un échantillon géologique à partir de résultats expérimentaux obtenus en le soumettant à centrifugation.

10

La méthode trouve des applications importantes dans le domaine de la pétrophysique où la connaissance de paramètres tels que la pression capillaire, les courbes de perméabilité relative des roches poreuses, permet aux ingénieurs de réservoirs, de caractériser les conditions d'écoulement d'hydrocarbures au sein d'un gisement, de faire des prévisions de production et d'élaborer des stratégies d'exploitation.

20

Une méthode bien connue pour déterminer rapidement à la fois les courbes de pression capillaires et les courbes de perméabilité relative d'un échantillon de roche poreuse initialement saturé par un premier fluide consiste essentiellement à la soumettre à centrifugation pour déplacer le fluide en place par un autre fluide.

On utilise par exemple des dispositifs de centrifugation tels que décrits dans les brevets FR 2 699 282 (US 5,463,894), FR 2 763 690, FR 2 772 477 du demandeur.

30

L'échantillon initialement saturé avec un liquide A (de la saumure par exemple) est placé dans un récipient ou godet allongé contenant un autre fluide B de densité différente (de l'huile par exemple. Le godet est fixé au bout d'un bras tournant, et on lui applique une force centrifuge de façon à étudier les déplacements des fluides dans l'échantillon au cours d'au moins deux phases distinctes. Durant une première phase de drainage, on soumet alors l'ensemble à une force centrifuge dirigée suivant la longueur du récipient de manière à exercer sur lui une force

1a

d'expulsion qui tend à faire sortir une partie du premier fluide A. Dans le même temps, du fluide A pénètre à l'intérieur de l'échantillon. Les deux fluides se déplacent à l'intérieur de l'échantillon jusqu'à une position d'équilibre où la force due à la pression capillaire dans les pores, compense la force centrifuge exercée. Une sonde de mesure, est placée dans le godet, sur le côté de l'échantillon. La sonde

peut être de type capacitif par exemple et comporter une tige métallique, isolée par une gaine en céramique. On mesure la capacité entre la tige et le fluide conducteur (la saumure), qui est proportionnelle à la hauteur immergée. Avec ce système, la précision de mesure est de 1,5% du volume poreux. La sonde détecte la position de
5 l'interface entre les deux liquides dans le godet et transmet les signaux de mesure à un automate de commande et d'acquisition de signaux de mesure regroupant des moyens hydrauliques de circulation des liquides et un appareil d'acquisition

Les différents points de la courbe de pression capillaire (P_c) sont obtenus à partir de la mesure de la saturation moyenne de l'échantillon à l'équilibre pour des
10 vitesses de rotation données. Pour la détermination des courbes de perméabilités relatives (K_r), on s'intéresse à la variation de la saturation au cours du temps entre deux paliers de vitesse (transitoire). Aucune de ces courbes n'est obtenue directement ; la première doit être calculée et la deuxième nécessite un simulateur numérique d'écoulement comportant (Fig. 11) un module de simulation M qui
15 reproduit les effets de l'expérience grâce à un modèle numérique, et un module inversion I permettant la détermination des courbes de pression capillaire et perméabilité relatives par ajustement itératif d'un modèle numérique initial aux résultats expérimentaux.

Parmi les simulateurs d'écoulement connus, on peut citer par exemple le
20 simulateur d'écoulement ACEX basé sur les équations généralisées de Darcy, que l'on trouve décrit dans :

- Chardaire-Rivière, C. ; 1992, Improving the Centrifuge Technique by Measuring Local Saturations ; SPE 24882.

Bien que la technique de centrifugation soit largement utilisée dans
25 l'industrie pétrolière, du fait de sa rapidité relative si on la compare aux autres méthodes existantes, certaines difficultés de mise en œuvre demeurent tant en ce qui concerne la détermination de la courbe de pression capillaire que celle des courbes de perméabilité relative.

Pour un palier de vitesse donné, l'état stationnaire est difficile à déterminer puisque l'on observe une stabilisation très lente de la production. La recherche de cet équilibre conduit à réaliser des manipulations de longue durée, qui s'étalent sur plusieurs semaines, dont la mise en œuvre présente certaines difficultés pratiques
5 surtout si l'on considère la vitesse de rotation souvent élevée atteinte par la centrifugeuse. La durée requise est en outre allongée si l'on cherche à augmenter le volume poreux de l'échantillon (en augmentant sa longueur) pour améliorer la précision de la mesure de saturation.

L'inversion, c'est à dire l'ajustement d'une modélisation numérique aux
10 résultats expérimentaux, est difficile à réaliser car l'information relative aux perméabilités relatives est concentrée sur la partie transitoire de la courbe de production, c'est à dire dans une gamme étroite de valeurs expérimentales. L'accélération appliquée à la centrifugeuse exerce une influence prépondérante sur la forme de cette partie transitoire, notamment sur sa durée. La détermination, en
15 parallèle, de la courbe de pression capillaire conduit à appliquer plusieurs paliers de vitesse constante plutôt qu'une longue accélération, ce qui réduit les courbes transitoires.

La méthode de modélisation selon l'invention permet d'obtenir avec un gain de temps considérable les valeurs de paramètres physiques d'un échantillon
20 géologique initialement saturé avec un premier fluide placé dans un récipient et soumis à centrifugation en présence d'un deuxième fluide.

Elle comprend une mesure de la quantité des fluides déplacée par la centrifugation de la quantité des fluides déplacée par la centrifugation et l'établissement de courbes de saturation, à des intervalles de temps fixés et elle est
25 caractérisée en ce qu'elle comporte, pour chaque palier de vitesse de rotation, la modélisation d'une courbe de saturation s'ajustant au mieux à chaque pas de temps avec la portion de courbe déjà obtenue correspondant aux différentes mesures déjà effectuées, la valeur de la saturation à l'équilibre étant déduite de caractéristiques de la courbe modélisée.

Pour chaque palier de vitesse, on modélise, une courbe de saturation de type exponentiel par un ajustement de paramètres, l'un de ces paramètres correspondant à la valeur de la saturation à l'équilibre. La courbe de saturation est modélisée par exemple au moyen par exemple d'une somme de fonctions exponentielles
5 dépendant des dits paramètres d'ajustement.

De préférence, on choisit les vitesses de centrifugation permettant d'obtenir une distribution régulière de points sur chaque courbe de saturation.

Suivant un mode de mise en œuvre, la méthode comporte en outre

- l'utilisation d'un simulateur d'écoulement pour modéliser une relation entre les
10 valeurs des perméabilités relatives respectivement aux deux fluides d'un échantillon de dimensions et de perméabilité définies et les valeurs de saturation respectives à ces mêmes fluides en fonction de différents coefficients et établir une base de données reliant des paramètres d'ajustement aux dits coefficients, pour plusieurs valeurs de saturation à au moins un des fluides ; et
- 15 - la détermination des perméabilités relatives de l'échantillon soumis à centrifugation par référence à des valeurs de correspondance extraites de la base de données.

D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention,
20 apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'un exemple non limitatif de réalisation, en se référant aux dessins annexés où :

- la Fig.1 montre un dispositif de centrifugation permettant une mise en œuvre de la méthode ;
- la Fig.2 montre un exemple d'ajustement d'une courbe de modélisation sur une
25 courbe de production expérimentale ;

- la Fig.3 montre à titre de comparaison différentes courbes de modélisation obtenues à des instants différents d'un même palier de vitesse ;
- la Fig.4a, 4b, 4c montrent les évolutions comparées respectivement d'une courbe de production, d'une courbe de variation de la constante de temps T2 intervenant dans la modélisation de la courbe de simulation, et la courbe de variation de la valeur finale S_{final} que l'on peut prédire par la simulation ;
- la Fig.5 est un tableau montrant un exemple d'évolutions comparées de plusieurs paramètres au cours d'un même palier de vitesse ;
- les Fig.6a, 6b, 6c, 6d montrent respectivement les évolutions au cours du temps de la valeur de saturation S_{final} d'un échantillon, de coefficients T1,T2 intervenant comme paramètres dans la courbe simulée et la courbe de production correspondante ;
- la Fig.7 est un tableau montrant un deuxième exemple d'évolutions comparées de plusieurs paramètres au cours d'un même palier de vitesse ;
- la Fig.8a montre schématiquement une courbe de variation de saturation Sw et les Fig.8b à 8c montrent respectivement des abaques que l'on a formé, reliant différents coefficients, abaques qui correspondent à deux zones de variation de la saturation ;
- la Fig.9 montre les évolutions comparées de courbes de saturation obtenues suivant la méthode classique (D11, D21) et suivant la méthode rapide selon l'invention (D12, D22) ;
- la Fig.10 est un tableau comparatif de valeurs numériques pour trois paliers de vitesse, selon que l'on opère par la méthode classique ou la méthode accélérée selon l'invention ; et
- la Fig.11 montre schématiquement l'organisation d'un simulateur d'écoulement.

Description détaillée

Pour la mise en œuvre de la méthode, on utilise un dispositif de centrifugation tel que décrit ci-après.

Il comporte (Fig.11) un récipient ou godet allongé 13 pour un échantillon
5 Une sonde détectrice de niveau de type capacitif (non représentée) est disposée dans une chambre latérale tubulaire parallèle à la direction d'allongement de l'échantillon et du godet. Toute variation dans le niveau du fluide conducteur dans le godet, se traduit par une variation de la capacité de la sonde. La centrifugeuse Il comporte une cuve 9, un moteur électrique 10 dont l'axe entraîne en rotation un moyeu 11.
10 Deux bras 12 identiques sont montés en opposition sur le moyeu 11. Deux récipients ou godets 13, 14 sont montés pivotants aux extrémités des deux bras 12 de façon à s'aligner spontanément avec la direction de la force centrifuge appliquée, et ils s'équilibrent l'un l'autre en rotation. Dans le godet 13 est placé un échantillon de roche poreuse à mesurer initialement saturé en un fluide électriquement
15 conducteur A, tel que de la saumure par exemple 1 Le godet 13 est rempli initialement d'un autre fluide B électriquement isolant tel que de l'huile.

Deux canalisations 15, 16 fixées le long d'un des bras 9, relient le godet 13 à un connecteur électro-hydraulique tournant 17 porté par le moyeu 11. La première canalisation 15 sert à injecter de l'huile dans le godet 13. La deuxième, 16, sert à
20 collecter la saumure qui est drainée hors de l'échantillon par la rotation. Un câble 18 relie en outre la sonde de mesure au connecteur tournant 17. Par l'intermédiaire du connecteur 17, les conducteurs du câble 18 sont connectés électriquement à un autre câble. Ces deux canalisations et cet autre câble forment un élément de liaison 22 entre le godet 13 et un ensemble extérieur E adapté à collecter les signaux émanant
25 de la sonde de mesure et à traiter les données acquises, et aussi à commander les transferts de fluide et à actionner le moteur d'entraînement 10.

La méthode comporte au préalable la sélection d'un certain nombre de paliers de vitesse de rotation choisis pour obtenir des points bien répartis sur la courbe de saturation. L'opérateur peut les choisir en se référant à des valeurs

obtenues dans des essais antérieurs pour des échantillons de même type. Il peut aussi à défaut, réaliser rapidement un essai sur échantillon par une méthode de type Purcell bien connue des spécialistes de façon à établir une courbe de pression capillaire correspondante et selon sa forme, estimer les paliers de vitesse qui
5 conviennent.

L'accès rapide recherché aux valeurs de saturation obtenu par la méthode est basé sur une modélisation analytique des paliers de production de fluide par l'échantillon soumis à centrifugation. On utilise à cet effet une équation de modélisation de type exponentiel.

10 On a trouvé que la plupart des courbes de production pouvaient être modélisées par l'équation :

$$S(t) = S_{eq} \left[1 - \left(P \cdot e^{-t/T_1} + (1 - P) \cdot e^{-t/T_2} \right) \right] + S_{ini}$$

où S_{eq} est la saturation à l'équilibre, S_{ini} , la saturation initiale du palier de vitesse précédent, t , le temps, P , un facteur de pondération, et T_1 , T_2 sont des constantes de temps.

15 La constante de temps la plus faible T_1 décrit la partie transitoire C1 de la courbe de saturation (Fig.2), c'est à dire les effets dynamiques. La constante de temps la plus T_2 grande rend compte de la zone de stabilisation C2, c'est-à-dire des effets capillaires.

Pour estimer la saturation à l'équilibre, bien avant le stade où ses variations
20 deviennent effectivement inférieures à la précision de la mesure, on recherche les coefficients T_1 , T_2 qui, appliqués dans l'équation ci-dessus, génère une courbe de saturation s'ajustant à la partie déjà connue de la courbe de production.

A chaque nouveau palier de vitesse de rotation, l'automate procède à une acquisition de mesures et on obtient un nouveau couple de données (temps,
25 production). Le programme ajuste alors la modélisation mathématique bi-exponentielle à la courbe de points dont il dispose déjà (Fig.3). On obtient ainsi

l'évolution de la constante de temps T_2 qui détermine la stabilisation et de la saturation finale S_{final} au cours du temps. Dans ce programme, on fixe un écart maximal entre deux valeurs consécutives de T_2 et de S_{final} . correspondant par exemple à la précision pratique de l'appareil de mesure. Lorsque les écarts calculés
 5 sont inférieurs à ces valeurs, on peut considérer que T_2 et S_{final} sont suffisamment stabilisés et donc que la courbe de production est entièrement déterminée et on passe alors au palier de vitesse suivant.

Leur évolution est représentée sur les Fig 4a à 4c. On remarque une très nette stabilisation de la constante de temps T_2 et de la saturation finale. Cette stabilisation
 10 intervient dès que l'écoulement atteint le plateau final, c'est-à-dire dès que les forces capillaires deviennent prépondérantes. La constante T_1 se stabilise beaucoup plus vite puisqu'elle ne concerne que la première partie de la courbe.

Le tableau de la Fig.5 montre l'évolution au cours du temps de quatre jeux de paramètres P , T_1 , T_2 , S_{final} , calculés à quatre instants différents de l'expérience.

15 Si la précision de la mesure de la saturation S par la sonde capacitive dans le godet contenant l'échantillon est de l'ordre de 1,5% du volume poreux par exemple, soit 1,5% en saturation, on peut dans un tel cas considérer que l'on connaît la valeur finale de la saturation au bout de 3 heures d'expérience. Cela implique une erreur de 2,6% sur T_2 et une erreur de 0,9% sur S_{final} , inférieure à la précision de la sonde. Si
 20 l'on attendait la stabilisation effective de la saturation où les écarts entre mesures successives deviennent inférieurs à la précision de la sonde, le palier de vitesse devrait durer une dizaine d'heures. On divise donc la durée de manipulation par trois.

A partir d'une courbe expérimentale, on retrouve pour les paramètres T_2 et
 25 S_{final} , le pic puis la stabilisation observés sur les courbes simulées. On obtient les évolutions montrées aux Fig.6a à 6d.

Le tableau de la Fig.7 montre des résultats analogues pour autre cas expérimental.

Au bout de 3,5 heures, on connaît la valeur finale de la saturation à 0,66% près ce qui est inférieur à la précision de la mesure. Si on avait attendu la stabilisation, l'expérience aurait duré plus de 7h. On peut donc réduire de moitié la durée de l'essai d'un facteur de l'ordre de 2 ou 3. On peut donc estimer, compte-
 5 tenu de ces deux exemples, qu'à partir du moment où la valeur de T_2 est stable à 5% près, et la valeur de S_{final} à 1% près, les paramètres de la modélisation mathématique sont suffisamment déterminés pour pouvoir stopper l'expérience et passer au palier de vitesse suivant.

Détermination des courbes de perméabilité relative

10 Pour déterminer les courbes de perméabilité relative relatives à l'huile et à l'eau respectivement $K_{r,nr}$ et $K_{r,r}$ à partir des saturations respectives S_{nr} et S_r obtenues par l'expérience, on utilise l'équation de Corey bien connue des spécialistes :

$$\frac{K_{r,r}}{K_{r,r}^0} = S_r^{*n_1} \quad \text{et} \quad \frac{K_{r,nr}}{K_{r,nr}^0} = S_{nr}^{*n_2} \quad (2)$$

15 où n_1 , n_2 désignent des coefficients.

A cet effet, on constitue une base de données que l'on peut présenter sous forme d'abaques par exemple, permettant de relier les coefficients la constante T_2 avec les exposants n_1 et n_2 , pour différentes valeurs de ces exposants. On considère un échantillon de longueur déterminée (6 cm par exemple) avec une perméabilité
 20 donnée (100 mD par exemple) et l'on fait varier les coefficients n_1 , n_2 chacun entre 1 et 5.

Au moyen du simulateur, on détermine les courbes $S(t)$ de production pour différents paliers de vitesse. Comme indiqué précédemment, en appliquant la relation 1, on détermine les valeurs de P , T_1 , T_2 permettant d'ajuster au mieux la
 25 courbe modélisée à la variation de courbe de saturation. Pour tous les triplets de valeurs (T_2 , n_1 , n_2), on forme des tableaux de valeurs ou de façon plus pratique, des

abaques comme celles montrées aux Fig. 8a, 8b, correspondant à des paliers différentes de chaque courbe de saturation (Fig.8c).

Pour un palier de vitesse V1 correspondant à une forte saturation Sw à l'eau, on constate effectivement que l'exposant n2 sur l'huile a une influence
5 prédominante. Plus il est grand, c'est-à-dire plus la perméabilité relative à l'huile est incurvée, plus la constante de temps T₂ est grande. On remarque toutefois que pour ce palier l'exposant à l'eau joue aussi un rôle, même s'il est moins marqué.

Pour le palier de vitesse V3 correspondant à une saturation à l'eau Sw faible, la prédominance de l'exposant n1 sur l'eau est très nette. L'exposant sur l'huile n2
10 n'a plus aucune influence.

Pour les paliers intermédiaires, on constate que les deux exposants jouent un rôle non négligeable. A ce stade, l'écoulement est sensible à la faible perméabilité de chacun d'une perméabilité relative faible à chacun des fluides.

Les tableaux ou abaques formés peuvent être utilisés pour des échantillons de
15 longueur et de perméabilité différentes, moyennant l'application de certains facteurs correctifs.

Utiliser des échantillons courts permet de réduire la durée d'un palier de production. Cependant, l'utilisation d'un échantillon plus long permet d'étaler les parties transitoires sur les courbes et donc d'optimiser la détermination des
20 perméabilités relatives. On constate que pour des échantillons d'une même roche mais de longueurs différentes, on peut dégager une relation entre le temps de stabilisation et la longueur de type polynomial du second degré. Pour passer d'un échantillon de longueur L1 (celui ayant servi à l'établissement des abaques) à un échantillon de longueur L2 différente, on peut appliquer la relation : $\frac{T_2(L_2)}{T_2(L_1)} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2$

On constate une évolution quasi-linéaire des constantes de temps T_1 et T_2 en fonction de la perméabilité absolue de l'échantillon. On applique donc un facteur

$$\text{correctif : } \frac{T_2(K_2)}{T_2(K_1)} = \left(\frac{K_2}{K_1}\right)$$

Validation de la méthode

5 On a centrifugé deux échantillons, le premier mouillable à l'eau, le second plutôt mouillable à l'huile, une première fois suivant la méthode classique, la deuxième suivant la méthode décrite. On a appliqué 3 paliers de vitesse successifs : 470, 600 et 1050 t/min, déterminés à la suite d'essais par simulation et l'on a obtenu les courbes de production montrées aux Fig.9a, 9b.

10 En ce qui concerne les saturations d'équilibres, on obtient les résultats suivant regroupées dans le tableau de la Fig.10.

On remarque que la précision de la saturation finale est largement tributaire de la durée du palier.

15 Ainsi, le drainage rapide pour les paliers 1 et 3 donne une saturation finale légèrement différente de la stabilisation effective. Cependant, la durée de ces deux paliers est fortement réduite. Le palier 3 donne par contre des résultats tout à fait satisfaisants, mais sa durée a été beaucoup moins réduite.

20 Il existe donc un compromis entre précision de la mesure et durée. Après différents essais, on suggère de fixer les critères de variation des paramètres T_2 et S_{final} à, respectivement, 2% et 0.5 %. Cependant ces valeurs sont à estimer au cas par cas. On remarque en effet, qu'il existe des échantillons pour lesquels, la constante de temps T_2 se stabilise très difficilement, quand la saturation finale est déjà bien déterminée.

25 Par ailleurs, on constate que le fait de ne pas attendre la stabilisation des fluides avant de lancer un nouveau palier ne perturbe pas la forme de la courbe de production. On peut, en effet, toujours y associer une modélisation bi-exponentielle.

La précision de l'ajustement de la modélisation aux courbes expérimentales reste très acceptable (de l'ordre de 10^{-5}).

On a décrit un type de modélisation faisant appel à des fonctions exponentielles. On ne sortirait pas du cadre de l'invention toutefois, en adoptant
5 d'autres types de fonctions (des splines par exemple) que l'on peut relier à des paramètres physiques significatifs de l'échantillon.

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définis comme il suit :

1) Méthode pour déterminer plus rapidement certains paramètres physiques
5 d'un échantillon géologique initialement saturé avec un premier fluide placé dans un récipient et soumis à centrifugation en présence d'un deuxième fluide à des vitesses variant progressivement par paliers, comportant une mesure de la quantité des fluides déplacée par la centrifugation et l'établissement de courbes de saturation, caractérisée en ce qu'elle comporte, pour chaque palier de vitesse de
10 rotation, la modélisation d'une courbe de saturation correspondant au mieux à chaque pas de temps avec la portion de courbe déjà obtenue correspondant aux différentes mesures déjà effectuées, par sélection de paramètres d'ajustement, la valeur de chaque saturation finale (S_{final}) étant déduite de caractéristiques de la courbe modélisée.

15 2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on modélise pour chaque palier de vitesse, une courbe de saturation de type exponentiel par un ajustement de paramètres (S_{equ} , P, T), l'un de ces paramètres correspondant à la valeur de la saturation à l'équilibre.

20 3) Méthode selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'on modélise la courbe de saturation au moyen d'une somme de fonctions exponentielles dépendant des dits paramètres d'ajustement (S_{equ} , P, T1, T2).

4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte une sélection de vitesses de centrifugation permettant d'obtenir une distribution régulière de points sur chaque courbe de saturation ;

25 5) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte :

- l'utilisation d'un simulateur d'écoulement pour modéliser une relation entre les valeurs des perméabilités relatives (K) respectivement aux deux fluides d'un

- échantillon de dimensions et de perméabilité définies et les valeurs de saturation respectives (S) à ces mêmes fluides en fonction de différents coefficients (n_1 , n_2) et établir une base de données reliant des paramètres d'ajustement (T_1 , T_2) aux dits coefficients, pour plusieurs valeurs de saturation à au moins un des fluides ; et
- 5
- la détermination des perméabilités relatives (K_r) de l'échantillon soumis à centrifugation par référence à des valeurs de correspondance extraites de la base de données.

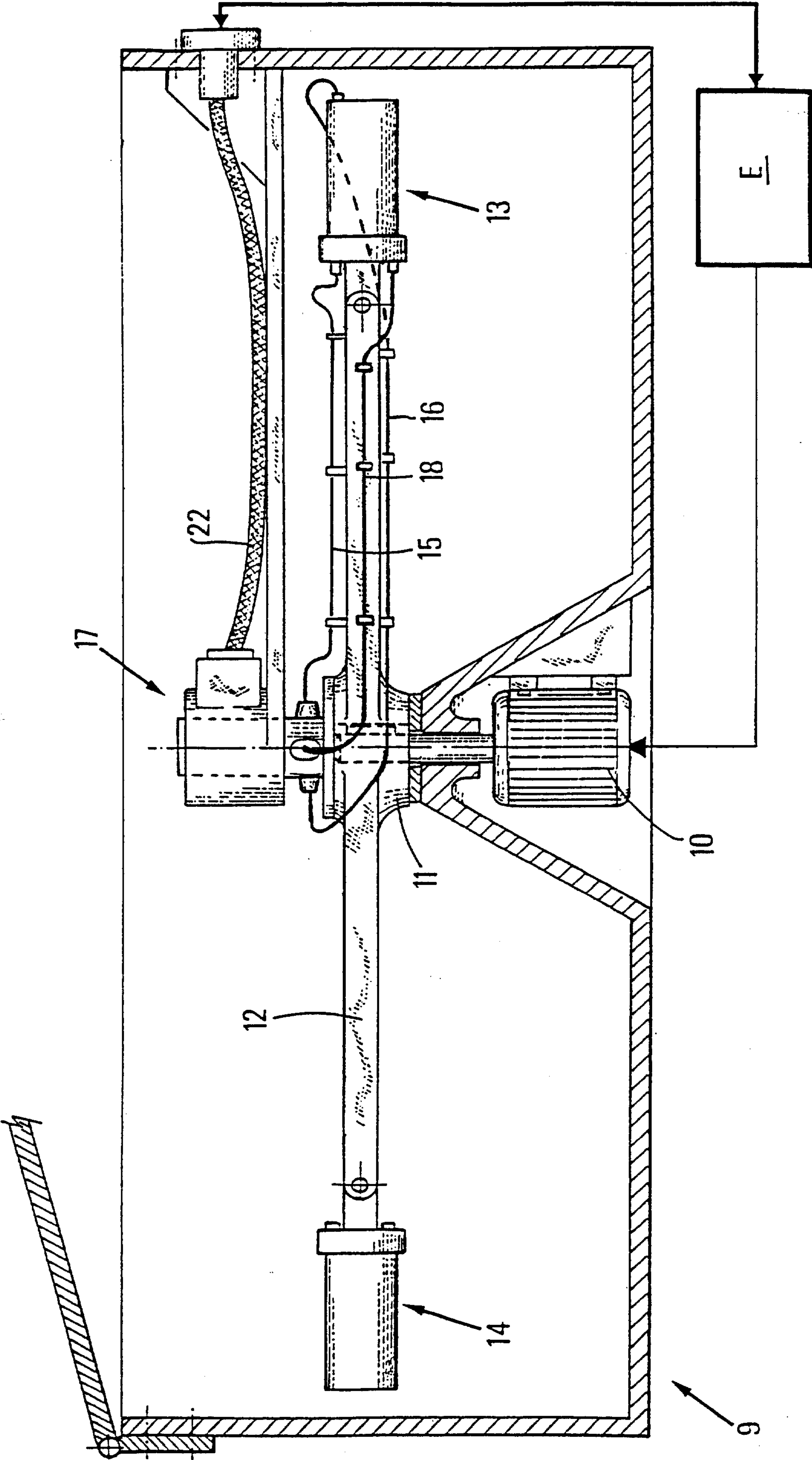


FIG.1

FIG.2

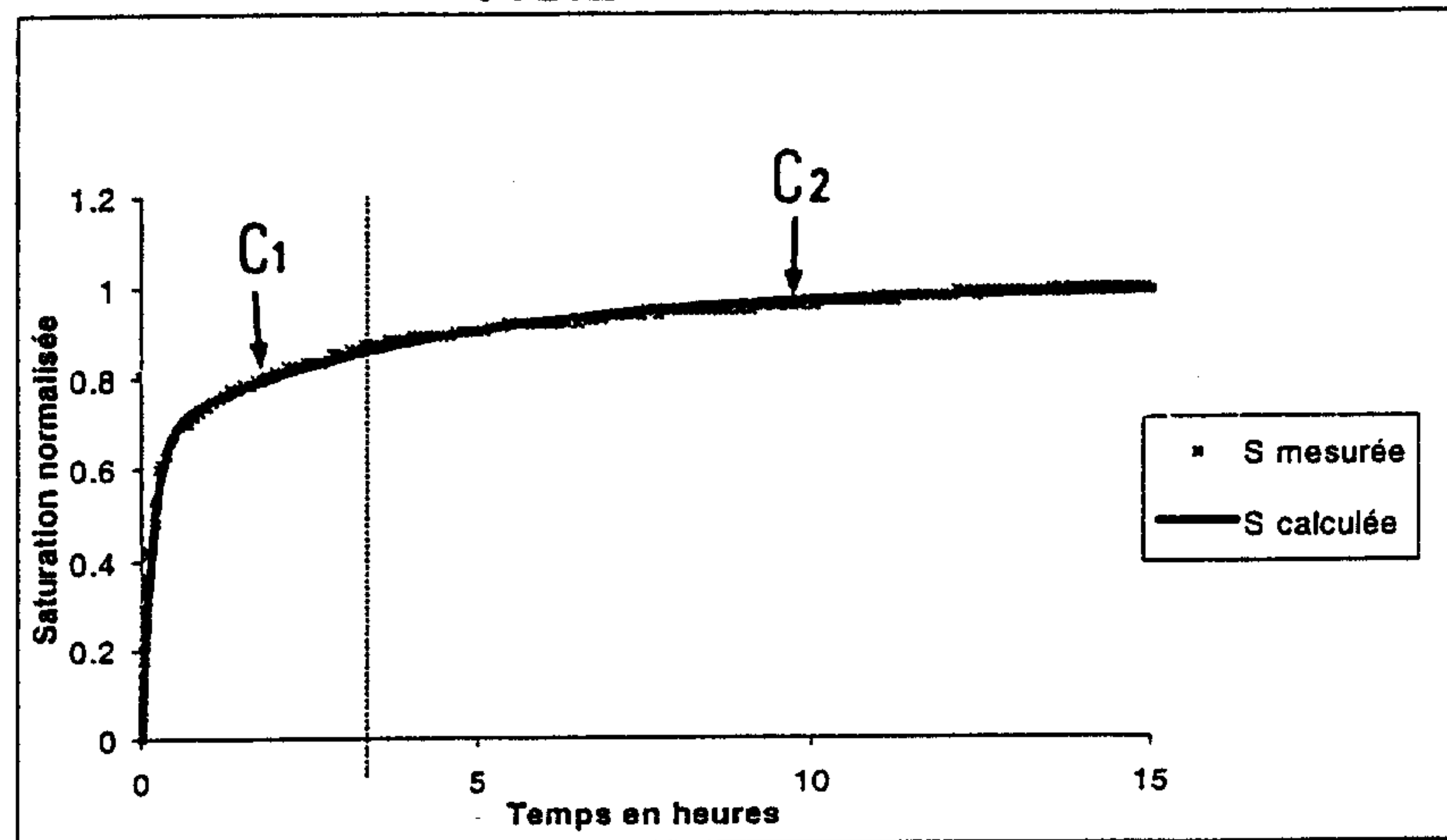


FIG.3

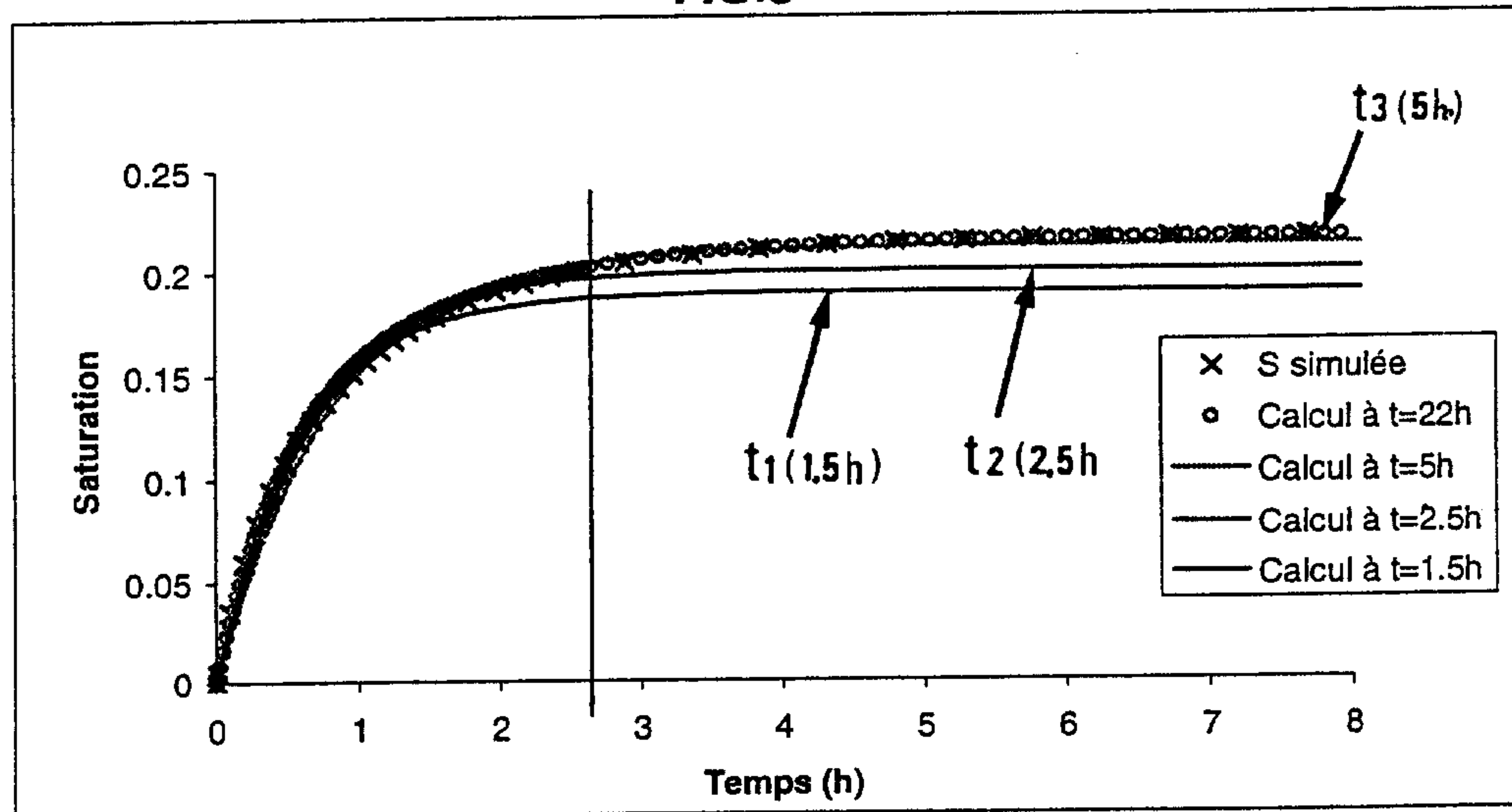


FIG.4A

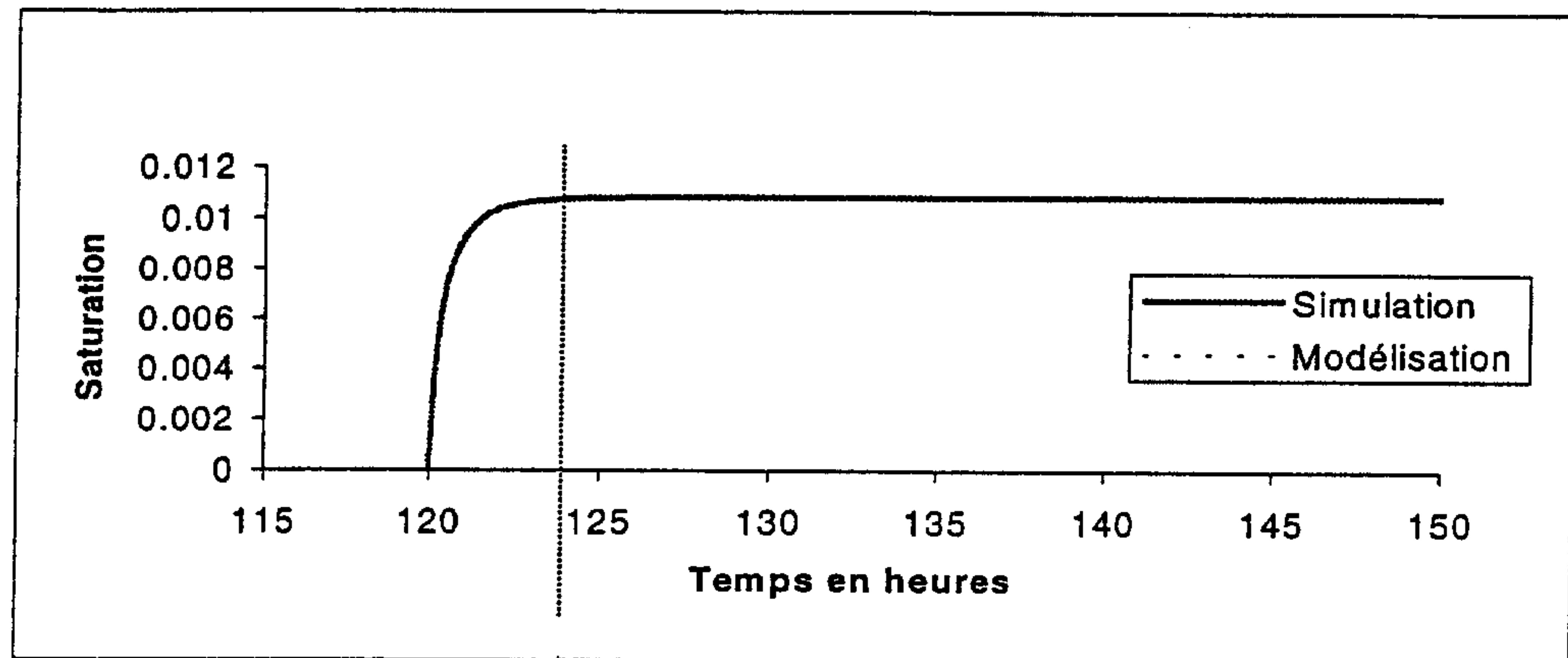


FIG.4B

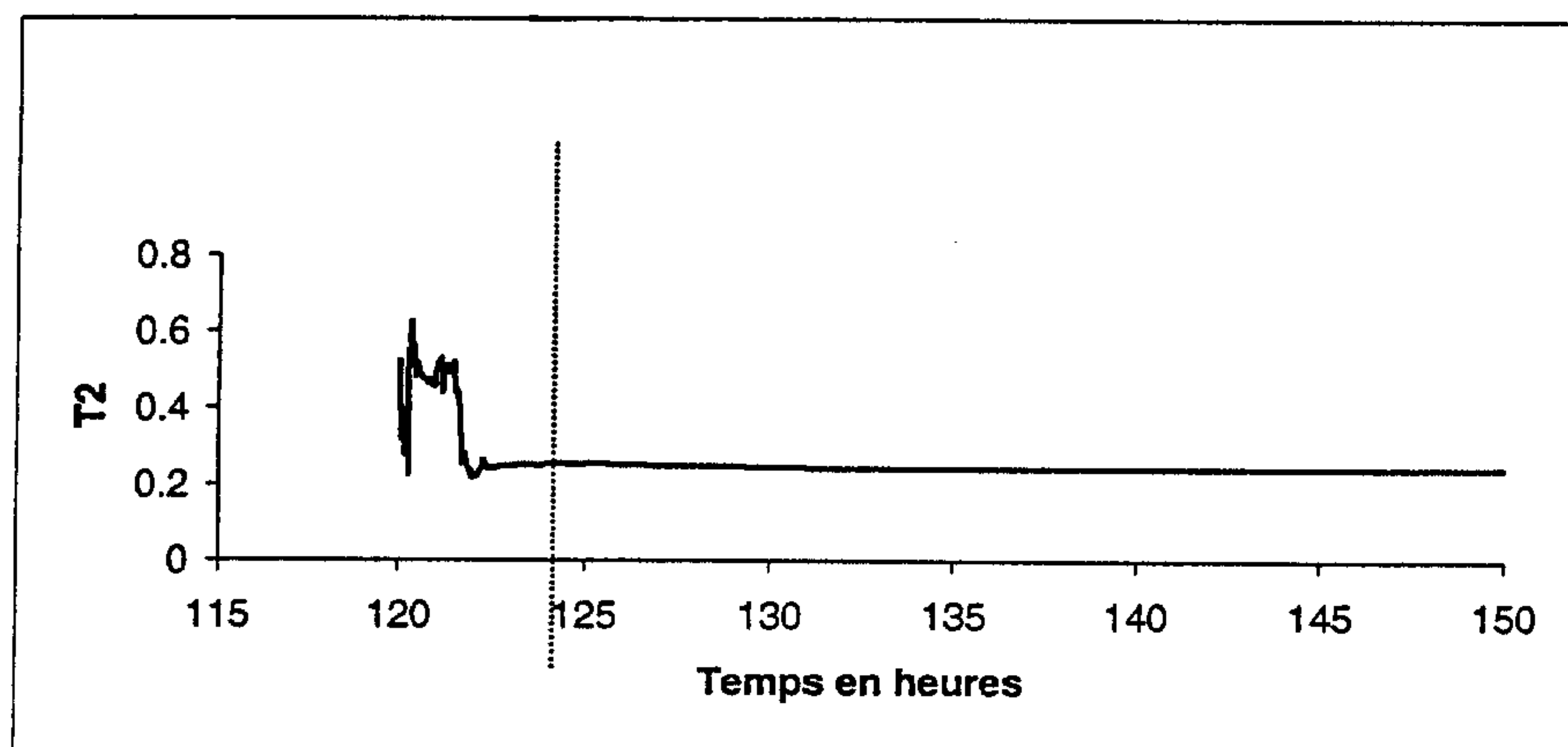


FIG.4C

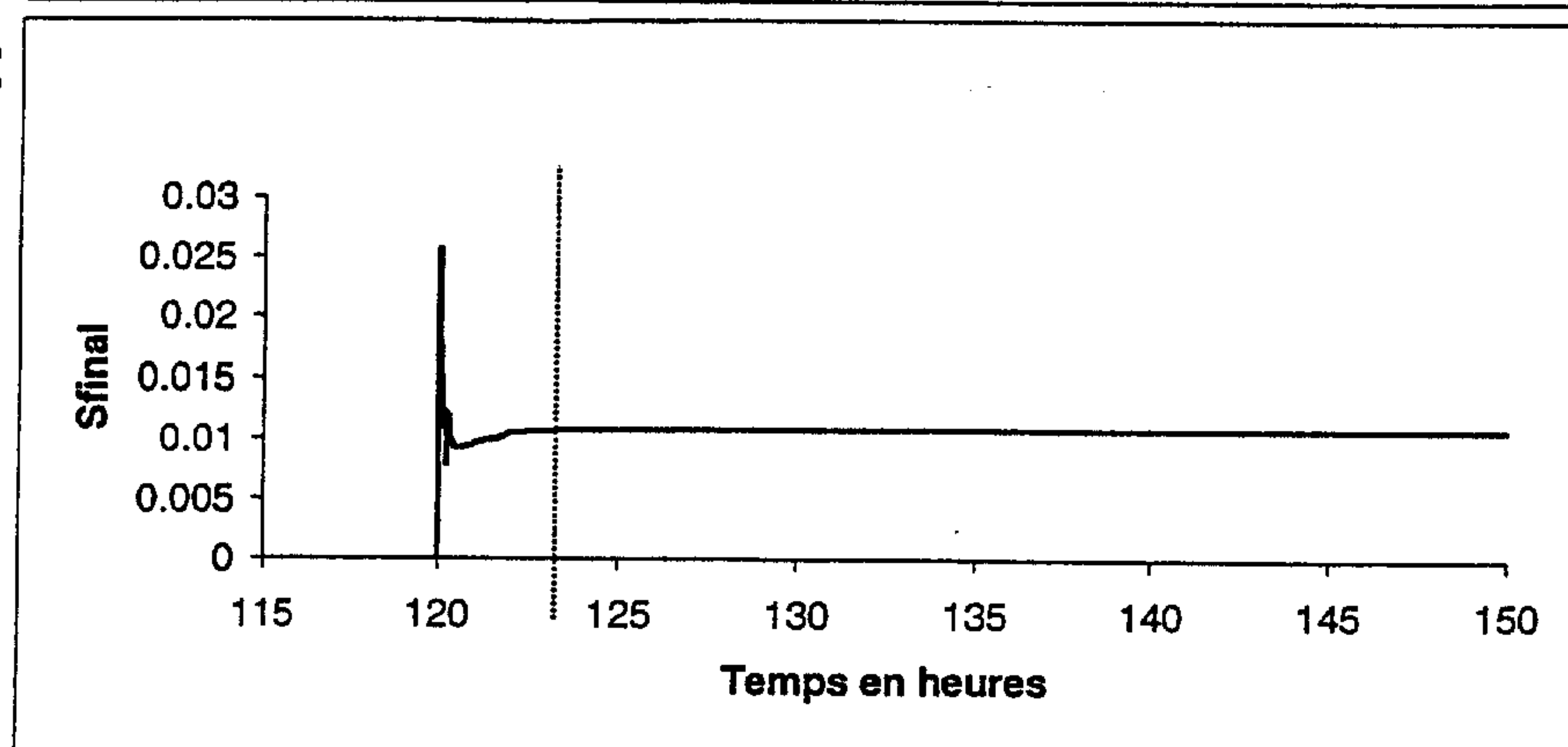


FIG.5

Temps (h)	101.6	122.04	123	124.56	150.24
T_2 (h^{-1})		0.21752	0.24931	0.25233	0.24255
Sfinal		0.01064	0.01074	0.01080	0.01084
Erreur sur T_2 (%)		10.44248	2.64543	3.88978	0.13713
Erreur sur Sfinal (%)		1.78773	0.92107	0.40525	0.00972

FIG.7

Temps (h)	3.07806	3.57805556	5.15722	5.84111
T_2 (h^{-1})	1.45842	1.81289	1.55651	1.60005
Sfinal	0.97379	1.00749	0.99701	1.00092
Erreur sur T_2 (%)	8.85142	13.3027	2.72111	0.00000
Erreur sur Sfinal (%)	2.71030	0.65730	0.39043	0.00000

FIG.6A

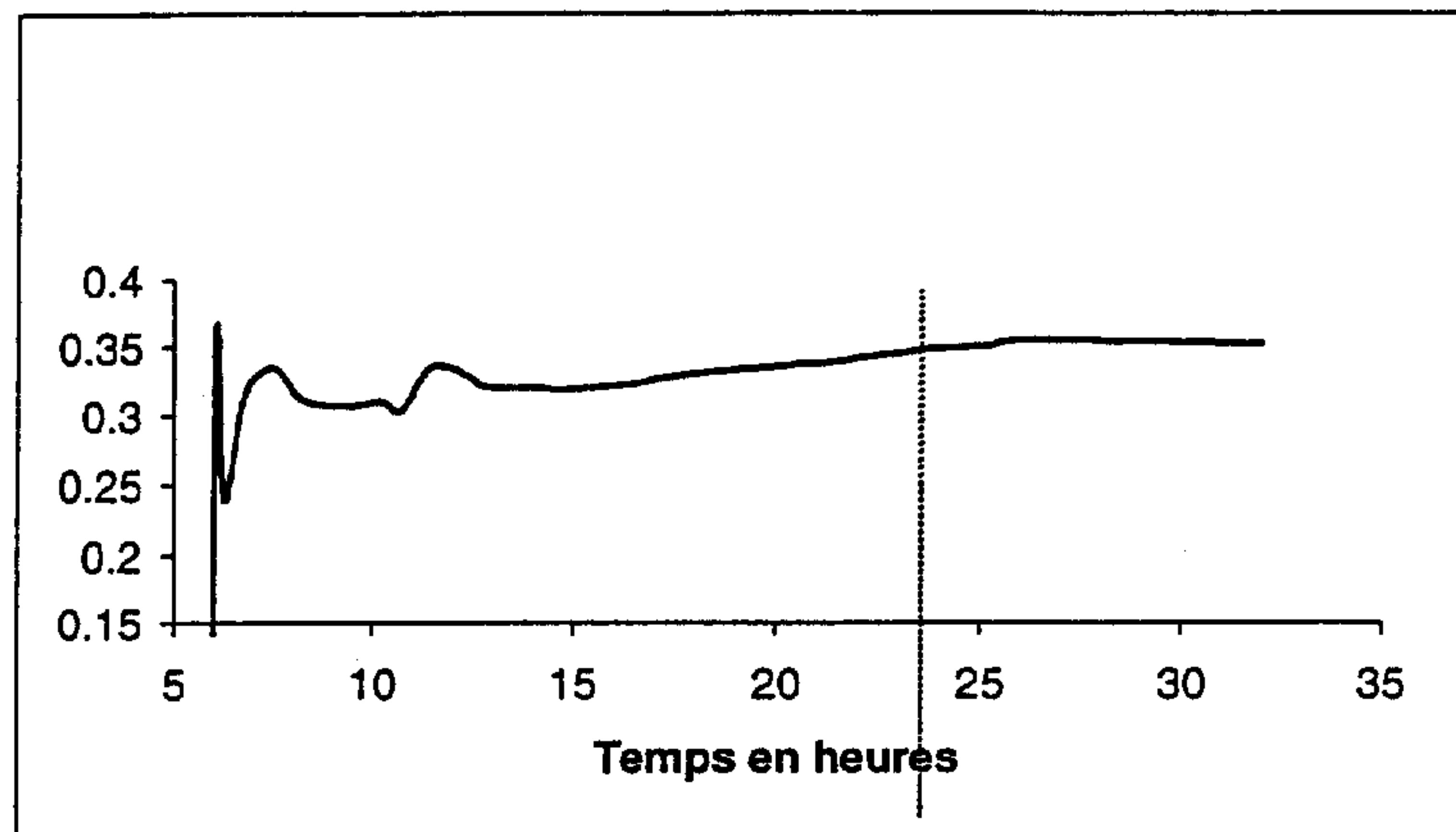


FIG.6B

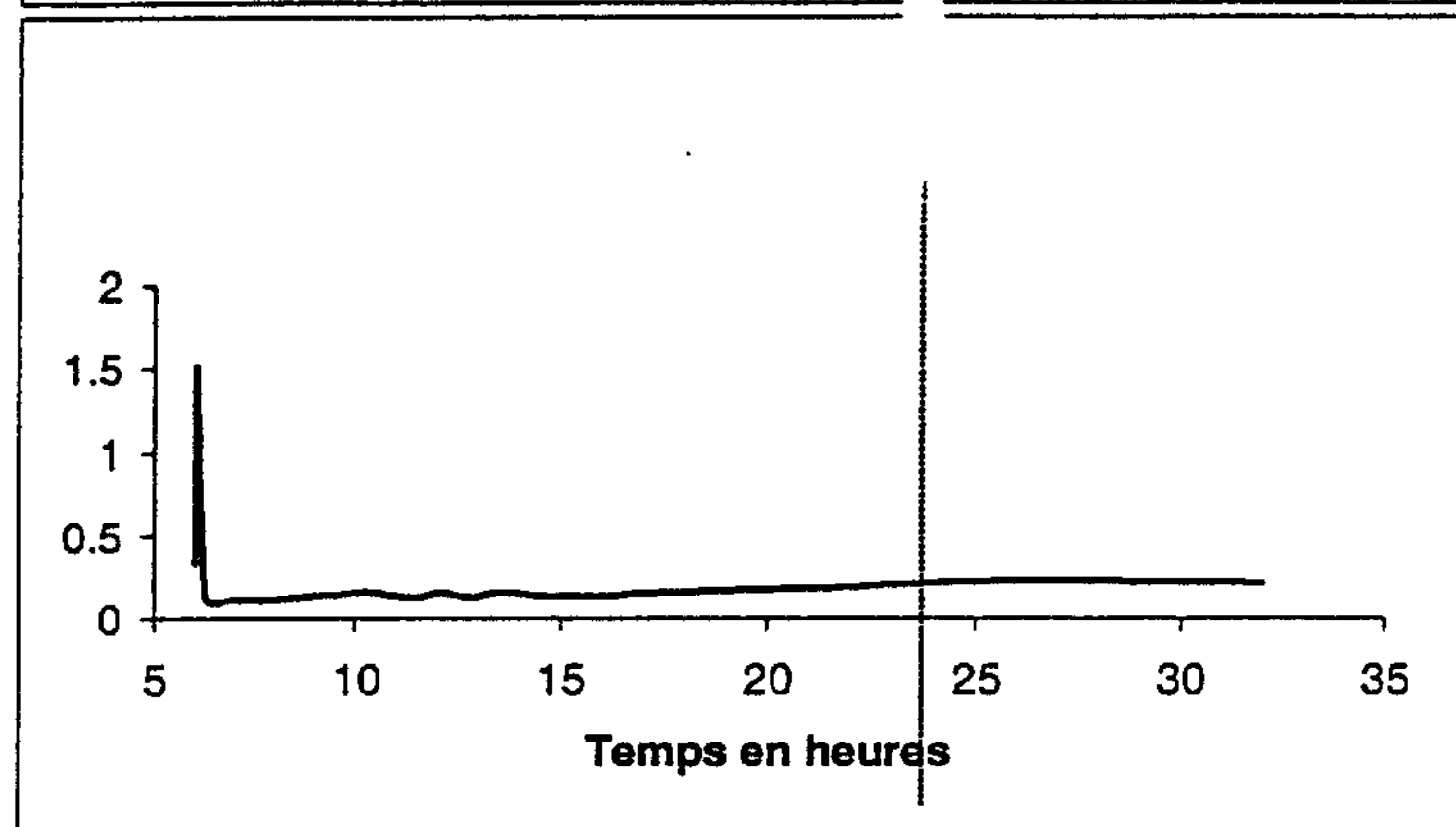


FIG.6C

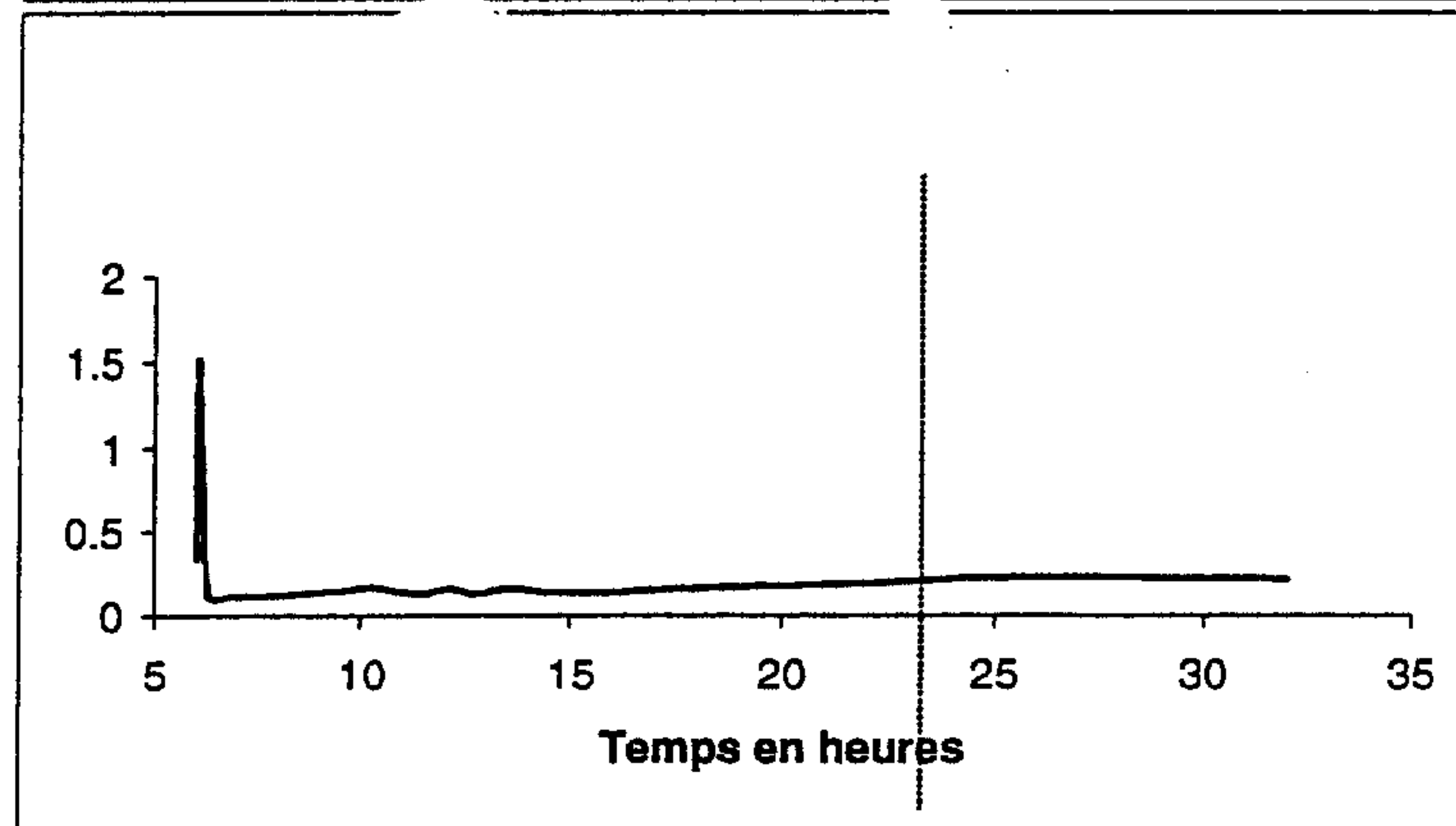


FIG.6D

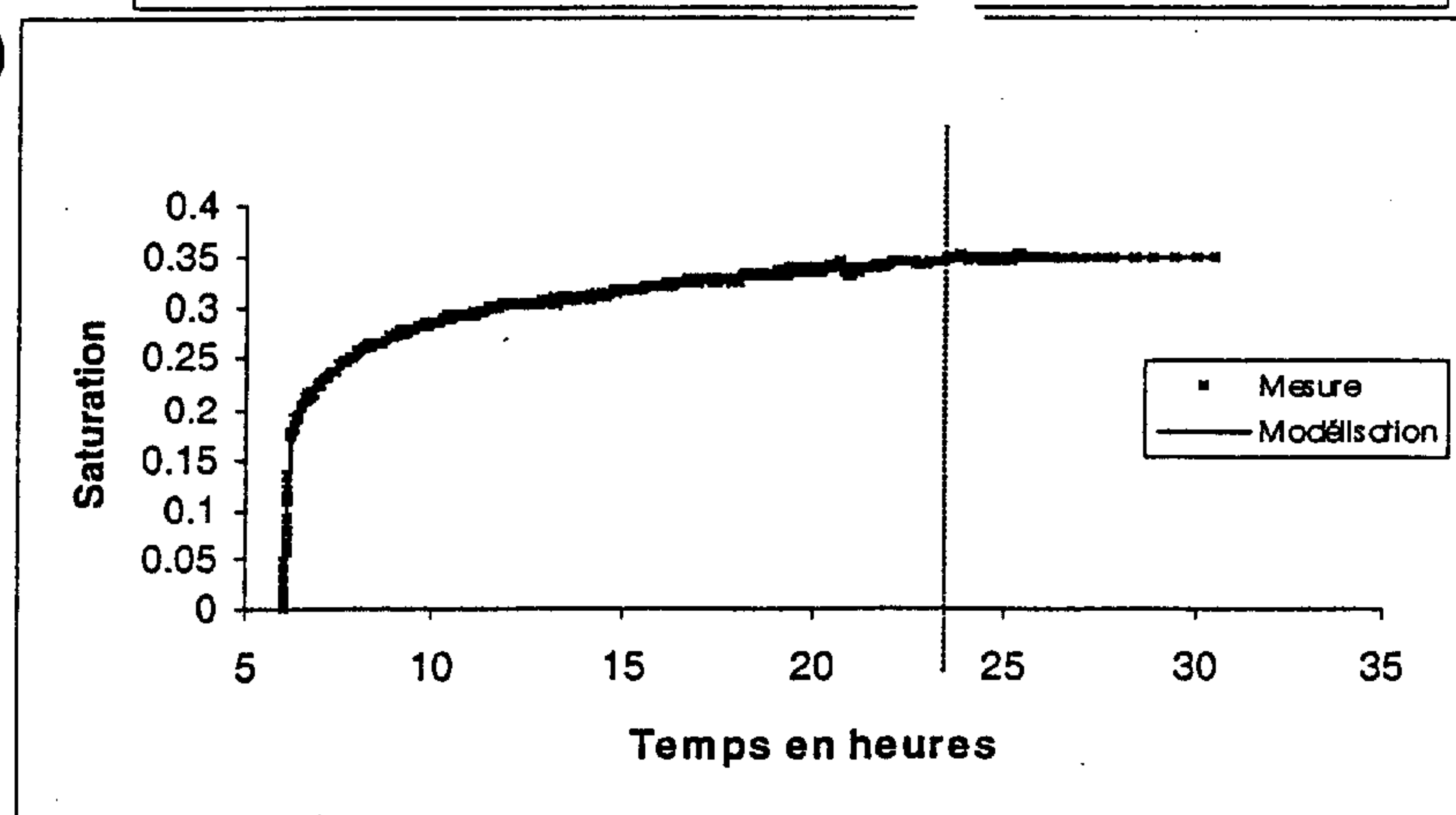


FIG.11

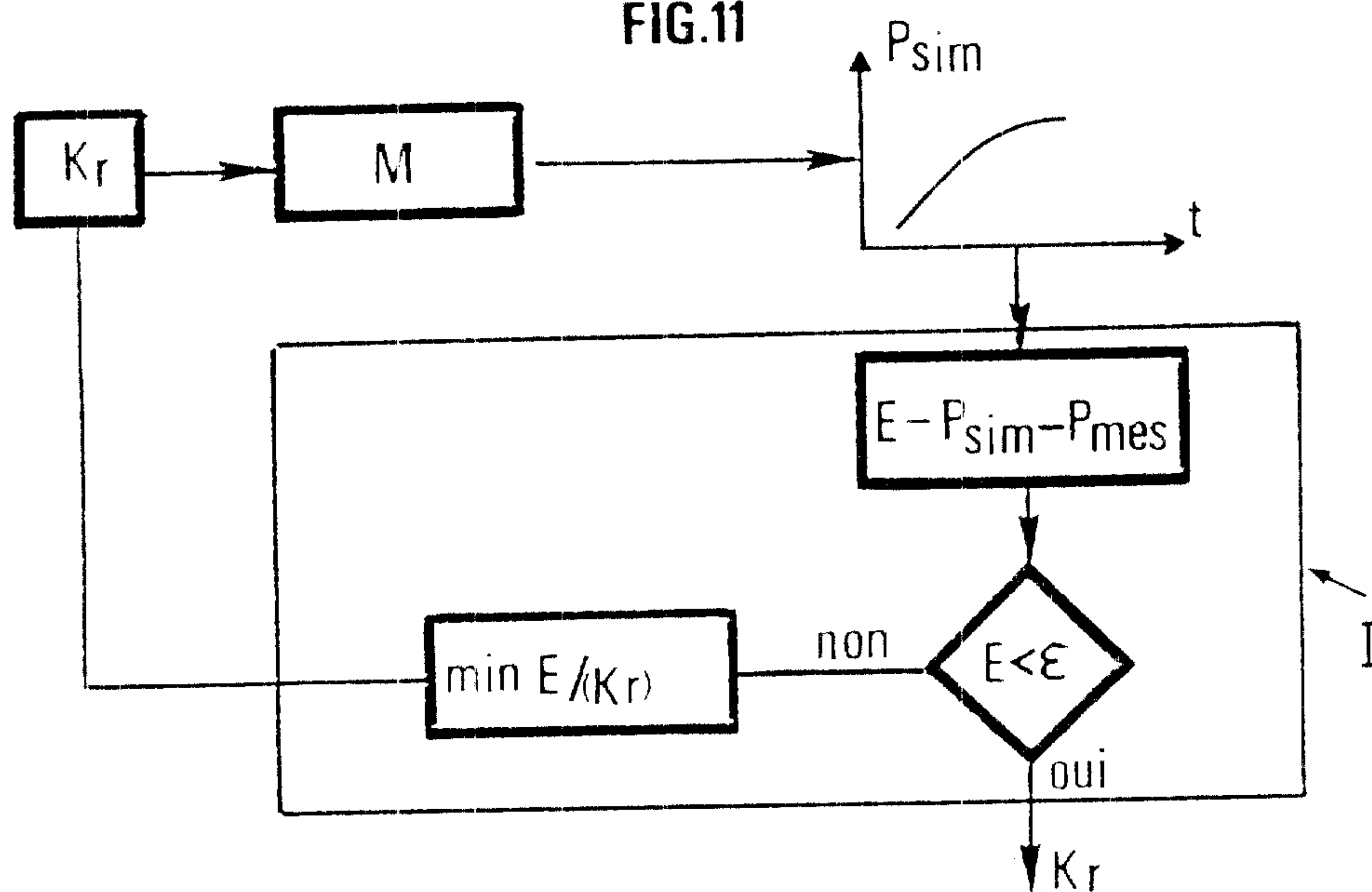


FIG.8A

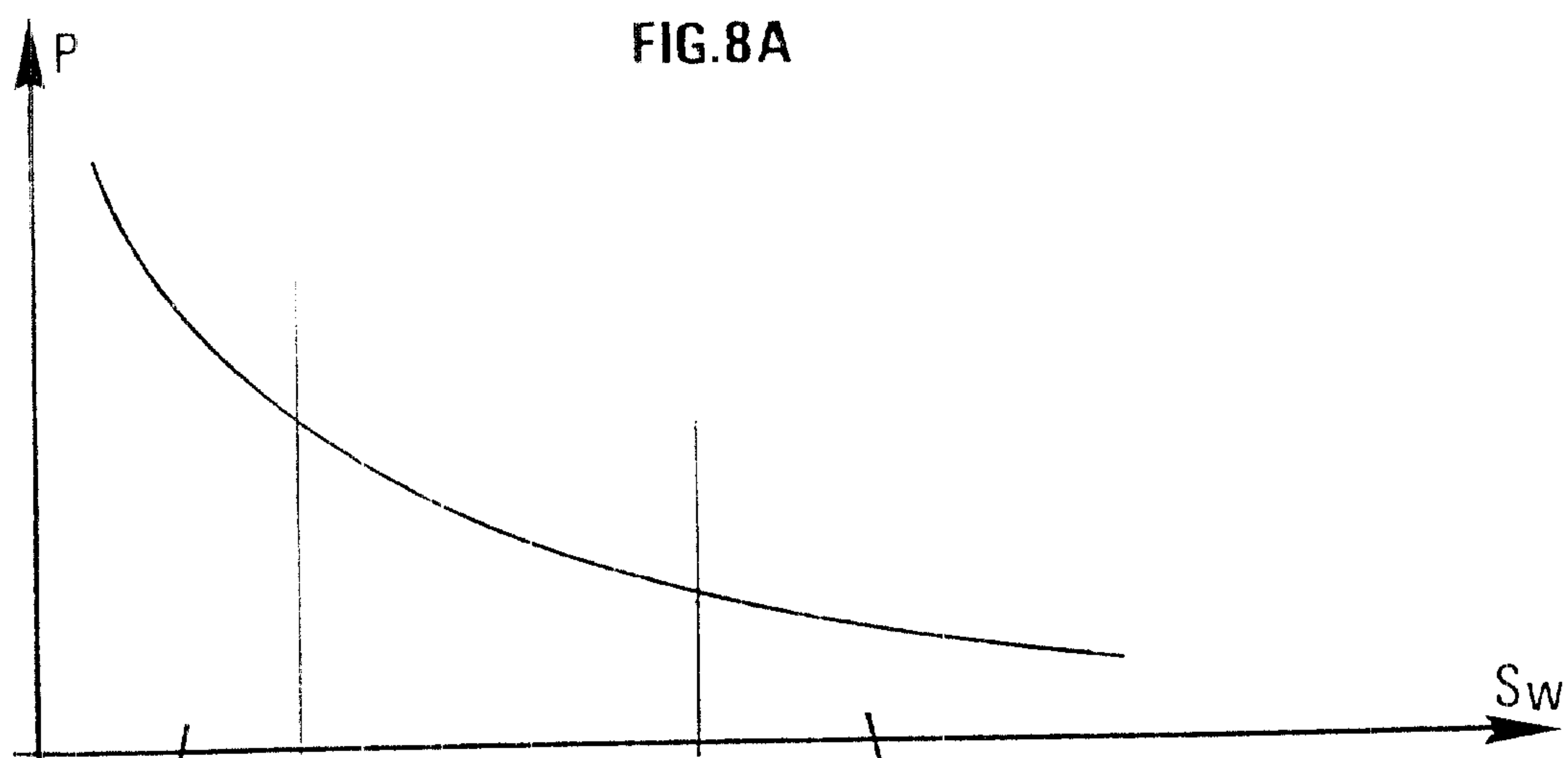


FIG.8B

FIG.8C

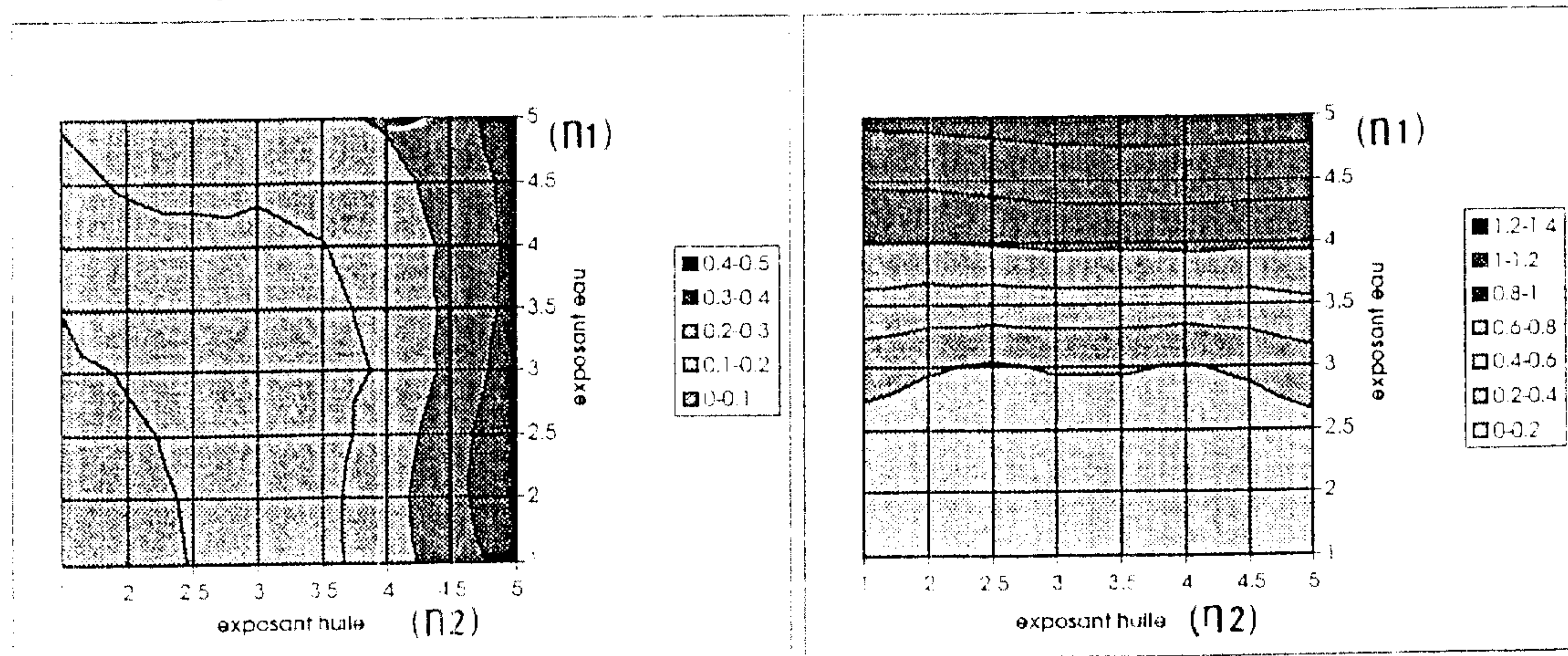


FIG.9

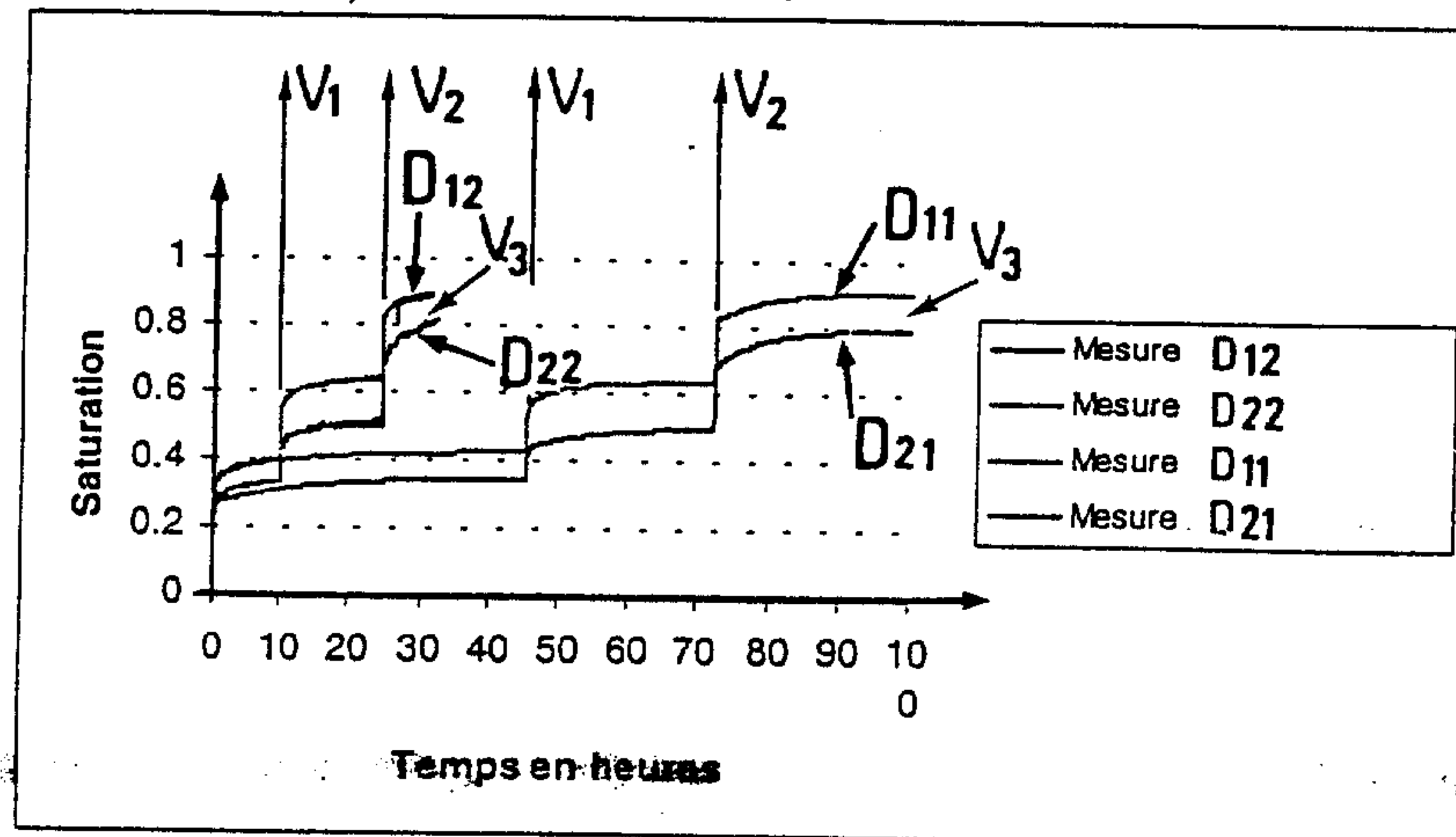


FIG.10

		Drainage classique		Drainage rapide		Erreur (%)	
		1	2	1	2	1	2
V ₁	S _{final}	0.345	0.424	0.331	0.401	4.03	5.51
	Durée	45		10		Gain de 78 %	
	Précision	2.586E-05	1.711E-05	1.404E-06	1.761E-06		
V ₂	S _{final}	0.502	0.632	0.508	0.636	1.10	0.64
	Durée	25		15		Gain de 40 %	
	Précision	5.193E-06	3.481E-06	1.341E-05	1.403E-05		
V ₃	S _{final}	0.795	0.908	0.827	0.897	3.95	1.23
	Durée	25		6		Gain de 75 %	
	Précision	1.535E-05	7.565E-06	1.628E-06	3.767E-07		

