

NOTE TECHNIQUE

LA PRÉCISION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE AVEC L'HUMIDIMÈTRE SOLO 25 DÉFINITION DES PROTOCOLES DE MESURE

R. POSS

Laboratoire de Pédologie (UR 212)
Centre ORSTOM B.P. 375 LOME TOGO

13 MAI 1986

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 21 019

Cote : B. 21.019 156

Mots clés:

Sonde à neutrons, protocoles de mesure, dérive électronique.

Résumé

Au cours d'une phase de chauffe pouvant durer plusieurs centaines de mesures les comptages neutroniques sont affectés d'une dérive électronique atteignant 3 % en valeur relative, ce qui nécessite des corrections en fonction des valeurs du point eau.

L'étude de la précision de différents protocoles de mesure montre qu'il n'est pas légitime d'éliminer des comptages apparemment aberrants. La valeur retenue doit être la moyenne de comptages successifs effectués au même niveau. L'erreur relative sur le résultat est évaluée, en fonction des lois de probabilité que suivent les comptages, pour les deux temps de comptage et suivant le nombre de répétitions.

Summary

PRECISION OF THE NEUTRONIC COUNT WITH THE NEUTRON MOISTURE METER SOLO 25

During a warming up period that can last for several hundred measurements, the neutronic counts are affected by an electronic drift reaching up to 3 % in relative value, which makes corrections necessary according to the results of the measurements in the water.

The study of the precision of different methods of measurement shows it's not right to eliminate seemingly aberrant counts. The result to be kept should be the average of successive counts carried out at the same level. The relative error on the result is evaluated according to the laws of probability counts obey to -for the two periods of counting and according to the number of repetitions.

Introduction

L'interprétation des résultats obtenus à l'aide des humidimètres à neutrons se heurte à deux types de difficultés : la représentativité du site d'implantation et la précision des mesures. Celle-ci dépend de trois facteurs, dont les erreurs se cumulent. Les deux principaux sont les délicats problèmes d'étalement et du nombre de sites, qui ont déjà fait l'objet d'une volumineuse bibliographie (dont les textes récents de GREACEN, 1981, et de VAUCLIN et al., 1983) et sur lesquels nous ne reviendrons pas. L'autre facteur est la précision du comptage neutronique lui-même, qui est lié aux paramètres de la loi de Poisson que suit le nombre de neutrons ralentis et à la précision de l'appareillage électronique. C'est ce dernier facteur qui sera étudié ici, afin de proposer différents protocoles adaptés à l'erreur relative souhaitée sur le comptage.

1. PROTOCOLE

L'expérimentation a été réalisée à l'aide d'un humidimètre SOLO 25 équipé de batteries solaires et d'une source Am/Be de 40 mCi. Les mesures ont été effectuées dans des tubes en PVC (fourreau téléphonique), ce qui, par rapport aux tubes en aluminium, diminue le nombre de neutrons comptés d'environ 15 % et augmente le bruit de fond (ISBERIE et al., 1978). Les mesures ayant été faites sans modification de niveau, d'éventuelles modifications de l'épaisseur du PVC n'interviennent pas sur les résultats.

Elles ont été effectuées dans l'eau et dans le sol, à l'aide d'un humidimètre n'ayant pas, dans chacun des deux cas, fonctionné depuis 24 heures, afin d'étudier l'évolution du comptage lors de la chauffe de l'appareil.

Dans l'eau le tube était situé au centre d'un bassin de 2 mètres cubes et les mesures effectuées à 40 cm du fond. Quatre séries de 150 mesures ont été réalisées successivement et sans aucun arrêt de l'appareil :

- 2 séries de mesures en temps court (16 s) : TC1 et TC2
- 2 séries de mesures en temps long (34 s) : TL1 et TL2

Dans le sol les mesures ont été effectuées à 1 mètre de profondeur, à un niveau d'humidité moyenne (taux de comptage de 345) et constante sur plusieurs décimètres, le sol étant lui-même d'une grande homogénéité ("terres de Barre", Continental Terminal). La journée de mesure faisait suite à plus d'une semaine sans pluie, ce qui rend négligeable la variation d'humidité. Cinq séries de mesures ont été effectuées avec le même protocole que dans l'eau :

- 2 séries de mesures en temps long : TL3 et TL4
- 2 séries de mesures en temps court : TC3 et TC4
- 1 série de mesure en temps long : TL5

Enfin quarante mesures réalisées dans l'eau pendant quatre jours consécutifs ont été relevées au cours de la chauffe de l'appareil, afin d'étudier plus précisément cette phase.

Tous les résultats ont été dépouillés sur micro-ordinateur Apple Iie.

2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

2.1. Mise en évidence d'une dérive électronique

A la mise sous tension de l'appareil les deux premières mesures sont à rejeter : le premier comptage indique zéro et le deuxième une valeur très inférieure aux suivantes. Les résultats obtenus lors des 298 mesures suivantes dans l'eau ont été reportés figures 1a et 1b (le logiciel graphique ne permet de traiter que des tableaux de 150 lignes).

La dispersion liée au comptage lui-même masque tous les autres phénomènes. C'est pourquoi la courbe a été lissée (fig. 2a et 2b*) en calculant les moyennes glissantes sur 20 valeurs consécutives, ce qui fait apparaître une dérive liée à la chauffe de l'appareil, systématique à la mise sous tension, avant de parvenir à un palier (fig. 3).

Cette dérive est une augmentation irrégulière des comptages, qui se produit aussi bien dans l'eau que dans le sol, la valeur stabilisée étant supérieure d'environ 3 % à la moyenne glissante la plus basse. Etant plus rapide dans l'eau (300 mesures en temps court) que dans le sol (300 mesures en temps long suivies de 150 mesures en temps court), la stabilisation est probablement fonction du nombre total de neutrons comptés, le phénomène de dérive provenant donc de l'appareillage de détection.

Comme le temps nécessaire à la stabilisation (une heure et quart dans l'eau) interdit de chauffer l'appareil avant utilisation et que l'erreur n'est pas négligeable, il est nécessaire d'effectuer une correction. Celle-ci ne peut s'effectuer qu'en fonction des valeurs du point eau, seule valeur de référence. Cette correction est possible car la dérive est la même dans l'eau et dans le sol. C'est pourquoi nous préconisons d'encadrer chaque série de mesures dans le sol par des mesures dans l'eau, selon un protocole qui sera examiné en 2.3.

* Le non raccordement des courbes provient de la méthode de calcul : la dernière valeur du premier graphe est la moyenne des valeurs 130 à 150, la première valeur du deuxième celle des valeurs 150 à 170.

2.2. Précision des mesures en temps long et en temps court

Pour comparer les mesures réalisées en temps long et en temps court nous avons étudié deux séries consécutives (IC4 et IL5) relevées après stabilisation de l'appareil.

Pour chaque série nous avons calculé la répartition des fréquences des erreurs par rapport à la moyenne dans deux cas, selon que la valeur retenue est la valeur mesurée (VAL) ou qu'elle est la moyenne de deux mesures consécutives (M2). Dans chaque cas, et pour chacune des 150 valeurs, le pourcentage d'erreur entre la valeur choisie et la moyenne a été calculé, ce qui a permis d'établir la fonction de répartition des fréquences des erreurs. Les quatre fonctions de répartition ont été reportées sur la figure 4.

Elles permettent de déduire immédiatement, avec un taux de comptage de 345, l'erreur relative commise aux différents seuils de probabilité. Par exemple, si la valeur mesurée en temps court est retenue comme résultat :

- dans 50 % des cas elle diffère de la moyenne de 1,1 %,
- dans 10 % des cas elle diffère de la moyenne de 3,3 %,
- dans 5 % des cas elle diffère de la moyenne de 4,0 %.

Pour ce comptage, qui représente une humidité moyenne, la précision au seuil de 95 % est donc de 4,0 % en temps court et de 1,5 % en temps long. Nous verrons en 2.3 quelle est l'augmentation de la précision avec l'augmentation de l'humidité.

Il apparaît clairement que la précision obtenue en effectuant une seule mesure en temps long est meilleure qu'en prenant la moyenne de deux mesures consécutives en temps court. C'est une conséquence logique des temps de comptage : il est quatre fois plus élevé en temps long qu'en temps court. Il faudrait quatre mesures en temps court pour parvenir à la précision obtenue avec une seule mesure en temps long. Or, dans le cas de la sonde SOLO 25 équipée d'une source de 40 mCi le temps total de mesure en temps long (34 s) est environ le double du temps de mesure en temps court (16 s)* : il est donc inutile de multiplier les mesures en temps court. Avec cette source les mesures en temps court doivent être réservées à l'étude des cinétiques rapides pour lesquelles la précision importe peu et il n'est jamais justifiable de multiplier les mesures en temps court. Avec une source de 9 mCi, par contre, le constructeur indique que la précision des mesures est la même qu'avec la source de 40 mCi, mais le temps de mesure pour aboutir à la même précision est multiplié par quatre entre les deux types de comptage. Il peut alors être justifié, en fonction de la précision souhaitée, de prendre la moyenne de deux, voire trois mesures consécutives en temps court : pour un taux de comptage de 345, au seuil de 95 %, l'erreur relative passe de 4 % avec une seule mesure à 2,7 % avec deux mesures.

* Le temps total de mesure comprend une phase d'initialisation de l'électronique suivie de la phase de comptage : c'est pourquoi pour un temps de comptage multiplié par quatre en temps long le temps total de mesure n'est multiplié que par deux environ par rapport au temps court.

2.3. Comparaison de la précision obtenue en fonction de différents protocoles

Nous nous proposons de comparer les différents protocoles utilisés par les chercheurs pour augmenter la précision de leurs mesures :

- prendre la moyenne de deux valeurs consécutives, que nous appellerons "M2",
- faire deux mesures consécutives et calculer la différence. Si elle est inférieure à 1 % des valeurs obtenues, prendre la moyenne des deux ; sinon effectuer une troisième mesure et faire la moyenne des deux valeurs les plus proches (méthode "évaluation"). Nous étudierons également une variante de cette méthode reposant sur un test statistique,
- faire deux mesures consécutives et calculer la différence. Si elle est inférieure à 1 % de la valeur mesurée, prendre la moyenne de ces mesures. Sinon effectuer une troisième mesure et prendre la moyenne des trois (méthode "M2-3"),
- prendre la moyenne de trois valeurs consécutives (méthode "M3").

La comparaison entre la moyenne de deux valeurs et l'évaluation a tout d'abord été réalisée à partir des résultats obtenus dans l'eau (TL2) et dans le sol (TL5). Les courbes des fonctions de répartition de l'erreur relative ont été reportées figures 5 et 6.

Ces courbes font apparaître que la moyenne fournit une meilleure précision que l'évaluation dans tous les cas. Ce résultat expérimental est en accord avec la théorie. En effet, comme beaucoup de mesures faisant intervenir la radioactivité, le nombre de neutrons thermalisés suit une loi de Poisson. Mais comme ce nombre est élevé la loi de Poisson est assimilable à une loi normale. Par ailleurs le nombre N lu sur la sonde est égal au dixième ou au quarantième du nombre de neutrons comptés, suivant le temps de comptage choisi. Etant une fonction linéaire d'une variable suivant une loi normale, ce nombre suit également une loi normale dont la variance V dépend du temps de comptage :

- en temps court $V = \sigma^2 = N/10$
- en temps long $V = \sigma^2 = N/40$

La recherche de valeurs aberrantes peut donc reposer sur le "test de l'étendue" (CEA, 1978) applicable aux lois normales dont la variance est connue. Selon ce test, au seuil de probabilité de 95 %, l'une au moins des valeurs est aberrante si la différence entre les deux est supérieure à 2,77 fois l'écart-type. Pour les mesures dont les résultats figurent en annexe, l'écart-type est de 5,9 en temps court et de 2,9 en temps long. De deux valeurs consécutives l'une peut donc être considérée comme aberrante au seuil 95 % si la différence est strictement supérieure à 16 en temps court et 8 en temps long, soit respectivement 4,6 et 2,3 %

en valeur relative. En appliquant ce test aux 300 mesures, il apparaît qu'une troisième mesure doit être réalisée dans 5,3 à 8,8 % des cas selon le choix des paires, valeurs très proches du seuil de probabilité fixé. De plus les calculs montrent que la précision obtenue en éliminant la valeur la plus éloignée n'est pas meilleure que celle provenant de la moyenne de deux premières : il n'apparaît pas de valeurs aberrantes lors du comptage et les écarts constatés ne sont dus qu'à la dispersion statistique. Il n'y a donc pas lieu de supprimer des valeurs, et l'utilisation de cette méthode est à proscrire, surtout si elle est mal employée (méthode "évaluation"). En effet le choix d'un écart constant au-dessus duquel une troisième mesure doit être réalisée (souvent 1 % en valeur relative) conduit à rejeter de nombreuses valeurs acceptables et introduit un biais diminuant la précision (cf. fig. 5 et 6).

Cependant la précision est améliorée lorsque le nombre de mesures augmente : si l'écart entre deux valeurs est jugé excessif, une troisième mesure peut être réalisée, mais il convient de retenir comme résultat la moyenne des trois mesures. L'amélioration de la précision obtenue par rapport à la moyenne de deux valeurs en utilisant la méthode "M2-3" a donc été étudiée à partir des mêmes séries de mesure (fig. 7 et 8).

Cette méthode procure une amélioration de précision surtout sensible aux seuils de probabilité élevés. Elle ne dépasse toutefois pas le millième en valeur relative, valeur très faible par rapport aux autres sources d'erreur. Par contre la moyenne de trois valeurs consécutives apporte une amélioration de la précision de l'ordre de trois pour mille par rapport à "M2" ; cette méthode doit donc être retenue pour des mesures pour lesquelles la précision est le facteur principal. Nous préconisons de la réserver à la mesure des points eau en début et en fin de chaque série de mesures : la précision au seuil de 95 % est alors de 0,5 %.

2.4. Généralisation à l'ensemble de la gamme des valeurs

Etant donnée la méthode de mesure, la précision est d'autant meilleure que le nombre d'impulsions est plus élevé, donc que le sol est plus humide.

C'est cette précision qui va être étudiée, en fonction des différents protocoles de mesure, pour l'ensemble de la gamme des valeurs. Cette généralisation repose sur une propriété des lois normales : au seuil de probabilité de 95 % la distance à la moyenne reste inférieure à deux fois l'écart type (T). En n'effectuant qu'une mesure, l'erreur relative au seuil 95 % est donc :

- en temps court $E1 = 2\sigma \times 100 / N = 200 / (10 N)^{0,5}$
- en temps long $E2 = 200 / (40 N)^{0,5}$

Prendre la moyenne de deux ou trois valeurs diminue l'erreur relative d'un facteur $1/2^{0,5}$ ou $1/3^{0,5}$. La précision du comptage en fonction des quatre principaux protocoles de mesure a été reportée figure 9.

La correspondance entre la théorie et les mesures réelles peut être vérifiée pour les taux de comptage de 345 et de 878 en utilisant les fonctions de répartition représentées figures 4, 5, 7 et 8 (tableau 2). La correspondance est excellente pour les mesures en temps long. Elle est moins bonne dans le cas où une seule mesure en temps court est réalisée, ce qui est probablement lié à l'étalement de la fonction de répartition pour les fréquences élevées, qui diminue la précision.

L'accroissement de l'erreur relative pour les faibles taux de comptage est importante : elle augmente de près de 50 % entre 400 et 200. C'est pourquoi la définition de la précision minimale d'une série de mesures pourra s'effectuer en fonction des taux de comptages les plus faibles. En effectuant, par exemple, deux mesures en temps long dans un sol où le taux de comptage minimum est de 200, la précision sera au moins égale à 1,6 %.

Le gain de précision est surtout net entre 1 mesure en temps court et 1 mesure en temps long. Par contre effectuer trois mesures plutôt que deux n'augmente la précision que de moins de 0,3 % sur toute la gamme des valeurs.

CONCLUSION

La précision des comptages avec la sonde SOLO 25 est pénalisée par un phénomène de dérive électronique qui introduit une erreur pouvant atteindre 3 % en valeur relative. Cette dérive nécessite une correction en fonction du point eau, qu'il est souhaitable de réaliser avant et après chaque série de mesures. Pour obtenir une bonne précision, trois mesures successives dans l'eau sont conseillées.

En fonction de la précision désirée, la valeur retenue avec une source de 40 mCi peut être la valeur en temps court, la valeur en temps long ou la moyenne de deux ou trois valeurs successives en temps long. Il est en effet inutile de multiplier les mesures en temps court avec cette source, la précision de la moyenne de deux valeurs en temps court étant inférieure à celle d'une mesure en temps long, pour un temps de comptage sensiblement égal. Les méthodes faisant intervenir une troisième mesure si les deux premières sont éloignées d'une valeur jugée excessive n'introduisent pas d'amélioration sensible de la précision, quand elles ne la diminuent pas (méthode "évaluation"). Avec une source de 9 mCi, par contre, il peut être intéressant de prendre la moyenne de deux, voire trois mesures successives en temps court, étant donné la différence de temps de comptage entre temps court et temps long.

Remerciements :

L'auteur est vivement reconnaissant à J. CHARLES, grâce à qui les traitements informatiques ont pu être réalisés.

Bibliographie

CEA, 1978.- Statistique appliquée à l'exploitation des mesures.
Masson, t. 1, 275 p.

GREACEN (E.L.), 1981.- Soil water assesment by the neutron method.
CSIRO Australia, 140 p.

ISBERIE (C.), LOPEZ (P.), 1978.- Modification de l'étalonnage
d'une sonde gamma neutronique de profondeur en fonction
de la nature du tube de mesure. Comm. J. du GFHN,
2 p.

VAUCLIN (M.), HAVERKAMP (R.), VACHAUD (G.), 1983.- Analyse des
erreurs liées à l'utilisation de l'humidimètre neutronique.
Coll. Aix, AIEA - SM - 267/21 : 533-549.

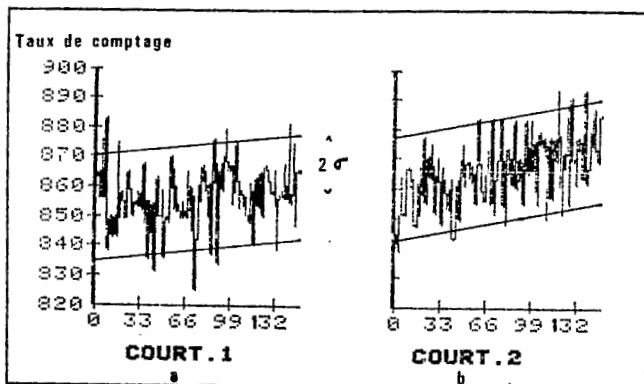


Figure 1: Résultats bruts de 300 comptages successifs dans l'eau

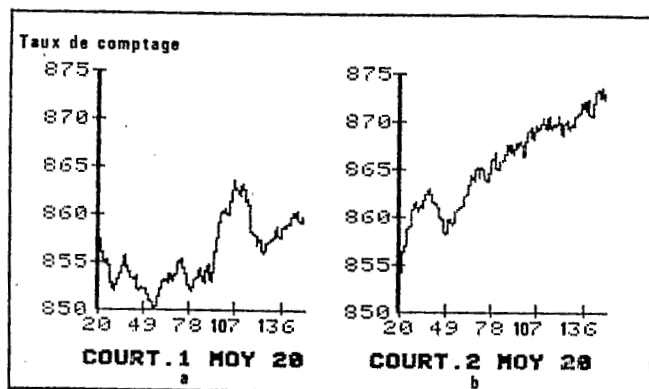


Figure 2: Moyenne glissante sur 20 valeurs (début)

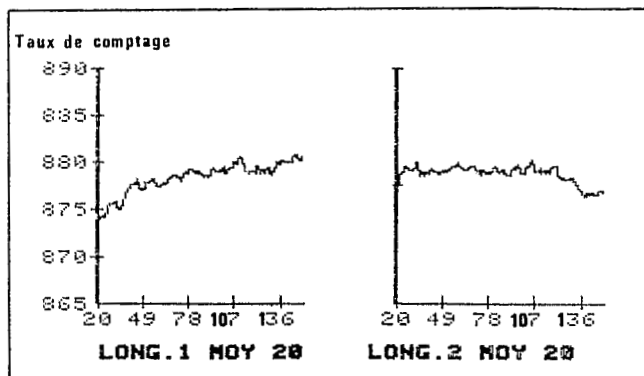


Figure 3: Moyenne glissante sur 20 valeurs (après stabilisation)

	Moyenne des mesures	Ecart-type des mesures	Ecart-type théorique
Temps court 4	345	6,6	5,9
Temps long 5	347	2,9	2,9

Tableau 1 : Moyennes et écarts type des mesures
TC4 et TL5.

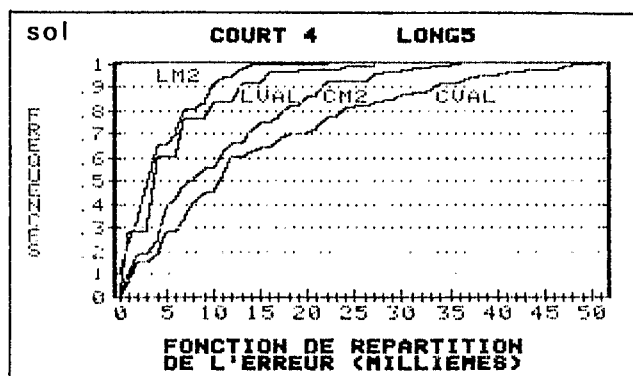


Figure 4

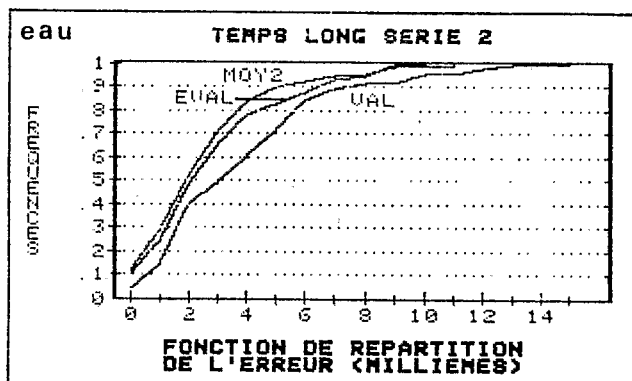


Figure 5

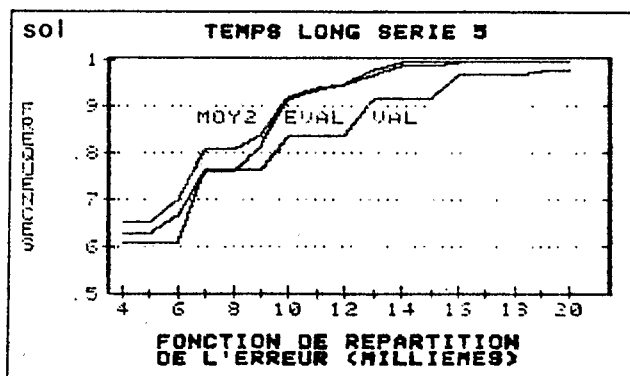


Figure 6

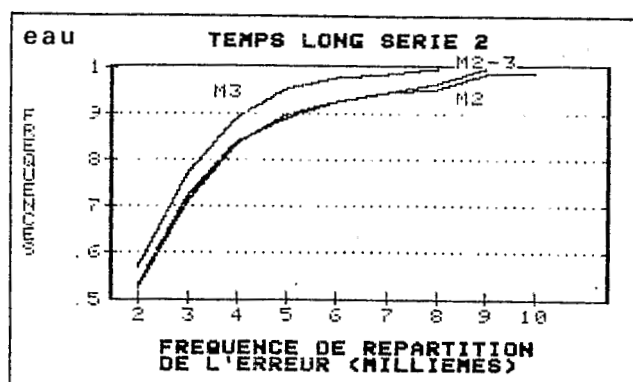


Figure 7

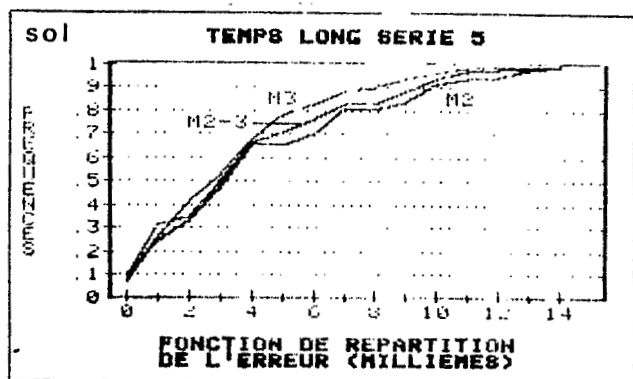


Figure 8

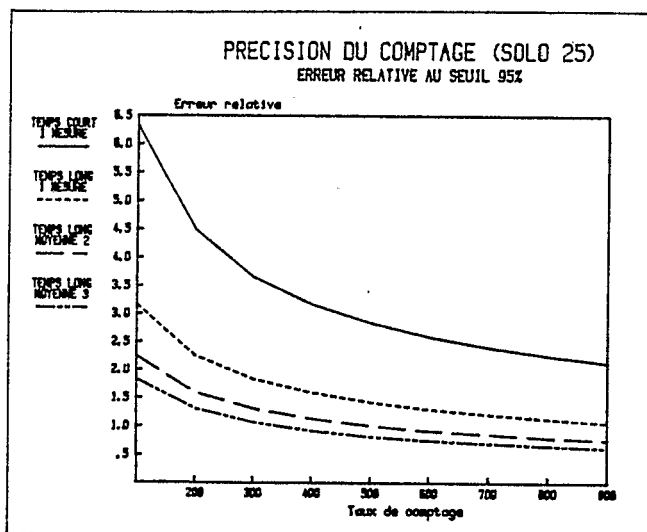


figure 9

	345 I/S		878 I/S	
	théorique	mesurée	théorique	mesurée
temps court 1 mesure	3,4	4,0	2,3	-
temps long 1 mesure	1,7	1,6	1,2	1,1
temps long 2 mesures	1,2	1,2	0,8	0,8
temps long 3 mesures	1,0	0,9	0,6	0,5

Tableau 2 : Erreurs relatives au seuil de 95 %
théorique et calculée par rapport
à la moyenne.