

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 37 (1970-1971)
Heft: 91

Artikel: Utilisation d'un schéma markovien dans la détermination de la tendance commune des variables mesurées dans quelques forages de Suisse Romande
Autor: Favini, G.C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-197281>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Utilisation d'un schéma markovien dans la détermination de la tendance commune des variables mesurées dans quelques forages de Suisse Romande

Avec 4 figures dans le texte

par G. C. FAVINI*

Introduction

L'élaboration statistique des données par ordinateur est l'une des tendances actuelles dans les sciences de la terre, en particulier lorsque les informations sont continues et de type différent comme dans le cas des forages de reconnaissance pétrolière.

Jusqu'à présent seule une faible partie des renseignements fournis par les diagrapiques enregistrées dans les forages a été analysée par le géologue pétrolier pour l'évaluation quantitative d'un réservoir d'hydrocarbures ou pour les corrélations stratigraphiques entre les forages.

Or la prise en considération de toutes les valeurs des variables permet de déterminer, au moyen de méthodes statistiques adéquates, les tendances (trends) de ces variables tout au long du forage. Ces tendances possèdent des centaines de mètres de dimension, elles permettent donc de connaître l'histoire du bassin sédimentaire en ce qui concerne la porosité et la salinité de l'eau de formation, paramètres pétrophysiques étroitement liés aux paramètres physiques mesurés, par exemple résistivité électrique, vitesse sismique, radioactivité.

Dans cette étude nous avons utilisé un schéma markovien qui calcule la tendance principale commune à toutes les variables mesurées à la même profondeur.

L'idée qui est à la base du schéma markovien employé, c'est que la valeur de chaque variable à une profondeur donnée dépend à la fois des valeurs de toutes les variables situées à la profondeur immédiatement précédente et d'une variable aléatoire qui exprime les variations particulières, autrement dit, le bruit.

Schéma markovien : théorie

Agterberg (1966) et Agterberg et Cameron (1967) ont publié un programme écrit en FORTAN IV et un exemple de schéma markovien appliqué à la pétrologie de roches intrusives. Nous présentons en bref la théorie mathématique de ces deux auteurs.

On peut résumer une série d'observations à plusieurs variables par $x_{i,k}$ où i indique le nom de la variable (par exemple résistivité électrique, temps de transit, etc.) et k indique la position de l'observation (dans notre cas la profondeur à laquelle sont mesurées les propriétés des formations). Il y a p variables et n observations. Une série multivariante possède la propriété de Markov lorsque chaque observation est déterminée par l'observation qui la précède et par le hasard. La matrice de transition U qui représente

* Institut de Géophysique, Université de Lausanne, C. Roux 18, 1005 Lausanne.

la prédition d'une observation par l'observation précédente est calculée à l'aide des données standardisées, c'est-à-dire diminuées de leurs moyennes et divisées par leurs déviations standard, de la série entière. Si on appelle $z_{i,k}$ l'élément de la matrice standardisée Z , le schéma de Markov est formé par les p équations suivantes:

$$\begin{aligned} z_{1,k+1} &= u_{11}z_{1,k} + u_{12}z_{2,k} + \dots + u_{1p}z_{p,k} + e_{1,k+1} \\ z_{2,k+1} &= u_{21}z_{1,k} + u_{22}z_{2,k} + \dots + u_{2p}z_{p,k} + e_{2,k+1} \\ &\dots \\ z_{p,k+1} &= u_{p1}z_{1,k} + u_{p2}z_{2,k} + \dots + u_{pp}z_{p,k} + e_{p,k+1} \end{aligned}$$

Les nombres $e_{i,k+1}$ sont des nombres au hasard. Les équations précédentes peuvent s'écrire sous forme matricielle: $Z_{k+1} = UZ_k + E_{k+1}$.

Les valeurs propres de la matrice de transition U ou d'une matrice puissance de U , représentent les coefficients de corrélation sérielle du schéma. Le premier vecteur propre représente la combinaison linéaire des variables qui, de toutes les combinaisons linéaires possibles, possède la plus forte corrélation dans les séries des valeurs. Le premier vecteur propre constitue donc la tendance principale commune à toutes les variables. Le deuxième vecteur propre représente la tendance résiduelle ou secondaire commune.

Dans la forme que nous avons utilisée, le programme d'Agterberg et Cameron donne les informations suivantes:

1. la moyenne, la déviation standard, le nombre d'observations pour chaque variable;
2. le graphique des variables standardisées avec moyenne mobile sur cinq termes;
3. les matrices de covariance et de corrélation;
4. la matrice de transition;
5. les valeurs propres et les vecteurs propres de la matrice de transition;
6. les valeurs et les graphiques des tendances principales et secondaires communes aux variables.

Le programme nécessite l'emploi d'ordinateurs de grande puissance, en l'occurrence l'ordinateur CDC 3800 de l'Université de Genève.

Données

Nous avons utilisé les diagraphies des quatre forages de Courtion, Sorens, Chapelle et Savigny, tous situés en Pays Romand. Le tableau 1 montre les données relatives à ces forages en ce qui concerne les diagraphies des formations molassiques, les seules que nous prenons en considération. Nous employons seulement les diagraphies qui présentent des variations dans les propriétés physiques de la roche. Les courbes plates comme celles de polarisation spontanée ou de radioactivité et les courbes influencées par les cavités comme celles des microdispositifs, ne sont pas utilisées. En plus certaines diagraphies de type récent n'ont pas été enregistrées dans ces forages qui ont été forés autour de l'année 1960.

Finalement les variables que nous utilisons sont: la résistivité électrique mesurée avec la sonde grande normale 64", la résistivité électrique mesurée avec la sonde latérale 18'8", le temps de transit mesuré sur 3' et la lithologie déterminée par l'analyse des cuttings. Les unités sont, pour la résistivité l'ohm.m et pour le temps de transit le microsecond par pied. Pour la lithologie nous avons employé le code quantitatif suivant basé en gros

Tableau 1: Informations sur les forages étudiés (Formations molassiques)

FORAGE	COORDONNEES		SOURCES	GEOLOGIE		DIAGRAPHIES	
	X, Y (km)	Z (m)		Formation	Profondeur (m)	Dispositif	Profondeur (m)
Courtion 1960	X = 572 410 Y = 189 420 Z = 600		Perry	Quaternaire Aquitanien Chattien	0-19 19-790 790-1323	18'8" 64" sonic 3' lithologie	200-1295 200-1295 200-1295 0-1295
Sorens 1960-61	X = 568 470 Y = 169 190 Z = 1020		Perry	Quaternaire Chattien subalpin Burdigalien Aquitanien Chattien supérieur Chattien inférieur	0-26 26-499 499-540 540-1310 1310-1786 1786-3099	18'8" 64" lithologie	250-3095 250-3095 0-3095
Chapelle 1958	X = 547 305 Y = 168 359 Z = 764		Lemcke	Quaternaire Burdigalien Aquitanien Chattien	0-17 17-112 112-493 493-1440	18'8" 64" lithologie	50-1440 50-1440 0-1440
Savigny 1960	X = 546 271 Y = 155 312 Z = 839		Lemcke	Quaternaire Chattien subalpin Aquitanien subalpin Aquitanien Chattien	0-17 17-655 655-895 895-1323 1323-2307	18'8" 64" sonic 3' lithologie	50-2300 50-2300 50-2300 0-2300

sur une granulométrie croissante: 0 – silt, 1 – silt marneux, 2 – marne, 3 – marne argileuse, 4 – marne sableuse, 5 – argile marneuse, 6 – argile, 7 – grès fin, 8 – grès moyen, 9 – grès grossier.

Les variables sont associées à leur support géométrique matériel appelé volume ou rayon d'investigation, environ 140 m^3 pour la sonde normale, 730 m^3 pour la sonde latérale, 1 m pour le temps de transit, 5 m pour la lithologie.

Le fait que nous cherchons des relations entre les valeurs des variables à l'intérieur des séries, nous dispense d'utiliser les valeurs vraies des variables enregistrées. Nous employons donc les valeurs brutes ou valeurs mesurées sans effectuer les différentes corrections qui demeurent nécessaires dans l'étude banc par banc.

Exemple: Savigny

Le forage de Savigny est celui pour lequel nous avons essayé le plus grand nombre de possibilités en changeant successivement le nom et le nombre des variables ainsi que la distance entre les observations. Les tendances principales ainsi obtenues pour le forage, sont remarquablement les mêmes. Nous nous bornons alors à présenter un cas simple comportant les quatre variables: résistivité électrique $18'8''$, résistivité $64''$, temps de transit 3' et lithologie. L'échantillonnage systématique est effectué tous les 25 m.

Le tableau 2 est constitué des noms des variables, de leurs moyennes, de leurs déviations standard et du nombre d'observations.

Tableau 2: Paramètres des distributions des variables
(90 observations)

Savigny 50–2225 m	Résistivité électrique $18'8''$ (ohm.m)	Résistivité électrique $64''$ (ohm.m)	Temps de transit (mms/pied)	Lithologie (code)
Moyenne	33,5	26,8	246	3,66
Déviation standard	17,8	11,2	35	1,67

Les figures 1 et 2 présentent les graphiques des moyennes mobiles sur cinq termes des variables standardisées en fonction de la profondeur. Les fortes valeurs sont sur la gauche des graphiques, les faibles valeurs sont sur la droite. Il n'y a généralement pas de correspondance entre les changements d'allure générale des variables et les limites géologiques décrits dans la littérature.

La matrice de corrélation est la suivante:

	Résistivité $18'8''$	Résistivité $64''$	Temps de transit 3'	Lithologie
Résistivité $18'8''$	1,000	0,469	-0,106	0,071
Résistivité $64''$	0,469	1,000	0,108	0,080
Temps de transit	-0,106	0,108	1,000	-0,062
Lithologie	0,071	0,080	-0,062	1,000

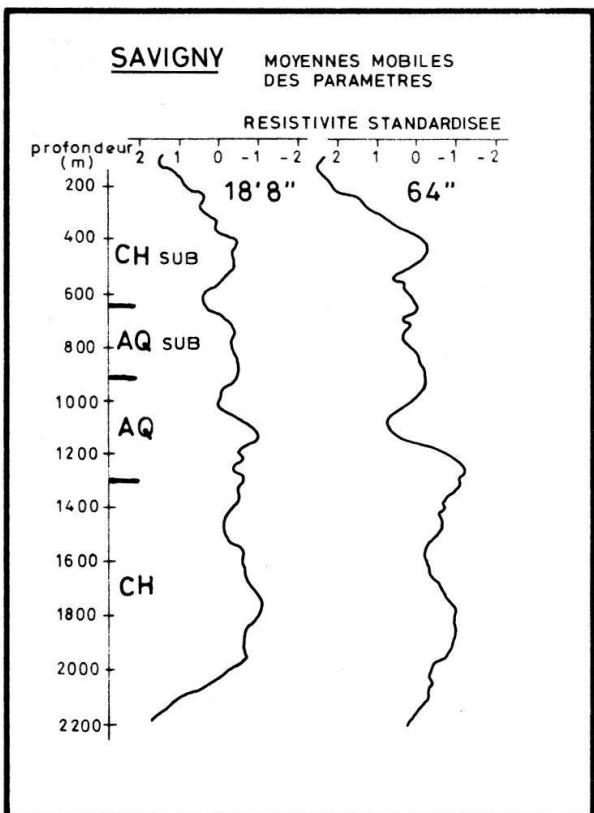


Fig. 1: Graphiques des résistivités standardisées.

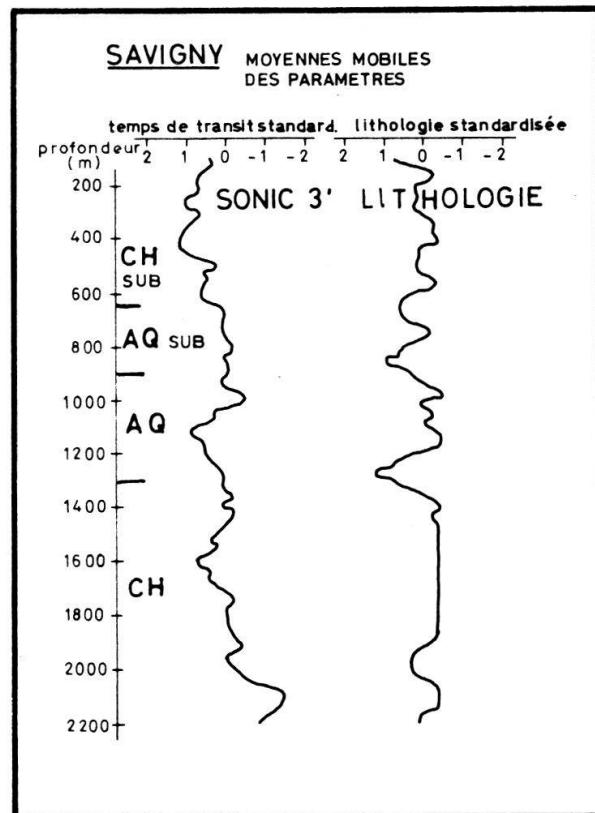


Fig. 2: Graphiques du temps de transit et de la lithologie standardisée.

La matrice de transition est la suivante:

	Résistivité 18'8"	Résistivité 64"	Temps de transit	Litho- logie
Résistivité 18'8"	0,225	0,384	-0,210	0,047
Résistivité 64"	0,090	0,686	0,122	-0,021
Temps de transit	-0,157	0,160	0,091	-0,069
Lithologie	0,062	0,011	0,185	0,004

La première valeur propre qui est obtenue à partir de la matrice de transition de puissance 32 vaut 0,756.

La figure 3a représente la tendance principale commune à toutes les variables (trend no. 1). Cette tendance est calculée à partir de la première valeur propre avec des moyennes mobiles sur cinq termes.

La figure 3b représente la tendance résiduelle (trend no. 2) calculée à partir de la valeur propre 0,333 obtenue pour une matrice de puissance 8.

Si on compare maintenant les courbes de la résistivité 64" et de la première tendance commune, on constate qu'elles coïncident à quelques détails près. La tendance commune des quatre variables mesurées dans le forage est donc représentée par la courbe de la résistivité de la sonde normale 64".

On peut alors appliquer dans les grandes lignes la loi d'Archie qui lie d'une façon empirique la résistivité, la porosité et la salinité de l'eau de formation. A des fortes résistivités correspondent des faibles porosités, des eaux douces ou les deux à la fois.

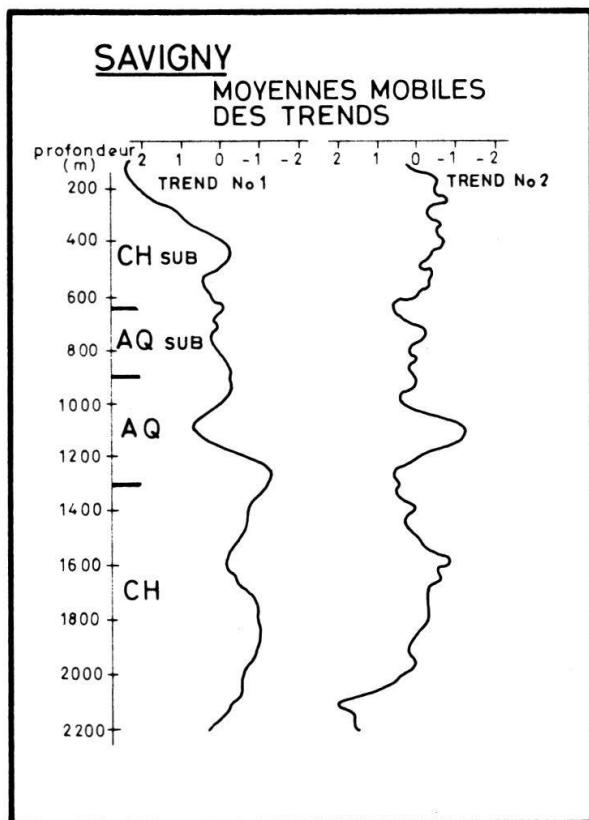


Fig. 3: Graphiques de la première et de la deuxième tendance commune des variables.

A des faibles résistivités correspondent des grandes porosités, des eaux salées ou les deux à la fois.

Nous pouvons diviser le forage de Savigny en huit zones représentant chacune une tendance stable, croissante ou décroissante de la résistivité électrique, tendance principale de toutes les variables.

La seule zone à tendance stable, si on tient compte de la diminution linéaire de la résistivité avec la profondeur, diminution due à la température, est la zone comprise entre 550 et 950 m de profondeur.

Les trois zones à résistivité décroissante (du haut du forage vers le bas) sont les suivantes: de 50 à 450 m, de 1100 à 1250 m et de 1600 à 1800 m.

Les quatre zones à résistivité croissante sont: de 450 à 550 m, de 950 à 1100 m, de 1250 à 1600 m et de 1800 à 2300 m.

En ce qui concerne les formations autochtones, nous pouvons très vraisemblablement faire correspondre la zone profonde du forage au Chattien inférieur, la zone comprise entre 1800 et 1600 m au Chattien moyen et celle comprise entre 1600 et 1250 m au Chattien supérieur. Nous faisons correspondre la zone comprise entre 1250 et 1100 m à l'Aquitainien inférieur et celle comprise entre 1100 et 950 m à l'Aquitainien moyen. Par contre, il n'y a pas de possibilité de faire correspondre les formations ou membres des formations subalpines aux zones actuelles de la tendance principale dans la partie tectonisée traversée par le forage. On comprend en effet que la tectonisation des formations molassiques subalpines a entraîné un changement dans les propriétés physiques, notamment dans la porosité; ces propriétés ne reflètent plus le caractère de la sédimentation comme dans le cas des formations autochtones.

Corrélations entre forages

Il nous a semblé utile par la suite de corrélérer les tendances communes de quelques forages de Suisse Romande étant donné que les allures générales ont au moins une dimension verticale de cent mètres.

D'après le tableau 1 trois variables sont communes aux quatre forages de Courtion, Sorens, Chapelle et Savigny. Nous avons alors calculé pour chaque forage la première tendance commune des variables suivantes: résistivité électrique 18' 8", résistivité 64" lithologie. La distance entre les observations est de cinq mètres.

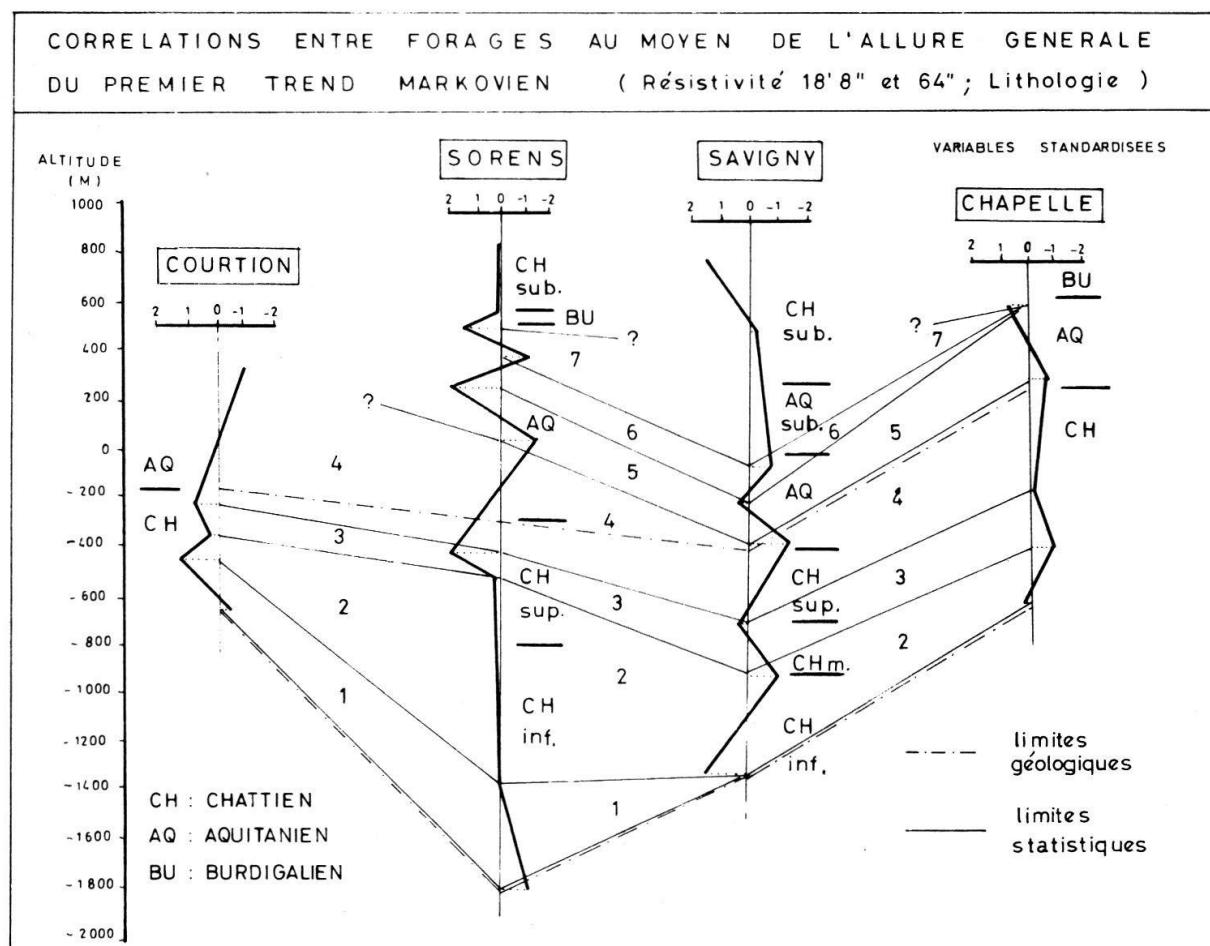


Fig. 4: Correlations entre forages.

Sur la figure 4 nous avons représenté les allures générales markoviennes sous forme de traits droits et les corrélations de ces allures entre les forages. Nous avons aussi noté les limites géologiques d'après la littérature.

Dans les formations autochtones, nous avons mis en évidence sept zones dont les limites correspondent en partie avec les limites des formations ou de leurs membres.

L'interprétation des allures générales stables, croissantes ou décroissantes est la même que dans le cas du forage de Savigny. Mais du fait du nombre restreint de variables prises en considération, la signification statistique des allures générales, bien que réelle, est moins bonne que dans le cas de Savigny.

Conclusions

Nous avons montré dans ce qui précède, comment la technique statistique du schéma markovien peut être appliquée aux diagrapihes effectuées dans les forages pétroliers en vue de déterminer la tendance principale des variables mesurées. Cette tendance correspond ou peut correspondre à un processus géologique simple d'autant plus net que la valeur propre de la matrice de transition est élevée. Il suffit pour cela de prendre certaines précautions complémentaires par exemple, augmenter le nombre de variables possédant les mêmes lois de distribution.

Le schéma markovien utilisé présente des analogies avec l'analyse factorielle qui, nous le rappelons, consiste à déterminer un petit nombre de facteurs principaux (tendances communes) à partir d'un grand nombre de variables. Il s'en différencie par le fait que le schéma markovien est utilisable seulement dans le cas des séries multivariantes spatiales ou temporelles. Le schéma markovien peut aussi mettre en évidence les allures principales périodiques lorsque la valeur propre est complexe.

Remerciements

Nous remercions M. le Docteur BÜCHI et M. le Professeur KLAUS pour les données des forages mises à notre disposition et M. le Professeur MEYER DE STADELHOFEN qui a bien voulu suivre de près cette étude.

Bibliographie

- AGTERBERG, F. P. (1966): The use of multivariate Markow schemes in petrology. *J. Geol.*, 74.
- AGTERBERG, F. P., CAMERON, G. D. (1967): Computer program for the analysis of multivariate series and eigen-value routine for asymetrical matrices. *Geol. Surv. Canada, Paper*, 67.
- ARCHIE, G. E. (1942): The electrical resistivity in determining some reservoirs characteristics. *AIME*, 1422.
- (1947): Electrical resistivity as an aid in core analysis interpretation. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, 31.
- FAUST, L. (1951): Seismic velocity as a function of depth and geological time. *Geophysics*, 18, 2.
- FAVINI, G. C. (1970): Résistivité électrique et vitesse sismique des molasses de Suisse Romande et de Haute Savoie. Etude statistique par ordinateur CDC 3800. *Thèse Univ. Lausanne*.
- HARBAUGH, J., MERIAM, D. (1968): Computer applications in stratigraphic analysis. Wiley, New York.
- KELLER, G. V. (1964): Compilation of electrical properties from electric well logs. *Quater. Colorado Sch. of Min.*, 49.
- KRUMBEIN, W. C. (1968): Statistical models in sedimentology. *Sedimentology*, 1.
- LADOR, J. M. (1968): Géophysique des sondages. Cours de géophysique, Lausanne.
- LEMCKE, K. (1959): Das Profil der Bohrung Chapelle 1. *Bull. ASP*, 70.
- (1963): Die Ergebnisse der Bohrung Savigny 1 bei Lausanne. *Bull. ASP*, 78.
- PERRY, O. (1960): Geological completion report for Courtion No. 1. BP Fribourg. Rapport non publié.
- (1961): Geological completion report on Sorens No. 1. BP Fribourg. Rapport non publié.
- SCHLUMBERGER (1968): Log interpretation charts. Schlumberger, USA.