

**Zeitschrift:** Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure  
**Band:** 26 (1959-1960)  
**Heft:** 71

**Artikel:** Quelques problèmes de géologie géométrique  
**Autor:** Rigassi-Studer, Danilo  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-190184>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.11.2024

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

## Quelques Problèmes de Géologie géométrique

Par DANILO RIGASSI-STUDER

### I.

La géologie structurale est basée avant tout sur l'étude de deux caractéristiques géométriques des couches non horizontales : la direction, ou angle que forme avec le Nord une horizontale tracée sur le plan de stratification ; et le pendage, ou inclinaison du plan de stratification par rapport à l'horizontale. Le plongement, qui s'obtient en soustrayant ou ajoutant  $90^\circ$  à la direction, désigne l'angle que fait avec le Nord le sens aval du pendage (ou, si l'on préfère, l'angle que fait avec le Nord la ligne de plus forte pente descendante). La plupart des géologues praticiens se contentent de mesurer le pendage et le plongement, ces deux mesures étant suffisantes pour déterminer n'importe quel plan ; grâce à cette méthode, grandement facilitée par les boussoles du type Oulianoff-Méridien, on évite une source d'erreur supplémentaire.

Une relation dont l'usage est, en géologie pratique, quotidien, est celle liant le pendage vrai et un pendage apparent (c'est-à-dire mesuré le long d'une ligne non parallèle au plongement). Cette relation, en effet, est indispensable à la construction de profils exacts non perpendiculaires à la direction des couches, et à un grand nombre de calculs d'épaisseurs. On sait (fig. 1a) que cette relation s'exprime ainsi :

soit :  $\varphi$  le pendage réel  
 $\varphi_1$  le pendage apparent  
 $\alpha$  l'angle que fait avec le plongement apparent le plongement réel.

on a : (I a)  $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha$  ou  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\cos \alpha}$

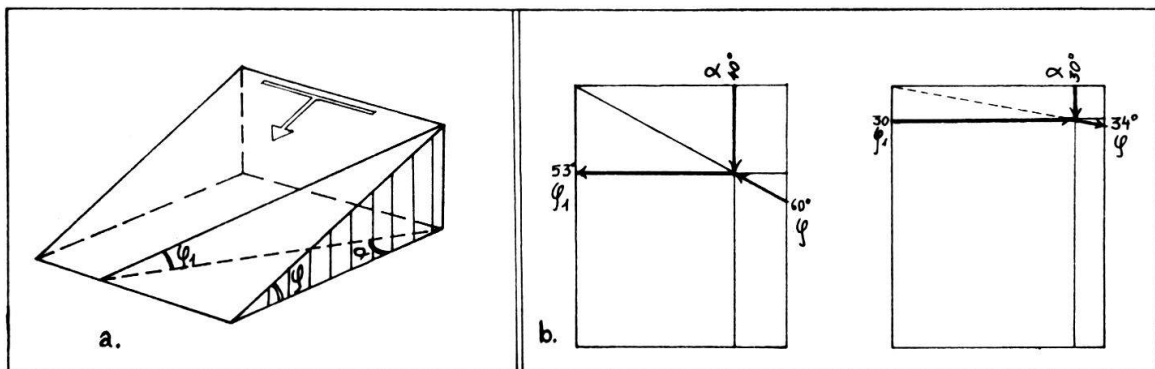


Fig. 1

problème du pendage apparent : valeur de  $\alpha$  - directions linéaires anciennes : valeur de  $\gamma$

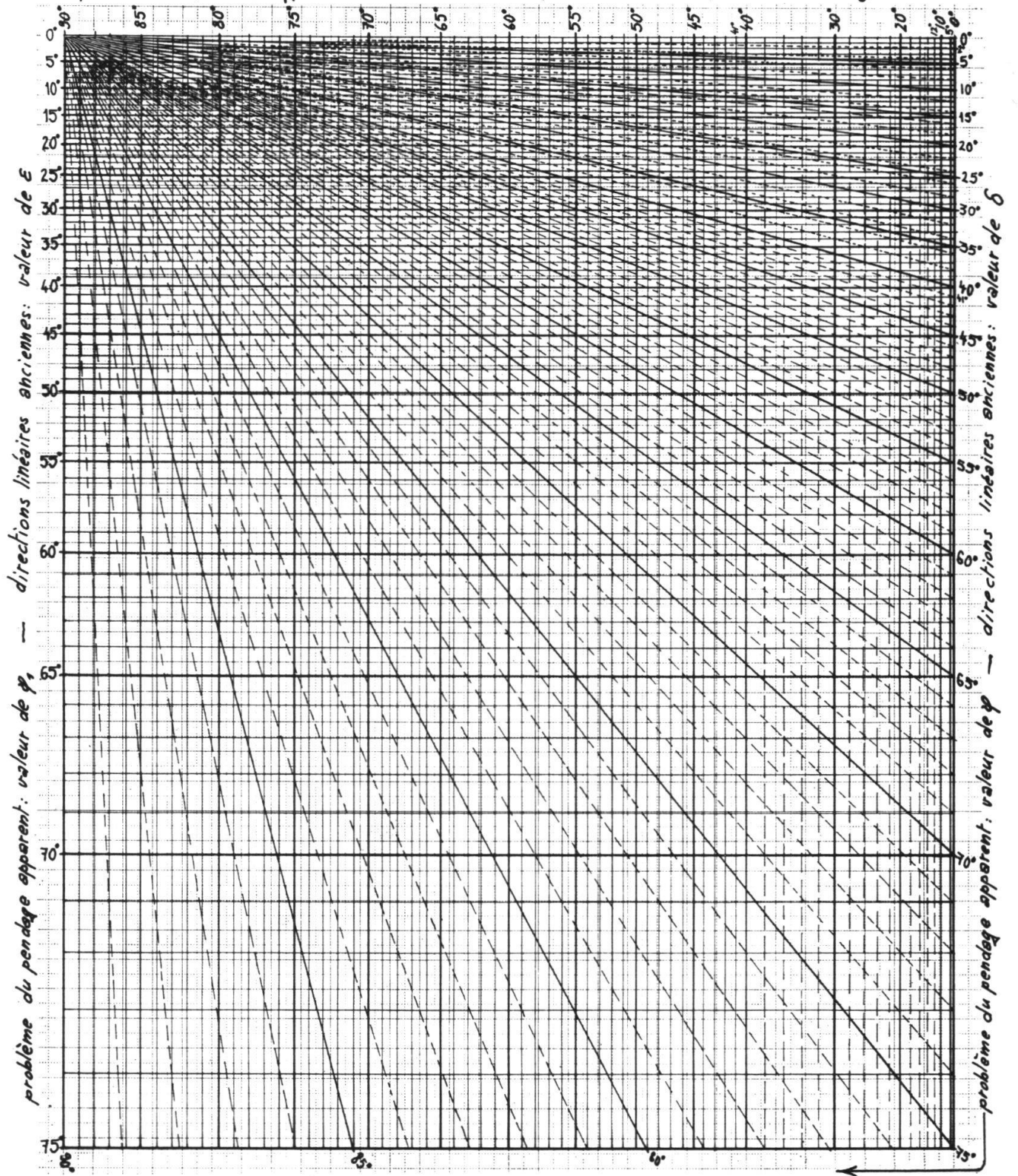


Fig. 2

En raison de l'emploi très fréquent de ces deux relations, plusieurs auteurs ont donné des tables évitant le calcul. Il semble cependant que la plupart de ces tables ne sont pas particulièrement pratiques. C'est pourquoi nous en publions une nouvelle (fig. 2). Son emploi est expliqué par les deux exemples suivants (fig. 1 b) :

a) Soit  $\varphi = 60^\circ$  et  $\alpha = 40^\circ$ . On cherche  $\varphi_1$ . Partir de l'échelle  $\varphi$  ; remonter le long de l'oblique  $60^\circ$  jusqu'à ce qu'elle rencontre la verticale  $40^\circ$  de l'échelle  $\alpha$  ; lire alors à l'horizontale sur l'échelle de gauche la valeur de  $\varphi_1$  ; on trouve  $53^\circ$ .

b) Soit  $\varphi_1 = 30^\circ$  et  $\alpha = 30^\circ$ . On cherche  $\varphi$ . Partir de l'échelle de gauche  $\varphi_1$  ; on suit l'horizontale  $30^\circ$  jusqu'à son intersection avec la verticale  $30^\circ$  de l'échelle  $\alpha$  ; on descend alors le long de l'oblique, et on lit la valeur de  $\varphi$  ; la réponse est  $34^\circ$ . L'usage de cette table étant double (voir paragraphe IV), on prendra les trois échelles nommées « problème du pendage apparent ».

## II.

Une autre relation importante est celle liant entre eux : deux plongements apparents (avec les deux pendages apparents correspondants), l'angle qu'ils forment entre eux, l'angle qu'ils forment avec le plongement vrai, et le pendage vrai (voir fig. 3).

Soit :  $\varphi_1$  un premier pendage apparent

$\varphi_2$  un deuxième pendage apparent

$\alpha$  l'angle formé par les deux plongements correspondant à  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ .

On veut trouver  $\beta$ , c'est-à-dire l'angle formé entre le premier plongement apparent  $\varphi_1$  et le plongement réel  $\varphi$  (cet angle étant pris dans le sens allant de  $\varphi_1$  vers  $\varphi_2$ ) ; on veut trouver aussi le pendage réel  $\varphi$ . On peut écrire :

$$(II a) \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1 \sin \alpha} - \operatorname{cotg} \alpha$$

$$\text{et } (II b) \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cos \alpha}{\sin \alpha \sin \beta}$$

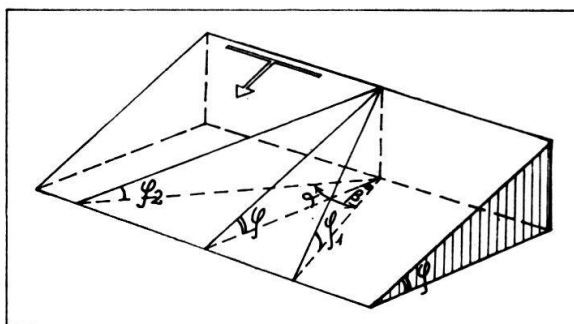


Fig. 3

Il est clair que, dans la pratique, l'équation (II b) n'a que peu d'intérêt, puisque, dès que  $\beta$  est trouvé, on peut recourir à la table (fig. 2) afin de trouver  $\varphi$ .

Ce problème des plongements apparents et du plongement réel peut, bien sûr, être aisément résolu graphiquement. On ne saurait déterminer laquelle des deux méthodes — la graphique et la trigonométrie — est plus avantageuse, cela étant avant tout affaire de tournure d'esprit.

## III.

Nous sommes amené maintenant à un autre point d'une grande portée. Dans la littérature géologique, on parle constamment de discordances angulaires de  $10^\circ$ , de  $15^\circ$ , etc. C'est à dire que l'on considère, dans une discordance, le contraste existant entre

le pendage des couches transgressives et celui des couches coupées par la transgression. Or, aussi étrange que cela puisse paraître, presque aucun géologue ne semble s'être aperçu, jusqu'ici, que ce contraste n'avait aucune signification dans les cas où les plongements des deux formations ne sont pas strictement parallèles.

Le propre d'une surface de transgression accompagnée d'une discordance angulaire, c'est de conserver, à l'état fossile, une paléotectonique. Encore faut-il, afin de saisir les traits de cette paléostructure, éliminer toutes les déformations postérieures à la transgression. Nous avons pu établir une formule, directement dérivée du problème précédent (paragraphe II) qui permet cette élimination. Il ne nous semble pas indispensable de démontrer cette formule. La démonstration en est, au demeurant, aisée.

Soient une couche supérieure transgressive de pendage  $\varphi_s$  et une couche inférieure transgressée de pendage  $\varphi_i$ ; soit  $\alpha$  l'angle formé par les deux plongements correspondant à  $\varphi_i$  et  $\varphi_s$ ; on veut éliminer l'effet des mouvements tectoniques postérieurs au dépôt de la couche supérieure, c'est à dire que l'on cherche à replacer la couche inférieure dans la position qui était sienne au moment de la transgression; soit alors  $\beta$  l'angle formé par le plongement de la couche inférieure au moment de la transgression et le plongement actuel de la couche supérieure (cet angle étant pris en allant de  $\varphi_s$  vers  $\varphi_i$ ), et soit  $\varphi_a$  le pendage de la couche inférieure au moment de la transgression (fig. 4).

On a : (III a)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \varphi_i \sin \alpha (1 + \operatorname{tg} \varphi_i \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_s)}{\operatorname{tg} \varphi_i \cos \alpha - \operatorname{tg} \varphi_s}$$

Et: (III b)

$$\operatorname{tg} \varphi_a = \frac{\operatorname{tg} \varphi_i \sin \alpha}{\sin \beta}$$

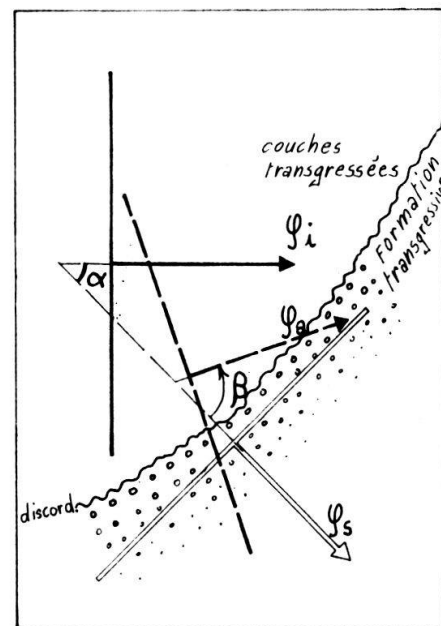


Fig. 4

L'importance de ces deux relations est démontrée par un exemple schématique (fig. 5). L'image supérieure (5 a) montre une carte géologique telle qu'elle aurait pu directement être levée sur le terrain. Sur l'image inférieure (5 b), les pendages de la couche supérieure ont été éliminés; une vraie carte paléogéologique, montrant les affleurements et les structures tels qu'ils se présentaient au moment de la transgression, a été établie. Alors qu'au premier examen de la carte supérieure (5 a), la tectonique des couches  $c_i$ ,  $c_m$  et  $c_s$  semble pratiquement parallèle à celle des couches supérieures  $m$ , c'est à dire de direction Est—Ouest, la restitution des positions géométriques originelles des couches  $c_i$ ,  $c_m$  et  $c_s$  fait réapparaître une paléotectonique de direction Nord—Sud.

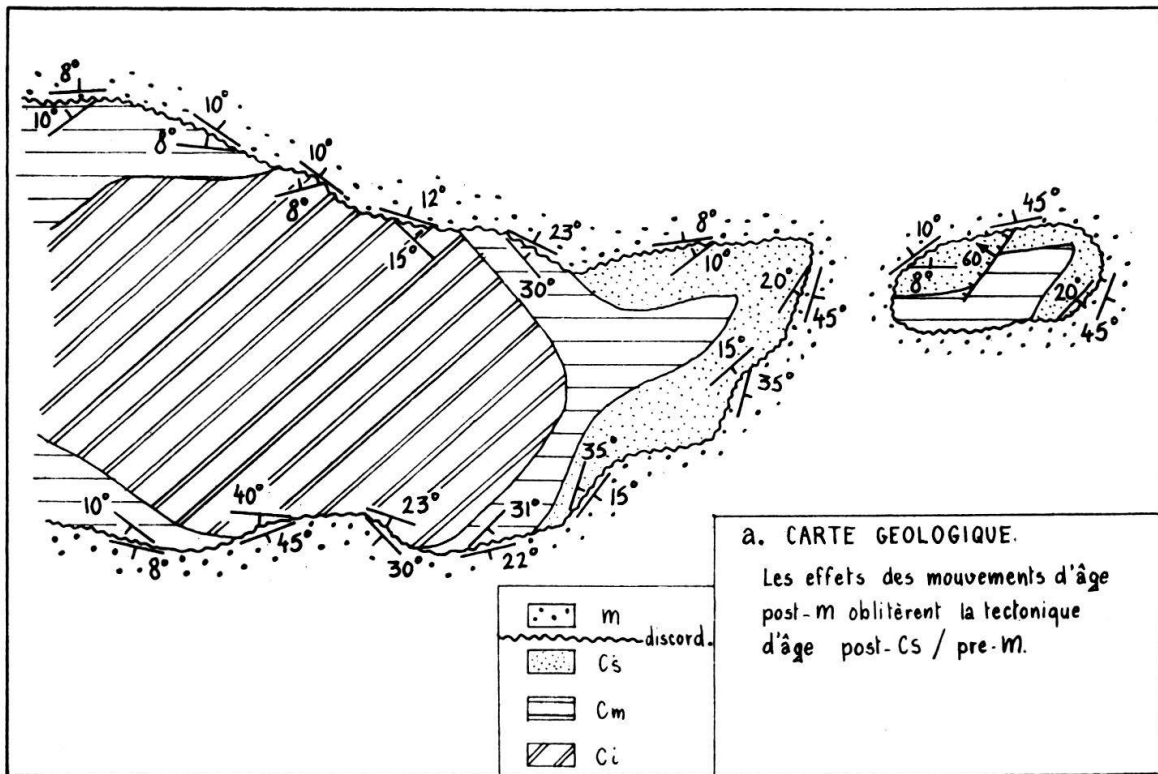


Fig. 5 a

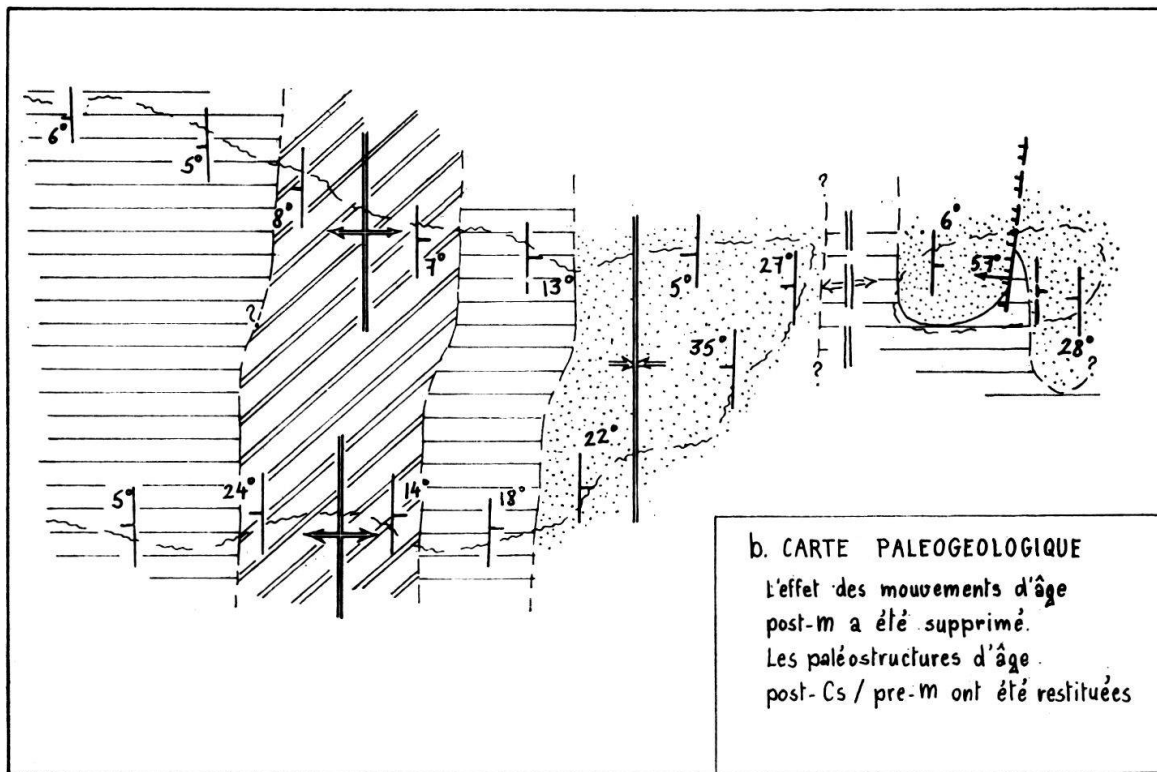


Fig. 5 b



Alors que, en se contentant d'effectuer une simple soustraction des pendages affectant respectivement les couches *m* et la série *ci—cs*, on aurait obtenu des « discordances angulaires » variant de 2° à 25°, avec une moyenne de 9°, la restitution montre que, lors de la transgression des couches *m*, la série *ci—cs* était affectée de pendages compris entre 5° et 35°—36°, avec une moyenne de 15°.

Des mouvements tectoniques postérieurs à une transgression modifient non seulement l'inclinaison des couches anciennes, mais aussi la position de n'importe quel plan recoupant ces couches anciennes ; ainsi, la direction et l'inclinaison d'un plan de faille ancien sont changées ; un exemple est montré dans la partie droite des deux cartes, fig. 5.

Il est évident que les deux équations ci-dessus (III a et III b) peuvent être un outil très utile pour l'interprétation des paléostrutures dans les régions à phases tectoniques multiples. Comme exemples régionaux, citons le problème des directions hercyniennes dans les Alpes ; ou encore, la mise en évidence, dans les régions helvétiques, de directions tectoniques d'âge post-crétacique et pré-oligocène, peut-être non parallèles aux grands plissements oligocènes et néogènes. La restitution des pendages et des plongements originels doit permettre également une compréhension plus approfondie de certains problèmes pétroliers : par exemple, celui assez fréquent de la localisation des hydrocarbures dans des régions qui ne sont plus, actuellement, les plus hautes du point de vue structural, mais qui ont pu l'être à un certain moment de l'histoire géologique. A cela sont liés les problèmes de migration.

On peut se demander quelles sont les limitations éventuelles des équations III a et b. La première restriction est, évidemment, que l'on suppose a priori que la série transgressive s'est déposée horizontalement : c'est là le postulat de base de la stratigraphie ; mais on sait que certains sédiments meubles ont un angle de frottement interne de plusieurs degrés. C'est le cas notamment des dépôts clastiques grossiers ou mal classés. Ainsi donc, lorsque la série transgressive est formée de conglomérats ou de grès grossiers à éléments anguleux, les équations ci-dessus ne sont guère applicables ; il faudrait alors chercher, un peu plus haut dans la série transgressive, des couches pélitiques ou non clastiques, dont on puisse considérer à juste titre la stratification originelle comme horizontale.

Une autre limitation, c'est que, afin d'éliminer le pendage de la série transgressive, on a rabattu celle-ci à l'horizontale en prenant sa direction pour charnière. En d'autres termes, on a admis que les forces tectoniques ont agi perpendiculairement à la direction des couches. Il est cependant des régions où les forces tectoniques ont été beaucoup plus complexes, et où, notamment, des efforts de torsion ont affecté la position des couches. Dans de telles régions, nos formules sont difficilement utilisables.

H. J. Tchopp, qui a eu l'amabilité de lire notre manuscrit, a formulé les remarques suivantes (lettre du 5 janvier 1960) : « . . . your formula may hold good for structures where the difference of strike between pre- and post-unconformity dips remains below 30 or 40 degrees, while for bigger differences the process of compressing the pre-unconformity strike into the post-unconformity strike is difficult to visualize without assuming semi-plastic conditions or micro- and macrofracturing and faulting. . . . under bigger differences the tectonic pressure assumedly will be aided still by other forms of mechanical deformation as fracturing etc. »

Notons, pour clore ce paragraphe, que les deux formules ci-dessus peuvent être employées également pour replacer dans sa position originelle un plan de stratification entrecroisée.  $\varphi_s$  désignera alors le pendage général des couches, et  $\varphi_i$  le pendage de la surface aberrante.

#### IV.

L'étude de certaines lignes apparaissant à la surface de bancs est d'un grand intérêt pour la connaissance de certains phénomènes anciens. L'étude des différents « casts » et « marks » fréquents dans les séries argilo-gréseuses permet ainsi de retrouver les directions d'anciens courants sous marins. Mais, là encore, afin de replacer ces lignes dans leur position originelle, il faut éliminer les déplacements dûs aux mouvements tectoniques postérieurs à la sédimentation. Le géologue praticien effectue souvent cette restitution sur le terrain même, grâce à une petite astuce manuelle. Toutefois, une formule peut être souvent plus agréable à manier. Soit une couche de pendage  $\gamma$ ; la direction des lignes à étudier, telle qu'on la mesure dans le terrain à la boussole (c'est à dire d'une façon qui donne toujours une projection sur le plan horizontal) forme avec le plongement de la couche un angle  $\delta$ . On veut trouver l'angle  $\varepsilon$  formé par la direction originelle des lignes et le plongement de la couche. On a :

$$(IV a) \quad \text{tg } \varepsilon = \text{tg } \delta \cos \gamma$$

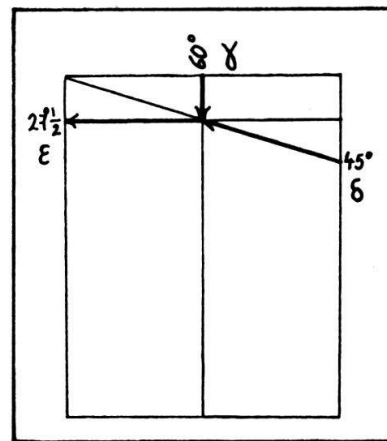


Fig. 6 — Lecture de la table :  
«Directions linéaires anciennes»

Un exemple éclairera cette formule : une couche plonge au Nord, avec un pendage de  $60^\circ$ . Sur cette couche sont des ripple marks dont la direction, mesurée à la boussole, est Nord Est. On a alors  $\gamma = 60^\circ$ ;  $\delta = 45^\circ$ ; on aura  $\text{tg } \varepsilon = 45^\circ \cos 60^\circ$ ; d'où on tirera  $\varepsilon = 26^\circ - 27^\circ$ . La direction originelle des ripple marks était donc Nord  $26^\circ - 27^\circ$  Est. Les caractéristiques de l'équation (IVa) sont telles que l'on peut résoudre le problème grâce à la table, figure 2. Prendre alors les trois échelles désignées comme suit : « directions linéaires anciennes » (fig. 6).



## V.

Le problème de l'épaisseur réelle de couches inclinées dans une topographie non horizontale est bien connu. Il semble cependant que la plupart des traités ne considèrent que deux cas, ceux représentés par la figure 7, a et b. Le cas schématisé par la figure 7 c est généralement négligé ; et pourtant, sa résolution trigonométrique est particulière. Les équations suivantes permettent de résoudre tous les cas :

Figure 7 a :

$$(V a 1) \quad e = \overline{AB} \sin (\alpha + \varphi)$$

$$(V a 2) \quad e = \overline{AC} \cos \varphi + \overline{CB} \sin \varphi$$

Figure 7 b :

$$(V b 1) \quad e = \overline{AB} \sin (-\alpha + \varphi)$$

$$(V b 2) \quad e = -\overline{AC} \cos \varphi + \overline{CB} \sin \varphi$$

Figure 7 c :

$$(V c 1) \quad e = \overline{AB} \sin (\alpha - \varphi)$$

$$(V c 2) \quad e = \overline{AC} \cos \varphi - \overline{CB} \sin \varphi$$

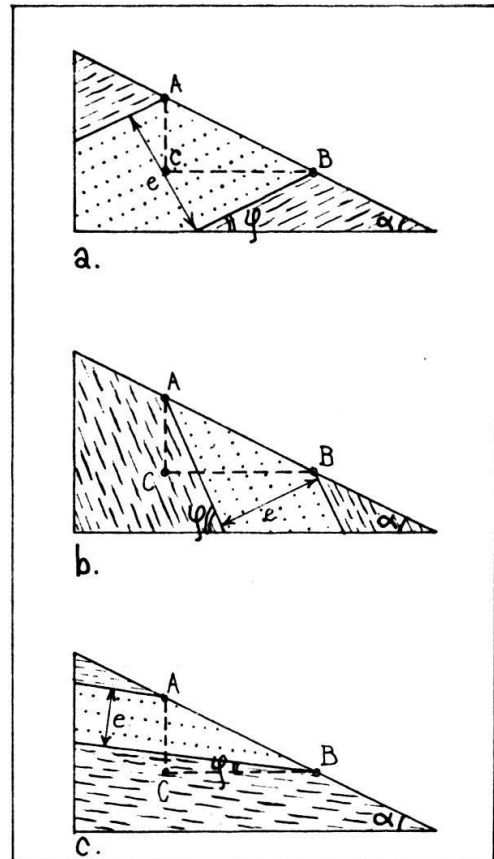


Fig. 7