

avons donné un résumé de l'article fondamental du Pr. O. Niemczyk qui met l'accent sur les lacunes de nos connaissances et sur l'orientation à donner aux recherches futures. Dans le même esprit, le Dr. Ing. Fläschenträger s'est attaché à montrer l'influence de la nature des morts-terrains du gisement de la rive gauche du Rhin.

En France, la Société de l'Industrie Minérale a organisé à Paris, en juillet 1957, deux journées d'études sur les propriétés mécaniques des roches. M. G. Drap, Directeur aux Houillères du Nord et du Pas-de-Calais, y a présenté un mémoire très important et très fouillé basé sur la théorie des mouvements en milieux visqueux et il a établi une série d'équations qui, théoriquement, permettent de résoudre tous les problèmes d'application.

Cette étude s'impose à l'attention de tous les spécialistes par ses conclusions et nous estimons nécessaire d'en donner de larges extraits qui permettent des comparaisons utiles.

Le Congrès Européen sur les Mouvements de Terrains, organisé par l'Université de Leeds, en avril 1957, aura un retentissement considérable, vu le nombre et l'importance des mémoires présentés et la publicité qu'ils ont reçue.

Dans son discours inaugural, le Président J.T. Whetton a exposé très objectivement les impératifs de l'heure présente en matière de recherches. Lui-même et ses collaborateurs ont parlé des difficultés des mesures de précision sur le terrain, spécialement de la mesure des déplacements horizontaux. Pour les résoudre, ils ont inventé une nouvelle méthode, appuyée d'arguments de science pure.

M. R.J. Orchard a traité de la probabilité des pronostics sur la grandeur des mouvements verticaux et horizontaux, de la loi qui les relie avec la profondeur des travaux houillers.

M. S. Drent a rapporté les observations sur le facteur temps effectuées dans le Limbourg Hollandais et mis en évidence l'influence de la profondeur, de l'épaisseur et de la nature des morts-terrains.

La présente note comprend de larges extraits de tous ces travaux.

## Essai sur les affaissements de surface et les mouvements intérieurs d'un milieu soumis au déhouillement

par G. DRAP (1)

Une étude purement théorique des déformations du milieu soumis au déhouillement ne peut reposer que sur une des trois hypothèses : viscosité, plasticité, pulvérulence. L'auteur a choisi la première parce qu'elle explique le mieux le fait du décalage des mouvements par rapport aux événements qui en sont la cause et qu'elle met en évidence le sens général des phénomènes.

Le premier chapitre expose les formules élémentaires qui relient les contraintes aux déformations. Le deuxième, l'application de ces formules au panneau type rectangulaire. Le troisième chapitre, les conclusions de ces formules pour les déformations des terrains au niveau de la surface qui les limite supérieurement.

Le quatrième chapitre étudie les mouvements à l'intérieur même du massif.

Nous n'examinerons ici que les trois premiers.

L'intérêt des considérations sur les mouvements de terrain à la surface réside en ce que ces mouvements ont donné lieu à un grand nombre d'observations dont les résultats sont suffisamment concordants. Il sera donc possible de les confronter avec les résultats des formules et d'éprouver la

valeur des hypothèses de départ. En même temps, cette comparaison fournira l'occasion de placer des valeurs convenables sous les symboles paramétriques qui apparaissent dans les formules.

Les dégâts qui peuvent être infligés à la superstructure résultent de la grandeur des déformations du terrain; les maisons, ouvrages d'art, canalisations qui reposent sur le sol, sans liaison rigide avec lui, sont déplacés par la réaction des terrains en mouvement et c'est à cet entraînement par voie de frottement que l'on doit imputer les dommages constatés.

En conclusion, ce que nous devons étudier en surface, ce sont les déplacements du terrain, que ce terrain soit dans un tel état de cohésion que l'on voudra, peu importe.

Les formules fondamentales consistent en des équations aux dérivées partielles reliées par certaines équations de condition et dans lesquelles entre un coefficient de viscosité.

Le panneau type est de forme rectangulaire, déhouillé à vitesse constante dans un sens unique. Pour simplifier, on ne considère que les déformations dans un plan vertical. L'intégration des formules conduit à une somme d'expressions de la

forme  $e^{-(mx+n)}e^{-t}$  qui représentent des courbes

(1) Résumé d'un article paru dans la Revue de l'Industrie Minière, 1957, n° 2.

ayant une asymptote horizontale, un maximum et deux points d'inflexion.

Elles ont des formes différentes suivant que l'on considère la période du déhouillement ou la forme finale au temps  $x$ .

Voici les conclusions qui se dégagent de cette étude.

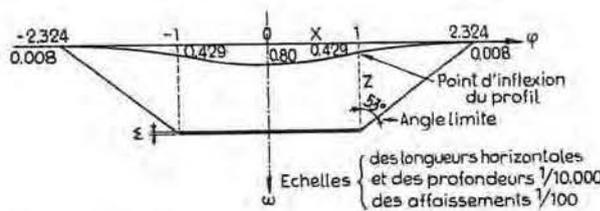
**Affaissements**

dus à des déhouillements horizontaux.

Cet affaissement a sa valeur maximum au centre du panneau et le taux est de 0,95 de l'épaisseur de la veine. Il diminue très rapidement à mesure qu'on s'éloigne du centre. Pratiquement, on dira que l'influence cesse lorsque l'affaissement devient inférieur à 1/100 de l'affaissement central maximum.

L'angle limite est, par convention généralement admise, l'angle avec le plan vertical de la droite qui joint l'extrémité du panneau aux points de la surface limite de la zone d'influence. Sa valeur est donc liée à celle de la déformation qualifiée d'indiscernable.

Dans le cas d'un panneau carré dont le côté est égal à la profondeur, cet angle est constant dans tous les sens et a une valeur moyenne de 53°. La forme de la cuvette est déterminée; elle est rigoureusement symétrique, présente deux points d'inflexion aux limites des panneaux, et l'affaissement en ces points est égal à 0,53 de l'affaissement maximum (fig. 1).



Conditions générales: Panneau horizontal rectangulaire  $2A \times 2L$  à la profondeur  $z$  d'épaisseur  $\epsilon$

Conditions de figures:  $A=L=z$   $z = 3 \times 10^4$   $\frac{x}{z} = \phi$   $h = 0,95$   $\alpha = 2$   $\epsilon = 1$

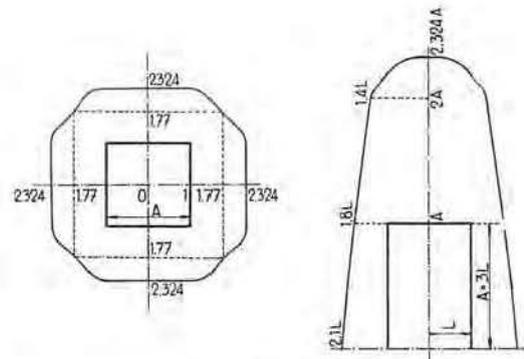
Formules utilisées : 1

Fig. 1.

La concordance de ces résultats avec les observations les plus dignes de foi justifie le choix des paramètres qui ont été introduits dans les formules générales.

En dehors de ce cas typique, les valeurs de l'angle limite sont liées aux dimensions relatives du panneau en longueur et en largeur. En supposant que la longueur augmente indéfiniment, la formu-

le montre que l'angle limite tend vers la valeur maximum de 60°. Cela revient à dire que la zone d'influence s'étend plus que proportionnellement quand la surface déhouillée augmente (fig. 2).



Conditions générales: Panneau horizontal rectangulaire  $2L \times 2A$  complètement déhouillé

Conditions de figure : I. Panneau carré  $A=L=z$  II. Panneau rectangulaire  $A=z=3L$

Formules utilisées : 2-3

Fig. 2.

**Influence de la profondeur des travaux.**

Pour un panneau de dimensions constantes dont la profondeur varie, le taux de l'affaissement maximum au centre du panneau va en diminuant. Il semble bien que jusqu'ici on ne disposait pour cette appréciation que de règles empiriques et d'ailleurs éminemment variables. Un diagramme donne les valeurs correspondant à un panneau carré de longueur  $L$  pour des profondeurs croissant en progression arithmétique de  $A/2$  à  $4A$ .

Profondeur $A/2$	94 cm
$A$	79,2 cm
$2A$	36,3 cm
$3A$	18,7 cm
$4A$	11 cm

On peut rapprocher ces valeurs limites de celles que donneraient des nivellements dans un cas concret ou s'en servir pour établir des prévisions. Il n'y a malheureusement, dans les publications sur la matière, aucun exemple qui se présente dans les conditions théoriques prévues par les formules, c'est-à-dire du panneau de dimensions constantes ayant fait l'objet de mesures comparables. Il serait intéressant de vérifier s'il y a parallélisme entre ces taux d'affaissements et l'extension de la zone influencée (fig. 3).

**Affaissements**

dus aux déhouillements inclinés.

Dans ce cas, la position d'un point  $x$  est reliée à sa cote par la relation  $z = x \text{tg } \sigma$  et, par approximation, on obtient les valeurs des affaissements en fonction de la cote moyenne  $z_0$ . On se contente

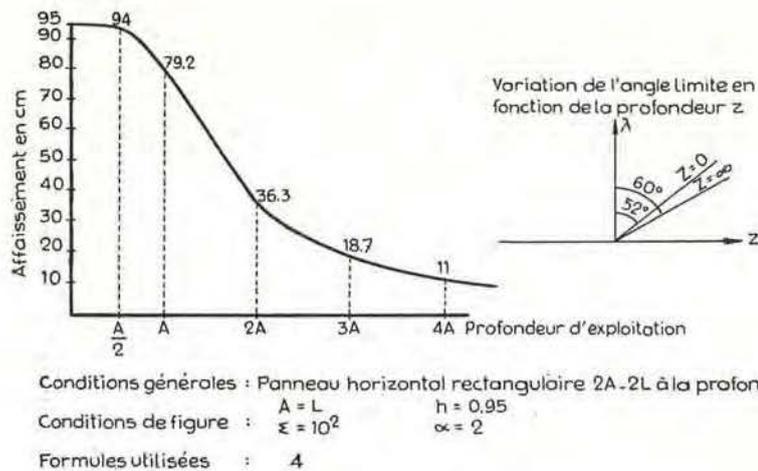


Fig. 3.

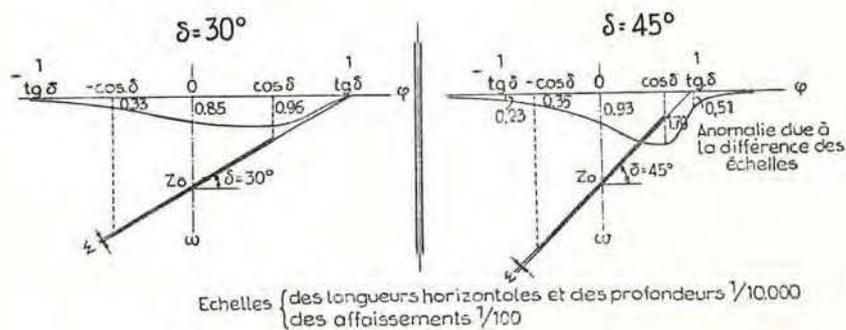
de déterminer la forme finale de la cuvette et spécialement les affaissements à l'aplomb des extrémités du panneau. Sa forme est nettement dissymétrique et d'autant plus que l'inclinaison est plus forte. Le point le plus bas se rapproche de l'extrémité amont du panneau.

A titre d'exemple d'application, deux épures relatives au panneau carré et à une même profondeur sont représentées à la figure 4. Pour un angle de  $30^\circ$ , le point le plus haut serait justement à l'aplomb de l'amont pendage, avec un affaissement de 0,96, tandis que la cote de l'aval pendage serait seulement de 0,33. La limite de la zone d'influence de ce côté est beaucoup plus étendue que du côté de l'amont. Les épures à petite échelle ne permettent pas d'apprécier la valeur des angles limites. Pour une inclinaison de  $30^\circ$ , on voit que l'angle d'aval pendage serait de  $60^\circ$  rejoignant ainsi l'antique règle de la normale, mais les angles à l'amont ont dans les deux figures des valeurs invraisemblables (fig. 4).

Les levés topographiques dont on dispose démontrent que la zone influencée, si elle s'étend largement du côté de l'aval pendage, se rétrécit fortement du côté de l'amont. Mais il n'existe aucune règle qui permette de déterminer a priori les angles limites et, ici aussi, la théorie du milieu visqueux est en défaut (1).

Le cas du dressant vertical est insoluble dans l'hypothèse de départ qui aboutit à une véritable indétermination ( $0 \times \infty$ ). Il est impossible de supposer les déformations uniquement dans le plan vertical et il faut absolument considérer les actions latérales. La déformation de la surface consiste en ordre principal en un sillon plus ou moins profond qui suit la trace de la couche et qu'on a pu observer nettement au siècle dernier en terrain nu et dans le cas de travaux à faible profondeur. On ne connaît rien de précis quant à l'importance

(1) O. NIEMCZYK. *Bergbaukunde*, p. 53/54.  
 Dressant à  $60^\circ$ . Angle limite aval  $60^\circ$ , c'est-à-dire normal.  
 Angle limite amont  $40^\circ$ .



Conditions générales : Panneau rectangulaire  $2A \cdot 2L$  placé à la profondeur moyenne  $Z_0$  et incliné sous l'angle  $\delta$   
 Conditions de figure :  $A = L$   $\frac{x}{Z_0} = \varphi$   $I/\delta = 30^\circ$   $II/\delta = 45^\circ$   $h_1 = 0,95$   
 $\alpha = 2$   
 $\xi = 100 \text{ cm}$   
 Formules utilisées : 5

Fig. 4.

de la dénivellation et à l'étendue de la zone influencée. Par raison de symétrie, cette zone doit s'étendre également de part et d'autre du plan de la couche et son étendue dépend uniquement de la valeur de l'angle limite au point le plus bas. La surface de raccord présentera une double courbure, comme dans le cas du gisement horizontal.

La littérature technique moderne est très pauvre de renseignements sur les dommages à la surface causés par l'exploitation des grands dressants. Cela s'explique par la raison de sécurité : la longue taille continue exige nécessairement un remblayage compact, souvent même le remblai hydraulique, de sorte que les mouvements du sol ne sont nettement manifestes que dans les couches de forte puissance.

Il semble donc que l'étude théorique du dressant n'aurait aucun intérêt pratique. C'est une erreur. Elle pourrait orienter les prévisions, notamment dans le cas assez embarrassant d'un dressant vertical d'une certaine hauteur entre deux plateaux plissés.

**Dilatations et compressions.**

On ne considère que le gisement horizontal et l'état final et le plan de symétrie du panneau. La courbe des tensions est symétrique et d'allure sinusoidale. Les points neutres sont aux extrémités du panneau. Le maximum de la contraction est au centre, le maximum de la dilatation à l'abscisse 1,5 qui correspond au point d'inflexion de la courbe de la cuvette d'affaissement.

Le taux maximum de compression peut s'exprimer numériquement par

- 1 épaisseur de la veine
- 4 profondeur du panneau

Ainsi, un bâtiment de 20 m de longueur, si  $Z = 300$  m, subira un raccourcissement de 18 mm. La contrainte correspondante ne répond pas à la loi de l'élasticité, elle est fort inférieure.

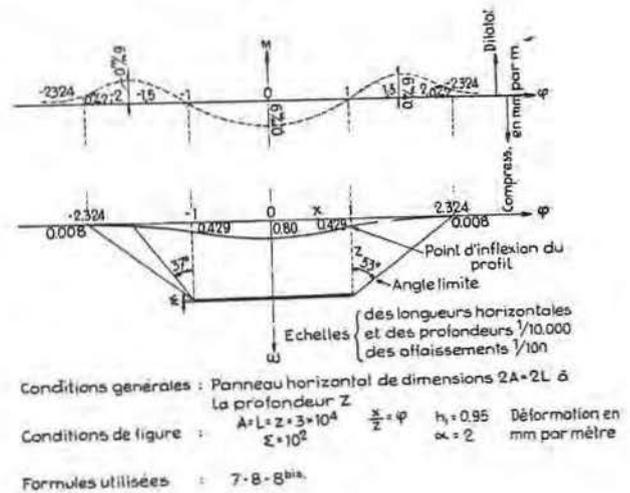


Fig. 5.

**Vitesse du déhouillement.**

L'affaissement pendant la période du déhouillement est d'autant plus faible que la vitesse est plus grande. Il serait nul pour  $V = \infty$ . A l'extrémité du panneau, il est toujours inférieur à la valeur finale de sorte que la forme de la cuvette est plus aplatie (fig. 6).

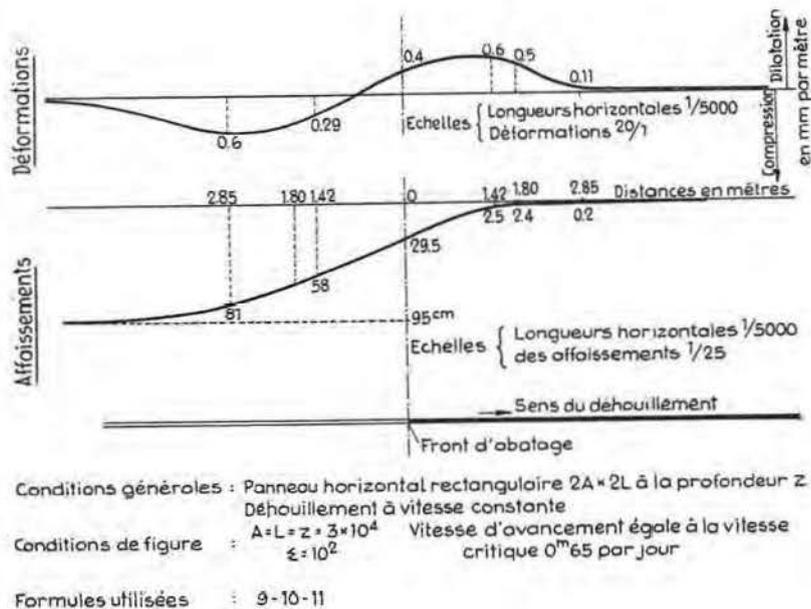


Fig. 6.

Le point de passage des dilatations aux compressions change avec la vitesse. La déformation maximum correspond à une certaine vitesse critique qui dépend de la profondeur. Cette valeur maximum est toujours inférieure à la déformation en fin d'affaissement. Le point neutre correspondant est en arrière du front.

Ces résultats numériques s'écartent notablement de ceux des nivellements périodiques. Ceux-ci indiquent tous une accélération du début plus grande et un affaissement résiduel plus faible que ces formules, de sorte que les trois diagrammes se rapprochent fortement de leur asymptote dans la période finale.

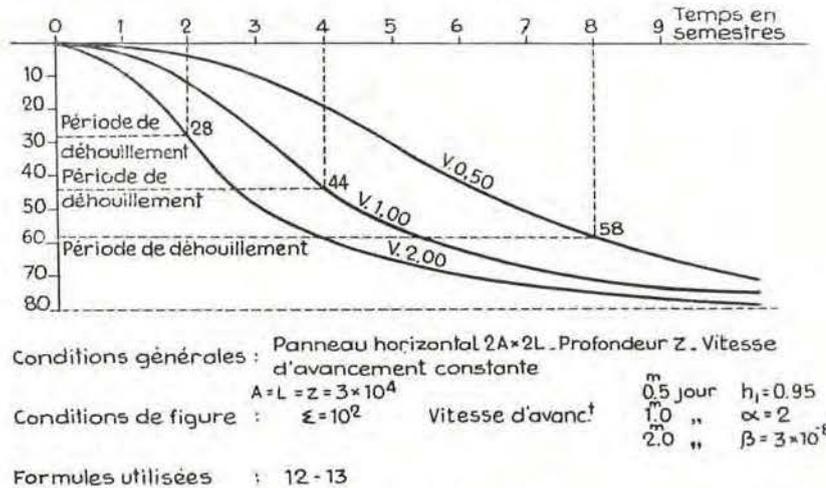


Fig. 7.

a) Si la vitesse est supérieure à la vitesse critique, le point de passage recule vers les X négatifs et la déformation maximum diminue d'amplitude.

b) Si la vitesse est inférieure à la vitesse limite, le point de passage avance vers les X positifs, la déformation maximum se déplace dans le même sens, elle diminue d'amplitude.

La valeur numérique de cette vitesse limite serait de 0,65 m/j dans le cas du panneau carré à 300 m de profondeur (1 m/j à 500 m de profondeur).

Un bâtiment vers lequel se dirige l'exploitation commencerait à subir l'extension quand le front est à 250 m en arrière; l'extension croît jusqu'à un maximum à la distance de 150 m, puis diminue jusqu'à s'annuler quand le front a dépassé le bâtiment d'environ 70 m. Dès lors, la compression va en croissant jusqu'à un maximum pour décroître ensuite asymptotiquement.

**Durée de l'affaissement.**

Cette durée peut se calculer pour un point quelconque de la surface. Elle comprend deux parties :

- affaissement au cours du déhoussement (a);
- affaissement postérieur au déhoussement (r).

L'affaissement (r) est d'autant plus grand que la vitesse est plus grande. Un diagramme figure les courbes de l'affaissement du centre du panneau en fonction du temps et en % de l'affaissement total. On y lit :

Vitesse :	0,50	1 m	2 m
a =	58 %	44 %	28 %

La durée totale, qui correspond à 99/100 de l'affaissement, est une fonction linéaire de l'inverse de la vitesse (diagramme hyperbole).

Vitesse = 0,50 m :	6 1/2 ans
1,00 m :	4 1/2 ans
2,00 m :	3 1/2 ans
$\infty$ :	2 ans.

Ce ne sont là que des indications. En réalité, la durée dépend de la valeur de la limite discernable, donc de la précision des observations, de la profondeur et du mode de remblayage. Une période de deux ans est un minimum pour des tailles remblayées et des exploitations à faible profondeur (200 m).

En résumé, la savante étude de M. Drap a montré qu'il est possible de trouver une solution analytique aux divers problèmes posés par les affaissements miniers à la surface du sol, mais c'est au prix de calculs extrêmement laborieux pour ceux qui ne possèdent pas le « cerveau électronique ». L'auteur ne considère d'ailleurs que le cas particulier des déformations dans le plan vertical. Les conclusions sont spécialement intéressantes parce que facilement contrôlables dans le cas de couches horizontales. Les exemples traités font bien saisir la marche générale des phénomènes d'affaissement, de contraction et de dilatation. Les valeurs numériques calculées s'accordent bien avec les observations en ce qui concerne les étapes intermédiaires et les vitesses d'avancement. En ce qui concerne les couches pentées, les formules sont absolument décevantes et n'apportent aucune aide au problème des prévisions.

Les publications récentes permettent d'utiles comparaisons sur ces questions controversées.