

# Annales des Mines de Belgique

## COMITÉ DIRECTEUR

MM. L. DEJARDIN, Directeur général des Mines, à Bruxelles, *Président*.  
J. LIBERT, Inspecteur général des Mines, à Liège, *Vice-Président*.  
J. JACQUET, Inspecteur général des mines, à Mons.  
J.-B. BEAUPAIN, Ingénieur en chef, Directeur des Mines, à Liège.  
O. LEDOUBLE, Ingénieur en chef, Directeur des mines, à Charleroi.  
L. DEMARET, Ingénieur en chef, Directeur des mines, à Mons.  
V. FIRKET, Ingénieur principal des mines, à Liège.  
V. WATTEYNE, Inspecteur général des Mines, à Bruxelles, *Secrétaire*.  
CH. GOOSSENS, Directeur à l'Administration centrale, à Bruxelles, *Secrétaire-adj.*

La collaboration aux *Annales des Mines de Belgique* est accessible à toutes les personnes compétentes.

Les mémoires ne peuvent être insérés qu'après approbation du Comité Directeur.

En décidant l'insertion d'un mémoire, le Comité n'assume aucune responsabilité des opinions ou des appréciations émises par l'auteur.

Les *Annales* paraissent en 4 livraisons respectivement dans les mois de Janvier, Avril, Juillet et Octobre de chaque année.

Abonnement { pour la Belgique fr. 10-00 par an.  
pour l'Étranger : fr. 12-50 par an.

LES ABONNEMENTS SE PAIENT PAR ANTICIPATION.

Pour tout ce qui regarde les abonnements, les annonces et l'administration en général, s'adresser à M. L. NARCISSE, éditeur, rue du Presbytère, 4, Ixelles-Bruxelles.

Pour tout ce qui concerne la rédaction s'adresser au Secrétaire du Comité Directeur, rue Lambermont, 2, à Bruxelles.

# MÉMOIRES

## LES AFFAISSEMENTS DU SOL

PRODUITS PAR

### L'EXPLOITATION HOUILLÈRE

PAR

LÉON THIRIART

Ingénieur honoraire des mines

Directeur gérant

de la Société anonyme des Charbonnages de Patience et Beaujonc

## AVANT-PROPOS

Comme on le verra au cours de la note suivante, l'idée nous était venue qu'il était possible de compléter la théorie de la « loi de la tangente », en recherchant théoriquement le tracé de la « la ligne de cassure secondaire » dont M. Hause parle dans ses publications.

Une autre question, plus importante, nous avait paru ne pas toujours recevoir la solution qui semblait adéquate aux faits. C'est celle de la durée de l'influence des travaux miniers sur les propriétés de la surface. Il n'était possible d'assigner à celle-ci une valeur à peu près exacte qu'en suivant la vie d'un grand nombre d'immeubles pendant une période de plusieurs années. On verra les conclusions que nous avons tirées de notre travail sur ce point.

Le lecteur nous saura gré d'avoir résumé, aussi brièvement que possible, les différentes publications sur la

matière. Il aura ainsi à sa disposition un ensemble dont il n'est pas toujours facile de se procurer les éléments.

Il est bien évident que la théorie de la ligne de cassure due aux travaux miniers doit céder le pas à l'examen des faits et que le moyen le plus sûr pour fixer la responsabilité des travaux miniers qu'on incrimine, sera toujours de rechercher s'il existe une certaine corrélation entre l'âge de ces travaux et la date d'apparition des dégradations à la surface.

### Tracé de la ligne de cassure dans le terrain houiller

1. *Observation de Toilliez (1838)*. — En 1838, Toilliez eut à rechercher la cause des dégradations affectant une maison située sur la concession de Houssu mais très près de l'esponte commune avec celle de Sars-Longchamps, située en amont pendage.

Par un amontement en ferme dans la couche Huit-Paumes supérieure à la couche Six-Paumes, il reconnut, dans les terrains de la première, des fissures correspondant aux normales de pied de l'exploitation faite dans la seconde.

2. *Théorie de Gonot (1858) (1)*. — En 1858, Gonot, à l'occasion de dégradations survenues aux maisons situées le long du quai de Fragnée, à Liège, érigea en théorie l'observation de Toilliez.

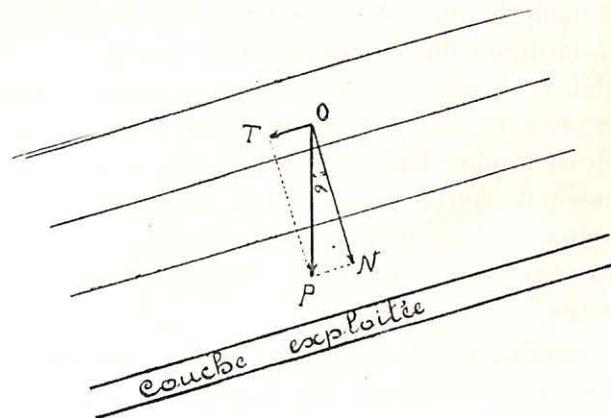


Fig. 1.

Il suppose un banc incliné d'un angle  $\alpha$  sur l'horizon et représente par  $OP$  le poids des roches homogènes qui

(1) *Des affaissements du sol produits par l'exploitation houillère*, par GUSTAVE DUMONT (1871). — Réponse de l'Union des Charbonnages, Mines et Usines, au mémoire précédent (1875).

recouvrent la partie exploitée et dont les composantes normale et parallèle à la stratification, sont :

$$\left. \begin{array}{l} \text{O N} = \text{O P} \cos \alpha. \\ \text{O T} = \text{O P} \sin \alpha. \end{array} \right\}$$

La composante OT ne produira aucun effet; elle est détruite à l'aval pendage par la résistance de la roche sous laquelle il n'y a pas eu d'exploitation. La composante ON provoquera la rupture des bancs supérieurs suivant leur plus petite dimension, c'est-à-dire normalement à la stratification et les fera descendre parallèlement à eux-mêmes.

3. *Théorie de Von Sparre (1867) (1)*. — Von Sparre fit les objections suivantes à la théorie de Gonot :

1° On ne peut admettre que tous les bancs du toit compris entre les verticales passant par les extrémités de la partie exploitée, pèseront complètement sur celui qui se trouve immédiatement au-dessus de la couche.

En effet, la cohésion entre les différents bancs étant très petite, le premier effet du déhouillement sera de provoquer dans le banc le plus bas une flexion qui le détachera du banc immédiatement supérieur et il faudra alors le considérer comme un banc isolé soumis à l'action de son propre poids qui pourra en amener la rupture dans les sections dangereuses.

2° La condition d'homogénéité qu'on doit s'imposer forcément pour examiner les conditions théoriques de sollicitation d'une poutre encastree, n'existe pas en réalité. Les différents bancs sont affectés de lignes de moindre résistance qui pourront modifier la direction que la théorie assigne aux lignes de cassure dans cette partie. Ce reproche peut donc être adressé à toutes les théories.

(1) Les mêmes mémoires que pour la théorie de Gonot.

4. Lorsqu'il s'agit d'une poutre horizontale soumise à l'action d'une force uniformément répartie, Von Sparre conclut que la rupture se produit *simultanément* aux sections d'encastrement et au milieu de la pièce. C'est une erreur. Le phénomène ne se produit de cette manière que dans le cas d'une poutre encastree à ses deux extrémités et soumise à l'action d'une force agissant en son milieu.

5. Dans le cas d'une poutre d'épaisseur  $h$ , de largeur unité, de longueur  $l$ , de densité  $\delta$  et inclinée d'un angle  $\alpha$  avec l'horizon, la charge uniformément répartie par unité de longueur est  $p = h \delta$ .

Les sections dangereuses se trouvent aux sections d'encastrement où le moment de flexion est en valeur absolue :  $m = \frac{pl^2 \cos \alpha}{12}$ . Au milieu de la pièce, le moment de flexion est  $M_m = \frac{pl^2 \cos \alpha}{24}$ .

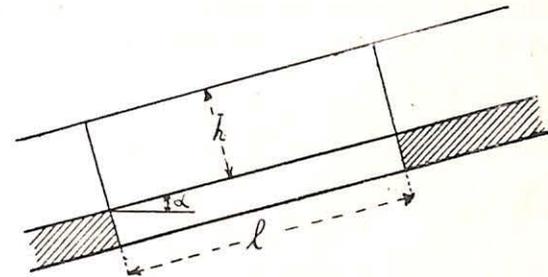


Fig. 2.

La formule générale des poutres soumises à flexion étant

$$\frac{M}{R} = \frac{I}{v} \quad \text{dans laquelle}$$

$$M = \text{moment de flexion} = \frac{pl^2 \cos \alpha}{12}.$$

$$R = \text{résistance de la roche à la flexion.}$$

$$\frac{I}{v} = \text{module de flexion} = \frac{h^2}{6}.$$

En remplaçant il viendra :

$$\frac{pl^2 \cos \alpha}{12 R} = \frac{h^2}{6} \quad \text{et comme } p = h \delta, \text{ on aura}$$

$$l^2 = \frac{2 R h}{\delta \cos \alpha} \quad (1)$$

$$h = \frac{\delta l^2 \cos \alpha}{2 R} \quad (2)$$

La formule (1) fait connaître le porte à faux  $l$  nécessaire pour produire la rupture d'un banc de roche d'épaisseur  $h$ , de densité  $\delta$ , de résistance  $R$  et d'inclinaison  $\alpha$ . La formule (2) donne l'épaisseur  $h$  d'un banc de roche à partir de laquelle la rupture se produira sous un porte à faux de longueur  $l$ .

6. Von Sparre fit lui-même les objections suivantes à sa théorie :

1° On ne tient aucun compte de la composante parallèle à l'inclinaison de la pièce qui engendre une compression vers le bas et une traction sur la section d'amont.

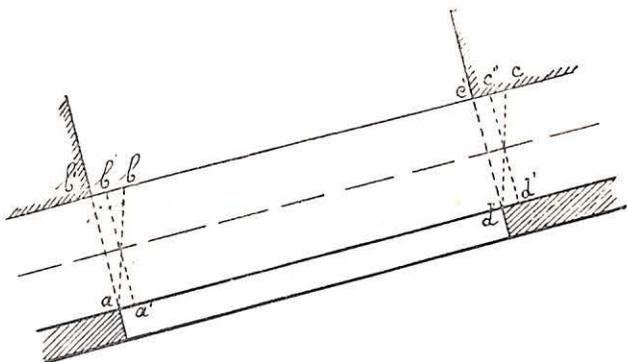


Fig. 3.

2° Lorsque les couches sont inclinées, la force qui tend à produire l'affaissement est le poids de la partie  $a b c d$  et non celui de  $a' b' c' d'$ . Ils ont bien même valeur, mais les éléments ne sont pas répartis de la même manière, cir-

constance qui suffit à déplacer la position des joints de rupture qui seront suivant  $a' b'$  et  $d' c'$ . Cette propriété indiquée par Von Sparre fut démontrée par M. Dwelshauwers-Dery. La cassure d'aval se produira en gradins renversés tandis que celle d'amont se dessinera en gradins droits et la direction de la ligne de cassure sera comprise entre la verticale et la normale à la couche.

7. *Théorie de Gustave Dumont (1871)* (1). — Gustave Dumont n'admet pas non plus que le banc immédiatement supérieur à la couche déhouillée est soumis à l'action du poids des bancs surincombants. Comme Von Sparre, il examine les conditions de sollicitation d'un banc soumis à l'action de son propre poids. Il montre d'abord que la rupture d'une poutre reposant sur deux appuis de niveau, se fait en son milieu.

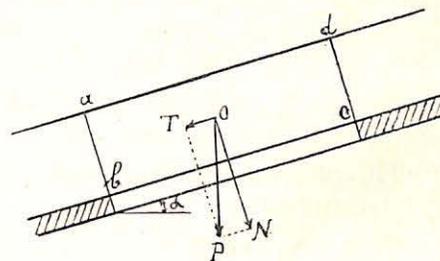


Fig. 4.

Si, au contraire, dit-il, elle est encadrée par ses extrémités, il admet comme Von Sparre que la flexion produira *simultanément* trois ruptures, l'une en son milieu et les deux autres auprès des points d'appui et toutes trois dans des sections perpendiculaires au plan de la poutre. S'il s'agit d'une poutre inclinée, il s'écarte des idées de Von Sparre et il décompose le poids total  $OP$  du banc en deux composantes :  $OT = OP \sin \alpha$  et  $ON = OP \cos \alpha$ .

(1) Les mêmes mémoires que pour la théorie de Gonot.

La composante  $OT$  tend à écraser le banc, la composante  $ON$  tend à le rompre par flexion. La résistance à l'écrasement étant notablement plus grande que celle à la rupture, c'est la rupture qui se produira d'abord et elle aura lieu normalement à la stratification qui est la ligne suivant laquelle le banc présente le moins de résistance. Les bancs supérieurs se rompent de même.

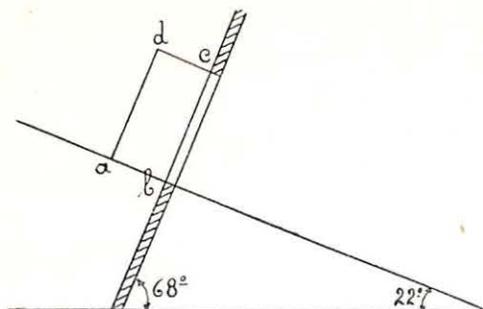


Fig. 5.

La condition d'équilibre strict entre  $ON$  et le frottement produit par  $OT$  dans le joint de rupture, a lieu, suivant lui, lorsque le joint de rupture  $ab$  fait un angle de  $22^\circ$  avec l'horizontale, ce qui correspond à une inclinaison  $\alpha = 68^\circ$  pour la stratification.

Pour déterminer cet angle de  $22^\circ$ , Dumont place un morceau de schiste ou de grès sur un morceau de même nature qu'il incline jusqu'au moment où le frottement est vaincu. De ce qui précède, Dumont déduit la « loi » de la normale qu'il formule comme il suit :

*Lorsque des couches de schiste, de grès ou de houille ont moins de  $68^\circ$  d'inclinaison, les cassures qui se produisent à la suite de l'exploitation jusque la surface, sont représentées par des plans normaux à leur inclinaison, passant par les points d'appui sur lesquels elles reposent et qui ne sont autres que la couche vierge qui se trouve à l'aval et à l'amont pendages.*

*Aux points correspondant aux vifs-thiers, les cassures prennent une direction sensiblement perpendiculaire à celles ci-dessus. Lorsque les couches seront en dressant, le glissement se fera suivant les joints de stratification par suite de leur peu d'adhérence entre eux, surtout lorsque le sol a déjà été remué par d'autres exploitations.*

8. Les objections suivantes furent faites à la théorie de Dumont.

1° La méthode employée pour déterminer l'angle de  $22^\circ$  est critiquable. En effet, lorsque la rupture d'une roche se produit, le joint de rupture n'est jamais poli comme dans l'expérience de Dumont. Il est, au contraire, rugueux et on conçoit que le frottement qui fait équilibre à la composante  $ON$  ne se produira que lorsque la pente du joint  $ab$  sera notablement supérieure à  $22^\circ$  ce qui correspond à des couches ayant moins de  $68^\circ$  de pente. D'autre part, la détermination de l'angle de frottement a fait l'objet de recherches d'expérimentateurs habiles et Dumont aurait dû se référer à leurs travaux.

Avec Von Dechen, on admet généralement que le frottement ne sera vaincu que lorsque le joint  $ab$  aura une pente de  $40^\circ$ , ce qui correspond à une inclinaison de  $50^\circ$  pour la couche, pente au-delà de laquelle la loi de la normale ne serait plus applicable.

2° Dumont ne tient aucun compte des observations de Von Sparre au sujet de l'encastrement d'une couche inclinée.

3° La loi dite de la normale est une analyse incomplète des éléments du problème.

En effet, du moment qu'on admet une limite de pente à son application, on reconnaît que l'inclinaison des roches exerce une influence sur la direction de leur affaissement. Il est inadmissible que l'angle du plan de fracture avec celui de la couche reste constant jusqu'à un certain maximum au-delà duquel il décroîtrait pour devenir nul

lorsque les couches ont une inclinaison de  $90^\circ$ . Il est naturel, au contraire, de croire que cet angle est une fonction de l'angle de pente de la couche. Suivant M. Timmerhans, on doit considérer non seulement la composante  $ON$ , qui tend à produire la rupture des roches par flexion, mais aussi la composante  $OT$  qui, d'après un principe théorique posé par Coulomb et vérifié expérimentalement, agirait pour les briser suivant un plan faisant un angle de  $45^\circ$  avec le plan de fracture par flexion.

Coulomb plaçait verticalement un prisme sur sa base et le soumettait à un effort de compression. Avant de s'écraser, il se rompait sous un angle de  $45^\circ$  avec l'horizontale.

Il résulte de là que, sous l'action combinée de  $ON$  et  $OT$ , la rupture devrait se faire suivant une ligne intermédiaire entre les deux directions indiquées suivant l'importance de  $ON$  et  $OT$ .

Vicat ayant repris la question, réfuta la théorie de Coulomb et les conclusions de Vicat furent à leur tour attaquées par l'Académie des Sciences.

Il ne peut être question d'appliquer aux affaissements miniers les essais de Coulomb et de Vicat, parce que, dans toute théorie des conséquences des exploitations en dressant, on néglige une cause générale de rupture qui se révèle sur la roche en place : c'est le foisonnement. Il est la conséquence du vide créé et se manifeste quelle que soit la pente du gisement. Il met en jeu des pressions énormes qu'on ne saurait reproduire artificiellement et qui sont bien supérieures au poids.

### 9. Théorie de M. Banneux. — Loi de la tangente (1). —

(1) La théorie de la loi de la tangente étant inédite, son auteur, M. Ph. Banneux, Directeur gérant des Charbonnages du Horloz, a bien voulu nous la communiquer et nous a autorisé à la publier. Il en est de même de certaines considérations qui sont relatées en différents points de ce Mémoire et notamment au paragraphe relatif à la propagation de la ligne de cassure dans les terrains de recouvrement.

La loi dite de la normale n'est qu'un cas particulier d'une loi générale : *la loi de la tangente*. Celle-ci s'établit d'une façon rigoureuse dans l'hypothèse de terrains homogènes. Nous verrons que la loi de la normale n'est applicable que dans le cas particulier de strates horizontales et rien que dans ce cas.

Pour résoudre le problème des affaissements, étudions les conditions de sollicitation et de résistance d'un solide prismatique homogène, encastré par ses extrémités et soumis à l'action de la pesanteur ou plus généralement à une action, uniformément répartie, d'intensité  $p$  par unité de longueur.

La pièce est supposée inclinée sous un angle  $\alpha$ , et tous les points qui pèsent vers le vide sont délimités par les sections verticales passant par les points d'appui  $B$  et  $B'$  de l'encastrement. On choisira pour origine le point d'intersection  $A$  de l'axe neutre  $AA'$  (axe des abscisses) avec la verticale du point d'appui  $B$  de l'encastrement. L'axe des ordonnées sera la perpendiculaire  $AY$  à  $AA'$ .

La poutre est en équilibre sous l'action des forces extérieures et des réactions de tous genres produites aux encastremets.

Désignons par  $R$  la composante normale à  $AA'$  à l'encastrement d'aval et par  $m$  l'axe du couple dû à l'encastrement au point  $A$ .

$R$  est la partie de la réaction qui a seule une influence sur le moment fléchissant, la composante de cette réaction suivant  $AA'$  étant sans effet ;  $m$ , notation qui renferme son signe, est perpendiculaire au plan de flexion ou plan de symétrie dans lequel agissent les forces extérieures,  $R'$  et  $m'$ , les quantités analogues à  $R$  et  $m$ , mais relatives à l'encastrement d'amont  $A'$ .

La poutre de longueur  $AA' = l$ , de largeur égale à

l'unité pourra être considérée comme libre si on la soumet à l'action des forces  $R$  et  $R'$ , des couples  $m$  et  $m'$  et de la résultante verticale  $p l$  appliquée au milieu  $M$  de  $A A'$ .

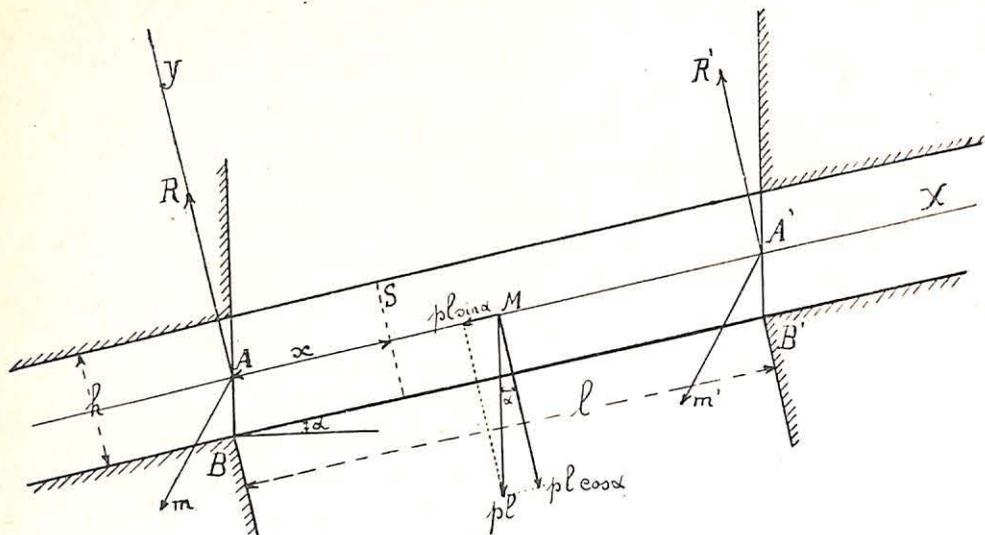


Fig. 6.

A une distance  $AS = x$ , traçons dans la poutre une section normale à l'axe  $AA'$ . Le moment fléchissant qui sollicite la face normale d'aval de la partie  $SA'$  sera :

$$M = R x - p x \cos \alpha \frac{x}{2} + m = R x + m - \frac{p x^2 \cos \alpha}{2}$$

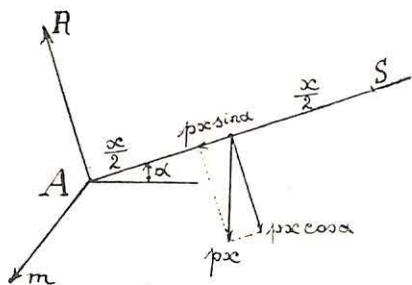


Fig. 7.

Pour déterminer  $R$  et  $m$ , écrivons l'équation différen-

tielle de l'élastique de flexion rapportée aux axes  $AX$ ,  $AY$ . Elle est :

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{M}{E I}$$

$M$  étant le moment de flexion dans la section  $S$  ;  
 $E$  le coefficient d'élasticité ;

$I$  le moment d'inertie de la section  $S$ .

On a :

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{1}{E I} \left( R x + m - \frac{p x^2 \cos \alpha}{2} \right)$$

$$\frac{d y}{d x} = \frac{1}{E I} \left( \frac{R x^2}{2} + m x - \frac{p x^3 \cos \alpha}{6} \right)$$

$$y = \frac{1}{2 E I} \left( \frac{R x^3}{3} + m x^2 - \frac{p x^4 \cos \alpha}{12} \right)$$

Aux encastremets, la tangente à l'élastique est parallèle à  $AX$ . En conséquence pour  $x = l$ , on a  $y = 0$  et  $\frac{d y}{d x} = 0$  d'où :

$$\frac{R l}{2} + m - \frac{p l^2 \cos \alpha}{6} = 0$$

$$\frac{R l}{3} + m - \frac{p l^2 \cos \alpha}{12} = 0.$$

De ces équations simultanées, on tire :

$$R = \frac{p l \cos \alpha}{2}$$

$$m = - \frac{p l^2 \cos \alpha}{12}$$

Remplaçant  $R$  et  $m$  par leurs valeurs dans  $M$ , on trouvera après réductions :

$$M = \frac{p \cos \alpha}{12} \left[ 6 x (l - x) - l^2 \right]$$

10. *Valeur maxima de M.* — M est maximum lorsque  $x$  n'est pas nul en même temps que le produit  $x(l-x)$  dont la somme des facteurs est constante et égale à  $l$ . Ce maximum a lieu pour :

$$x = l - x \quad x = \frac{l}{2}.$$

Ce moment maximum que nous désignons par  $M_m$  est :

$$M_m = \frac{p l^2 \cos \alpha}{24}$$

$M_m$  étant positif dans la section médiane de la poutre, les fibres supérieures de celles-ci seront comprimées et les fibres inférieures allongées.

11. *Moment aux encastremets.* — Faisons  $x = l$  dans la valeur de M, on aura :

$$m' = - \frac{p l^2 \cos \alpha}{12} = m$$

ce qui signifie qu'à l'encastrement  $A'$ , les fibres supérieures sont allongées et les fibres inférieures comprimées et qu'à l'encastrement  $A$  les fibres supérieures de la face d'aval de  $AA'$  sont allongées et les fibres inférieures comprimées.

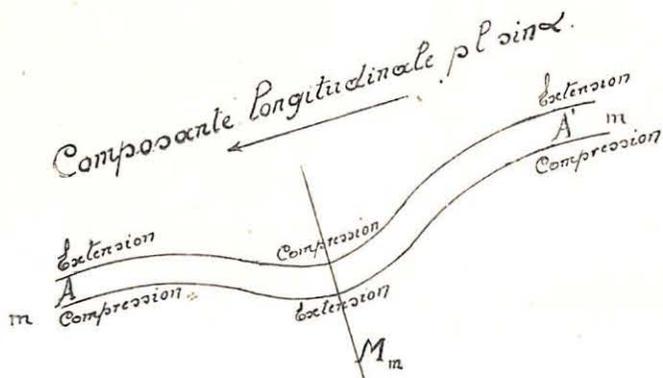


Fig. 8.

Ces différentes déductions sont figurées dans la figure 8.

12. *Valeur de R.* — De la relation évidente

$$R + R' = p l \cos \alpha$$

on conclut

$$R' = p l \cos \alpha - R = p l \cos \alpha - \frac{1}{2} p l \cos \alpha = \frac{1}{2} p l \cos \alpha = R$$

13. *Conclusion.* — Des calculs qui précèdent, on conclut que le moment fléchissant est plus grand dans les sections normales à  $AA'$  passant par  $A$  et  $A'$ . Il y est le double de celui au milieu de la pièce.

Ces sections aux encastremets constituent par conséquent les sections dangereuses ou de plus facile rupture et c'est là que la pièce se rompra d'abord. L'effet de la simple flexion en admettant la même résistance spécifique à l'extension et à la compression, produira la rupture simultanément aux encastremets et à la fois dans les fibres supérieures et inférieures.

14. *De l'influence de la composante longitudinale  $p l \sin \alpha$ .* — 1° A l'encastrement d'aval  $A$ , cette composante a pour effet de comprimer toutes les fibres déjà mises en œuvre par la flexion. Il en résulte que les fibres supérieures allongées en seront soulagées et que les fibres inférieures comprimées seront d'autant plus compromises.

2° A l'encastrement d'amont  $A'$ , cette composante a pour effet d'allonger toutes les fibres. Les supérieures seront donc plus fortement sollicitées que par la flexion seule; les inférieures le seront moins.

L'intervention de la composante longitudinale aura donc pour effet dans les hypothèses indiquées, de faire commencer la rupture par le bas dans la section d'aval et par le haut dans la section d'amont.

15. *De l'influence de l'effort tranchant.* — L'effort tranchant provoque une action de cisaillement suivant

chaque section. Son influence qui est négligeable est cependant favorable à la production des ruptures telles qu'elles viennent d'être exposées.

16. *De l'influence de la pente.* — Le moment de rupture à l'encastrement est, en valeur absolue :

$$m = \frac{p l^2 \cos \alpha}{12}$$

$m$  tend vers zéro quand  $\alpha$  tend vers  $\frac{\pi}{2}$  et il se présentera un angle  $\alpha$  pour lequel le moment  $m$  sera insuffisant pour produire seul la rupture.

17. *Détermination de la tension de la fibre la plus fatiguée aux encastrements.* — La tension  $K$ , de la fibre la plus fatiguée due à la flexion seule est donnée par :

$$\frac{m}{K_1} = \frac{I}{v}$$

$I$  moment d'inertie de la section par rapport à un axe passant par son centre de gravité et normal au plan de flexion ;

$v$  distance de la fibre la plus fatiguée à la fibre neutre ;  
 $m$  moment de flexion à l'encastrement.

Désignons par  $h$  l'épaisseur du banc soumis à la flexion. Le moment d'inertie de la section de hauteur  $h$  et de largeur unité sera  $\frac{h^3}{12}$ . On a  $v = \frac{h}{2}$  d'où en remplaçant

$$\frac{\frac{p l^2 \cos \alpha}{12}}{K_1} = \frac{\frac{h^3}{12}}{\frac{h}{2}}$$

$$K_1 = \frac{p l^2 \cos \alpha}{2 h^2}$$

La tension  $K_2$  par unité de surface due à la composante longitudinale  $p l \sin \alpha$  est :

$$K_2 = \frac{p l \sin \alpha}{h}$$

Au total :

$$K = K_1 + K_2 = \frac{p l}{h} \left( \sin \alpha + \frac{l \cos \alpha}{2 h} \right)$$

Comme on a  $p = h \delta$ ,  $\delta$  étant la densité des roches du banc, il viendra

$$K = \frac{\delta l}{2 h} (2 h \sin \alpha + l \cos \alpha)$$

Il y aura rupture du banc si l'on a  $K \geq N$ ,  $N$  étant la résistance spécifique de rupture à l'extension ou à la compression du banc. (On prendra la plus petite de ces deux valeurs.) On en déduit :

$$\frac{\delta l}{2 h} (2 h \sin \alpha + l \cos \alpha) \geq N$$

$$l^2 + 2 h l \operatorname{tg} \alpha - \frac{2 N h}{\delta \cos \alpha} \geq 0$$

Les racines de ce trinôme égalé à zéro, sont :

$$l = - h \operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2 N h}{\delta \cos \alpha}}$$

La quantité sous le signe radical donnera son signe aux racines. Il en résulte qu'une sera positive et l'autre négative.

Comme  $l$  doit toujours être positif, le trinôme sera toujours plus grand que zéro pour toute valeur de  $l$  plus grande que la racine positive.

$$l > - h \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2 N h}{\delta \cos \alpha}}$$

Il y aura donc rupture d'un banc de hauteur  $h$ , de densité  $\delta$  et d'inclinaison  $\alpha$  lorsque  $l$  sera plus grand que la valeur indiquée. On pourra alors former le tableau suivant donnant les valeurs de  $l$  correspondantes à différentes épaisseurs  $h$  sous des angles variables  $\alpha$ .

On fera  $N = 45,000$  kg par mètre carré et  $\delta = 2,500$  kg au mètre cube, d'où :

$$l > -h \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{360 h}{\cos \alpha}}$$

	$\alpha=10^\circ$	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	85°
$h = 1^m$	19 00	19.20	19.80	20.90	21.60	22.50	25.20	29.80	40.20	53.90
2 <sup>m</sup>	26.70	27.00	27.70	29.00	30.00	31.20	34.60	43.50	54.00	70.90
3 <sup>m</sup>	32 60	32 80	33.60	35.10	36.20	37.60	41.60	48.60	63.60	82.20
4 <sup>m</sup>	37.60	37.70	38.50	40.10	41.20	42.80	47.20	54.80	71.20	90.70
5 <sup>m</sup>	41.90	42.00	42.80	44.40	45.70	47.30	52.00	60.10	77.30	97.50
6 <sup>m</sup>	45.80	45.80	46.60	48.30	49.60	51.30	56.20	64.70	82.60	103.00
7 <sup>m</sup>	49.40	49.30	50.10	51.80	53.10	54.82	59.90	68.70	87.20	107.90
8 <sup>m</sup>	52.70	52,50	53.20	55,00	56.30	58.10	62.00	72.40	91.20	112.00
9 <sup>m</sup>	55.80	55.60	56.20	57.90	59.30	61.10	64.90	75.70	94 70	115.70
10 <sup>m</sup>	58.70	58.40	59.00	60.60	62.00	63.90	69.30	78.70	98.00	118.90

18. *Corollaire.* — Lorsque l'on exploite une partie de couche A B en laissant en place le charbon en aval de A et en amont de B, on peut considérer les bancs supérieurs à la couche comme encastres aux deux extrémités et la rupture se produit comme nous l'avons indiqué.

Si l'on exploite ensuite la partie A C, les bancs supérieurs sont encore encastres à l'aval mais il n'en est plus

de même à l'amont où la cassure en A produite par l'exploitation antérieure de A B doit faire considérer les bancs supérieurs à A C comme libres à l'extrémité à l'endroit de A.

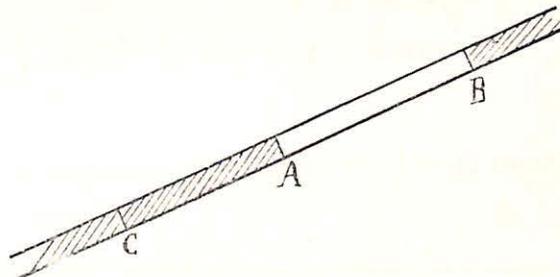


Fig. 9.

Le moment maximum se trouve encore à l'encastrement. Sa valeur absolue est  $\frac{p l^2 \cos \alpha}{2}$  et la tension par unité de surface dans la fibre la plus fatiguée sera, en tenant compte de la flexion et de l'influence de la composante longitudinale :

$$K = \frac{3 p l^2 \cos \alpha}{h^2} + \frac{p l \sin \alpha}{h}$$

La rupture exige :

$$\frac{3 p l^2 \cos \alpha}{h^2} + \frac{p l \sin \alpha}{h} \geq N$$

Les racines du trinôme égalé à zéro, sont :

$$3 l^2 + h l \operatorname{tg} \alpha - \frac{N h}{\delta \cos \alpha} = 0$$

$$l = \frac{h \operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 12 \frac{N h}{\delta \cos \alpha}}}{6}$$

On choisit la racine positive et pour qu'il y ait rupture il faut :

$$l > \frac{-h \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{12 N h}{\delta \cos \alpha}}}{6}$$

$$l > \frac{-h \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2160 h}{\cos \alpha}}}{6}$$

On formera alors le tableau suivant analogue au précédent.

	$\alpha=10^\circ$	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	85°
$h = 1\text{m}$	7.80	7.90	8.20	8.70	9.10	9.50	10.70	12.80	17.70	24.40
2 <sup>m</sup>	11.00	11.20	11.70	12.20	12.70	13.30	14.60	17.80	24.50	33.50
3 <sup>m</sup>	13.40	13.70	14.10	14.90	15.30	16.10	18.10	21.60	29.50	40.10
4 <sup>m</sup>	15.50	15.70	16.30	17.10	17.80	18.60	20.80	24.70	33.60	43.50
5 <sup>m</sup>	17.40	17.50	18.10	19.10	19.80	20.80	23.10	27.40	37.10	49.90
6 <sup>m</sup>	19.00	19.20	19.80	20.90	21.70	22.50	25.10	29.80	40.20	53.90
7 <sup>m</sup>	20.50	20.70	21.40	22.40	23.30	24.20	27.20	32.00	43.00	57.30
8 <sup>m</sup>	21.90	22.10	22.80	24.00	24.80	25.80	28.80	34.00	45.60	60.50
9 <sup>m</sup>	23.10	23.50	24.10	25.30	26.20	27.30	30.30	35.60	47.90	63.40
10 <sup>m</sup>	24.40	24.90	25.40	26.60	27.50	28.60	31.90	37.60	50.00	66.10

19. De la propagation des affaissements et du tracé de la ligne de cassure. — Après la rupture du premier banc suivant  $S_1 S_1$ , s'effectuera celle du second suivant  $S_2 S_2$ ; ensuite celle du troisième suivant  $S_3 S_3$  et ainsi de suite.

Rapportons le système des points supérieurs de chacun

de ces couples à deux axes dont l'un est  $O X$  suivant l'inclinaison de la stratification et l'autre  $O Y$  perpendiculaire à  $O X$ .

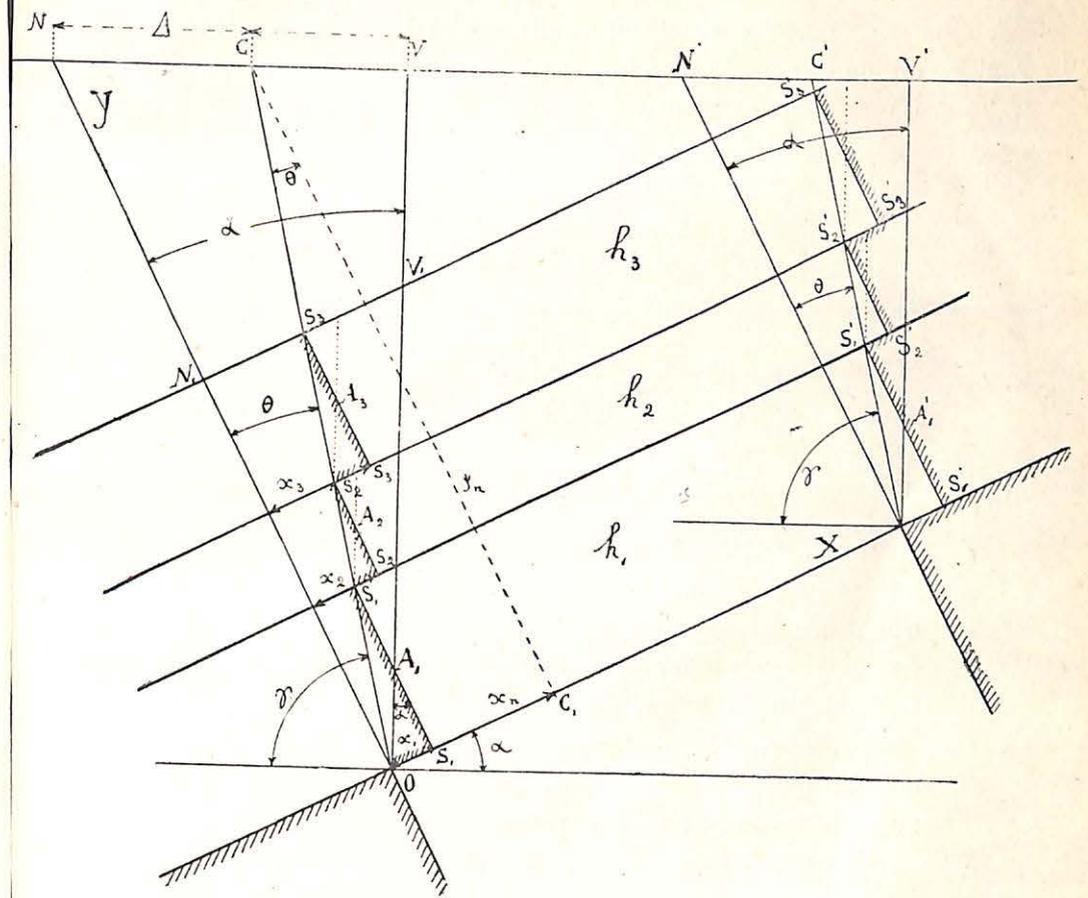


Fig. 10.

Désignons par  $h_1 h_2 h_3 \dots$  les épaisseurs des bancs. Les abscisses des points successifs  $S_1 S_2 S_3 \dots$  seront :

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{1}{2} h_1 \operatorname{tg} \alpha \\ x_2 &= x_1 + \frac{1}{2} h_2 \operatorname{tg} \alpha \\ x_3 &= x_2 + \frac{1}{2} h_3 \operatorname{tg} \alpha \\ &\dots \\ x_n &= x_{n-1} + \frac{1}{2} h_n \operatorname{tg} \alpha \end{aligned}$$

Ajoutant membre à membre et faisant la réduction des termes semblables

$$x_n = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \Sigma_1^n h$$

$x_n$  étant l'abscisse du point C projection de l'intersection du plan de cassure et du plan horizontal sur le plan Y O X. L'ordonnée du point C sera :

$$y_n = \Sigma_1^n h \quad \text{d'où}$$

$$x_n = \frac{1}{2} y_n \operatorname{tg} \alpha$$

$$y_n = 2 x_n \operatorname{cotg} \alpha$$

$$\frac{y_n}{x_n} = 2 \operatorname{cotg} \alpha$$

Dans le triangle C C<sub>1</sub> O on a

$$y_n = x_n \operatorname{tg} \angle C O C_1 = x_n \operatorname{cotg} \theta \quad \text{d'où}$$

$$\operatorname{cotg} \theta = 2 \operatorname{cotg} \alpha$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$$

*Telle est la loi de la tangente : La déviation en coupe normale de la ligne suivant laquelle se propage la cassure due à une exploitation en terrains homogènes est égale à la moitié de la pente des terrains rompus.*

$\operatorname{tg} \theta$  s'appelle déviation ;  $\operatorname{tg} \alpha$  est la pente.

*Corollaire I.* — Pour  $\alpha = 0$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = 0$  et  $\operatorname{tg} \theta = 0$ . Il en résulte que pour des terrains horizontaux, la normale au banc est la ligne de cassure.

*Corollaire II.* — La ligne de cassure se fait entre la verticale O V et la bissectrice de l'angle N O V. En effet :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} > \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{d'où}$$

$$\theta > \frac{\alpha}{2}.$$

20. *Détermination graphique de l'angle  $\theta$ .* — Si l'on considère O N<sub>1</sub> et O V<sub>1</sub> comme les côtés d'un parallé-

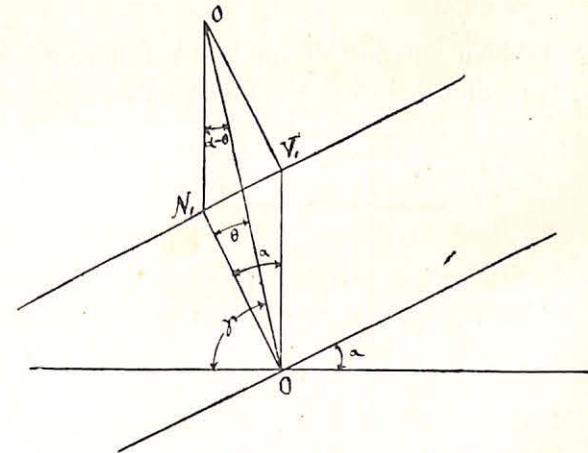


Fig. 11.

gramme O N<sub>1</sub> O V<sub>1</sub> et si l'on trace la diagonale OO', le triangle O N<sub>1</sub> O donne :

$$\frac{O N_1}{O' N_1} = \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \theta}$$

mais O' N<sub>1</sub> = O V<sub>1</sub> et O N<sub>1</sub> = O V<sub>1</sub> cos  $\alpha$ , et la proportion devient :

$$\frac{O V_1 \cos \alpha}{O V_1} = \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \theta}$$

$$\sin \theta \cos \alpha = \sin \alpha \cos \theta - \sin \theta \cos \alpha$$

$$2 \sin \theta \cos \alpha = \sin \alpha \cos \theta$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha.$$

Pour avoir la direction de la ligne de cassure, il suffit donc de construire le parallélogramme O N<sub>1</sub> O' V<sub>1</sub> et de tracer la diagonale OO'.

21. L'angle  $\gamma$  que forme la ligne de cassure avec l'horizontale est :

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - (\alpha - \theta) = \frac{\pi}{2} + \theta - \alpha.$$

22. Le tableau suivant donne pour différentes inclinaisons  $\alpha$ , les valeurs de  $\theta$  et  $\gamma$  à un quart de degré près.

$\alpha$	$\theta$	$\gamma$
0	0	90
10	5	85
20	10 $\frac{1}{4}$	80 $\frac{1}{4}$
30	16	76
40	22 $\frac{3}{4}$	72 $\frac{3}{4}$
50	30 $\frac{3}{4}$	70 $\frac{3}{4}$
60	41	71
70	54	74
80	70 $\frac{1}{2}$	81 $\frac{1}{2}$
90	90	90

23. *Déviations à la surface du sol.* — L'erreur que l'on commet dans le tracé de la ligne de cassure en adoptant la règle de la normale est  $CN = NV - CV$ .

Posons  $OV = H$ .

$$NV = H \operatorname{tg} \alpha$$

$$CV = H \operatorname{tg} (\alpha - \theta)$$

$$CN = H \left[ \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} (\alpha - \theta) \right] = H \left[ \operatorname{tg} \alpha - \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \theta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta} \right]$$

mais  $\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$ , d'où :

$$CN = H \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{\operatorname{tg} \alpha - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha}{1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \alpha} \right) = H \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \cos^2 \alpha}.$$

24. *Théorie de M. Hause (1885 et 1907)*(1). — M. Hause estime que la ligne de cassure est comprise entre la verticale et la normale à la couche.

En aval pendage et pour certaines inclinaisons, si elle était normale à la couche, elle pourrait faire avec l'horizontale extérieure un angle plus petit que l'angle du talus naturel des roches. En amont pendage, la cassure suivant la normale à la couche est impossible parce que le plan de cassure surplomberait le vide et ne pourrait se maintenir.

Suivant cet auteur, la ligne de cassure qu'il trace d'après la loi  $\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$  serait dénommée « ligne de cassure principale ». Il y en aurait une autre appelée « ligne de cassure secondaire » se propageant à l'extérieur de la première pour agrandir la zone influencée. Elle est due à l'action de la pesanteur et à la poussée au vide des roches sur les parois libres des cassures principales. On conçoit que la cassure secondaire ne puisse se produire suivant le talus naturel des roches, sauf dans le cas d'exploitation à ciel ouvert.

Pour des couches horizontales, la cassure principale sera verticale et la cassure secondaire sera suivant la bissectrice du complément de l'angle  $\beta$  que fait le talus naturel des roches avec l'horizon.

Remarquons que dans ce cas la direc-

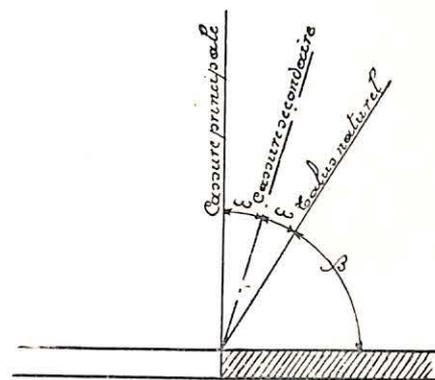


Fig. 12.

(1) Annuaire des Mines et Minières du Royaume de Saxe. Année 1885. — Zeitschrift für das Berg-Hütten und Salinen-Wesen. Année 1907.

tion de la cassure secondaire est celle qui limite le prisme de poussée maxima tel, qu'il est défini dans la théorie de la poussée des terres.

Pour des couches horizontales, M. Hause pose :

$$\begin{aligned} \beta + \omega &= 70^\circ & \beta + 2\omega &= 90^\circ \\ \omega &= 20^\circ & \beta &= 50^\circ \end{aligned}$$

Lorsque les couches sont inclinées on peut admettre, dit M. Hause, que l'angle des deux cassures reste constant et égal à 20° tel qu'il a été calculé ci-dessus; mais comme on peut objecter que cette valeur est trop élevée pour certaines inclinaisons, il fait varier, comme il va être indiqué, l'angle des deux cassures.

Les angles de la cassure secondaire avec l'horizontale extérieure déterminés dans les deux hypothèses prévues sont consignés dans le tableau suivant :

$\alpha$	Angle de la cassure principale d'aval pendage avec l'horizontale extérieure ou $\frac{\pi}{2} - (\alpha - \theta)$	Angle de la cassure secondaire avec l'horizontale extérieure			
		Aval pendage		Amont pendage	
		1 <sup>re</sup> hypothèse	2 <sup>me</sup> hypothèse	1 <sup>re</sup> hypothèse	2 <sup>me</sup> hypothèse
0	90	90	90	180-90	180-90
10	85	85	85	180-85	180-85
20	80 1/4	80 1/4	80 1/4	180-80 1/4	180-80 1/4
30	76	76	76	180-76	180-76
40	72 3/4	72 3/4	72 3/4	180-72 3/4	180-72 3/4
50	70 3/4	70 3/4	70 3/4	180-70 3/4	180-70 3/4
60	71	71	71	180-71	180-71
70	74	74	74	180-74	180-74
80	81 1/2	81 1/2	81 1/2	180-81 1/2	180-81 1/2
90	90	90	90	180-90	180-90

REMARQUE. — A l'aval pendage (1<sup>re</sup> hypothèse) pour des angles  $\alpha$  de 40, 50, 60 et 70°, la ligne de cassure secondaire coïnciderait presque avec celle du talus naturel des roches.

A l'amont pendage (seconde hypothèse) pour des valeurs de  $\alpha$  de 30, 40, 50, 60 et 70°, la ligne de cassure secondaire serait surplombante.

25. *Recherche directe de la direction de la ligne de cassure secondaire.* — Si l'on admet les idées de M. Hause, nous pensons qu'il est plus rationnel de rechercher directement la direction de la cassure secondaire par la théorie de la poussée des terres, sur un mur dont la paroi du côté des terres serait représentée par la cassure principale A B (fig. 13).

L'inclinaison des bancs avec l'horizontale A C est  $\alpha$  et le massif des roches est limité vers le haut par une surface B H que nous supposons horizontalé. Il en résulte que le « mur de soutènement » est soumis à l'action des roches comprises entre les plans A D et B H et il faut rechercher la direction B K qui donne la poussée maxima de ce massif que nous supposons de longueur unité. L'angle du talus naturel des roches par rapport à la direction A D est  $\beta$  et il reste constant quel que soit  $\alpha$ .

Désignons par Q le poids du prisme de poussée maxima B A K. La composante normale à A B de la réaction de cette poussée est P et la composante suivant A B est P tg  $\beta$ . Suivant A K on aurait de même N et N tg  $\beta$ .

Le prisme A B K étant en équilibre sous l'action de Q, P, P tg  $\beta$ , N et N tg  $\beta$ , la somme des projections de ces forces suivant deux axes coordonnés A C, A G, sera égale à zéro.

26. 1<sup>er</sup> CAS. — La ligne de cassure principale est tracée à l'amont pendage de la partie déhouillée.

Désignons par  $\omega$  l'angle B A K. On a :

$$\begin{aligned} P \operatorname{tg} \beta \cos (\alpha - \theta) + P \sin (\alpha - \theta) + N \sin (\omega - \alpha + \theta) + N \operatorname{tg} \beta \cos (\omega - \alpha + \theta) - Q &= 0 \\ P \cos (\alpha - \theta) - P \operatorname{tg} \beta \sin (\alpha - \theta) - N \cos (\omega - \alpha + \theta) + N \operatorname{tg} \beta \sin (\omega - \alpha + \theta) &= 0. \end{aligned}$$

Si on pose  $P \operatorname{tg} \beta = 0$ , nous obtiendrons une poussée un peu supérieure qui augmentera par conséquent le prisme de poussée et partant l'angle  $\omega$ .

Les équations précédentes se réduiront alors à :

$$P \sin (\alpha - \theta) + N \sin (\omega + \theta - \alpha) + N \operatorname{tg} \beta \cos (\omega + \theta - \alpha) - Q = 0 \quad (3)$$

$$P \cos (\alpha - \theta) - N \cos (\omega + \theta - \alpha) + N \operatorname{tg} \beta \sin (\omega + \theta - \alpha) = 0 \quad (4)$$

De (4) on tire :

$$N = P \frac{\cos \beta \cos (\alpha - \theta)}{\cos (\omega + \theta + \beta - \alpha)}$$

Remplaçant N par cette valeur dans (3), il vient :

$$P \sin (\alpha - \theta) + P \frac{\cos \beta \cos (\alpha - \theta)}{\cos (\omega + \theta + \beta - \alpha)} \times \frac{\sin (\omega + \theta + \beta - \alpha)}{\cos \beta} = Q \quad \text{ou}$$

$$P [\sin (\alpha - \theta) + \cos (\alpha - \theta) \operatorname{tg} (\omega + \theta + \beta - \alpha)] = Q$$

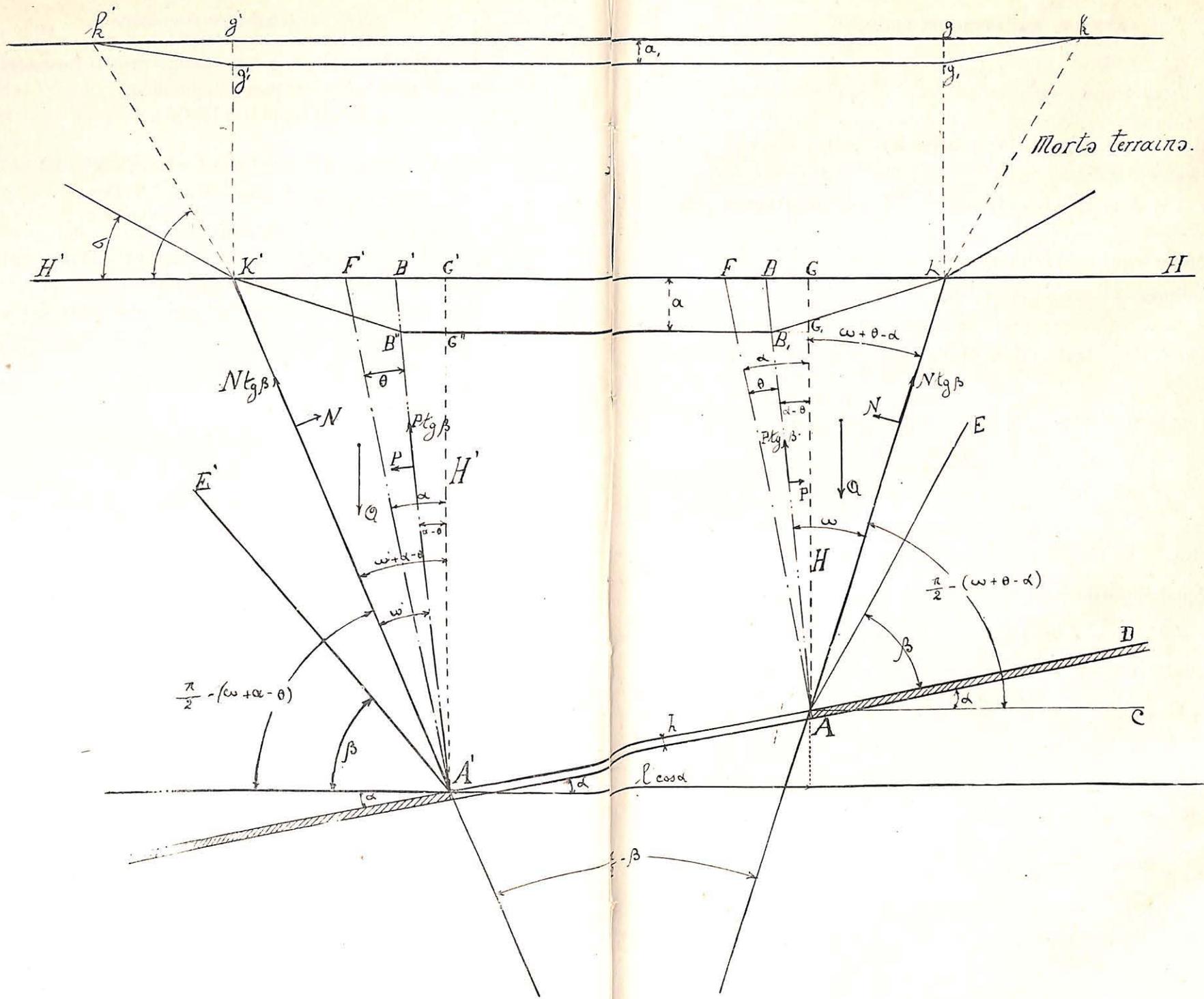
$$\text{mais } Q = \frac{\delta H^2}{2} [\operatorname{tg} (\alpha - \theta) + \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha)] \quad \text{d'où}$$

$\delta$  étant la densité des roches et  $H = A G$ .

$$P = \frac{\delta H^2}{2} \left[ \frac{\operatorname{tg} (\alpha - \theta) + \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha)}{\sin (\alpha - \theta) + \cos (\alpha - \theta) \operatorname{tg} (\omega + \theta + \beta - \alpha)} \right]$$

expression qui peut être mise sous la forme :

$$\begin{aligned} P &= \frac{\delta H^2}{2} \times \frac{\operatorname{tg} (\alpha - \theta) + [1 - \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} (\alpha - \theta)] \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) - \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg}^2 (\omega + \theta - \alpha)}{\sin (\alpha - \theta) + \operatorname{tg} \beta \cos (\alpha - \theta) + [\cos (\alpha - \theta) - \operatorname{tg} \beta \sin (\alpha - \theta)] \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha)} \\ &= \frac{\delta H^2}{2} \times \frac{A + B \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) - C \operatorname{tg}^2 (\omega + \theta - \alpha)}{A' + B' \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha)} \quad \text{en posant} \end{aligned}$$



$$A = \operatorname{tg}(\alpha - \theta) \quad B = 1 - \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg}(\alpha - \theta) = \frac{\cos(\beta + \alpha - \theta)}{\cos \beta \cos(\alpha - \theta)}$$

$$C = \operatorname{tg} \beta \quad A' = \sin(\alpha - \theta) + \operatorname{tg} \beta \cos(\alpha - \theta) = \frac{\sin(\beta + \alpha - \theta)}{\cos \beta}$$

$$B' = \cos(\alpha - \theta) - \operatorname{tg} \beta \sin(\alpha - \theta) = \frac{\cos(\beta + \alpha - \theta)}{\cos \beta} = B \cos(\alpha - \theta)$$

L'angle  $\omega$  qui rend la valeur de P maxima est donné par la condition  $\frac{dP}{d\omega} = 0$ ; ce qui conduit à l'égalité

$$\operatorname{tg}^2(\omega + \theta - \alpha) + 2 \frac{A'}{B'} \operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) + \frac{A B' - A' B}{B' C} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{A'}{B'} = \operatorname{tg}(\beta + \alpha - \theta) \quad \frac{A}{C} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{\operatorname{tg} \beta}$$

$$\frac{A' B}{B' C} = \frac{\sin(\beta + \alpha - \theta)}{\sin \beta \cos(\alpha - \theta)}$$

$$\frac{A B' - A' B}{B' C} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{\operatorname{tg} \beta} - \frac{\sin(\beta + \alpha - \theta)}{\sin \beta \cos(\alpha - \theta)} = -1$$

L'équation (5) devient :

$$\operatorname{tg}^2(\omega + \theta - \alpha) + 2 \operatorname{tg}(\beta + \alpha - \theta) \operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) - 1 = 0$$

dont les racines sont :

$$\operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) = -\operatorname{tg}(\beta + \alpha - \theta) \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2(\beta + \alpha - \theta) + 1}$$

$$= -\operatorname{tg}(\beta + \alpha - \theta) \pm \sec(\beta + \alpha - \theta).$$

L'angle  $\omega + \theta - \alpha$  ne pouvant être négatif, le signe  $-$  qui précède le radical devra être écarté. On aura :

$$\operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) = \frac{1 - \sin(\beta + \alpha - \theta)}{\cos(\beta + \alpha - \theta)} \quad (6)$$

d'où l'on tire la valeur de  $\omega$  qui rend la valeur de P maxima.

Au lieu de calculer  $\omega$ , on calcule  $\omega + \theta - \alpha$ , qui n'en diffère que par une constante, pour chaque valeur de  $\alpha$  auxquelles correspondent des valeurs déterminées de  $\theta$  que nous avons calculées précédemment par la relation  $\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$ . L'angle de la ligne de cassure secondaire avec l'horizontale extérieure sera donc  $\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha)$ .

**27. 2<sup>e</sup> CAS.** — La ligne de cassure principale est tracée à l'aval pendage de la partie déhouillée.

On aura les équations simultanées :

$$P \sin(\alpha - \theta) - N \sin(\omega' + \alpha - \theta) - N \operatorname{tg} \beta \cos(\omega' + \alpha - \theta) + Q = 0$$

$$P \cos(\alpha - \theta) + N \operatorname{tg} \beta \sin(\omega' + \alpha - \theta) - N \cos(\omega' + \alpha - \theta) = 0$$

d'où l'on tire :

$$N = P \frac{\cos \beta \cos(\alpha - \theta)}{\cos(\omega' + \alpha + \beta - \theta)}$$

$$P = \frac{-Q}{\sin(\alpha - \theta) - \cos(\alpha - \theta) \operatorname{tg}(\omega' + \alpha + \beta - \theta)}$$

$$Q = -\frac{\delta H^2}{2} [\operatorname{tg}(\alpha - \theta) - \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta)]$$

$$P = \frac{\delta H^2}{2} \times \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta) - \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta)}{\sin(\alpha - \theta) - \cos(\alpha - \theta) \operatorname{tg}(\omega' + \alpha + \beta - \theta)}$$

$$= \frac{\delta H^2}{2} \times \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta) - [1 + \operatorname{tg}(\alpha - \theta) \operatorname{tg} \beta] \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) + \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg}^2(\omega' + \alpha - \theta)}{\sin(\alpha - \theta) - \operatorname{tg} \beta \cos(\alpha - \theta) - [\cos(\alpha - \theta) + \sin(\alpha - \theta) \operatorname{tg} \beta] \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta)}$$

$$= \frac{\delta H^2}{2} \times \frac{A - B \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) + C \operatorname{tg}^2(\omega' + \alpha - \theta)}{A' - B' \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta)}$$

en posant :

$$A = \operatorname{tg}(\alpha - \theta), \quad B = 1 + \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg}(\alpha - \theta) = \frac{\cos(\beta + \theta - \alpha)}{\cos \beta \cos(\alpha - \theta)}, \quad C = \operatorname{tg} \beta.$$

$$A' = \sin(\alpha - \theta) - \operatorname{tg} \beta \cos(\alpha - \theta) = -\frac{\sin(\beta + \theta - \alpha)}{\cos \beta}$$

$$B' = \cos(\alpha - \theta) + \operatorname{tg} \beta \sin(\alpha - \theta) = \frac{\cos(\beta + \theta - \alpha)}{\cos \beta}$$

L'équation de condition  $\frac{dP}{d\omega} = 0$  se réduit à :

$$\operatorname{tg}^2(\omega' + \alpha - \theta) - 2 \frac{A'}{B'} \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) + \frac{A' B}{B' C} - \frac{A}{C} = 0.$$

$$\frac{A'}{B'} = - \operatorname{tg}(\beta + \theta - \alpha)$$

$$\frac{A' B}{B' C} - \frac{A}{C} = - \frac{\sin(\beta + \theta - \alpha)}{\sin \beta \cos(\alpha - \theta)} - \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{\operatorname{tg} \beta} = -1$$

$$\operatorname{tg}^2(\omega' + \alpha - \theta) + 2 \operatorname{tg}(\beta + \theta - \alpha) \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) - 1 = 0$$

$$\operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) = \frac{1 - \sin(\beta + \theta - \alpha)}{\cos(\beta + \theta - \alpha)}$$

L'angle de la ligne de cassure secondaire avec l'horizontale extérieure sera à l'aval pendage  $\frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta)$ .

**28. Valeur de  $\beta$ .** — Suivant M. Hause  $\beta = 50^\circ$ .

Comme nous le verrons ci-après,  $\beta_1 = 60^\circ$  d'après l'Inspection des mines de Dortmund, qui admet que pour les terrains horizontaux la ligne de cassure secondaire fait un angle de  $75^\circ$  avec l'horizontale extérieure.

**29.** Le tableau suivant renseigne les valeurs de  $\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha)$  et  $\frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta)$  correspondantes à différentes inclinaisons  $\alpha$  et pour des valeurs de  $\beta$  égales à  $50^\circ$  et  $60^\circ$ .

$\alpha$	$\beta = 50^\circ$		$\beta_1 = 60^\circ$	
	Amont pendage	Aval pendage	Amont pendage	Aval pendage
	$\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha)$	$\frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta)$	$\frac{\pi}{2} - (\omega_1 + \theta - \alpha)$	$\frac{\pi}{2} - (\omega'_1 + \theta - \alpha)$
0	70	70	75	75
10	72 $\frac{1}{2}$	67 $\frac{1}{2}$	77 $\frac{1}{2}$	72 $\frac{1}{2}$
20	74 $\frac{3}{4}$	65 $\frac{1}{4}$	79 $\frac{3}{4}$	70 $\frac{1}{4}$
30	77	63	82	68
40	78 $\frac{3}{4}$	61 $\frac{1}{4}$	83 $\frac{3}{4}$	66 $\frac{1}{4}$
50	79 $\frac{3}{4}$	60 $\frac{1}{4}$	84 $\frac{3}{4}$	65 $\frac{1}{4}$
60	79 $\frac{1}{2}$	60 $\frac{1}{2}$	84 $\frac{1}{2}$	65 $\frac{1}{2}$
70	78	62	83	67
80	74 $\frac{3}{4}$	65 $\frac{1}{4}$	79 $\frac{3}{4}$	70 $\frac{1}{4}$
90	70	70	75	75

**30.** Si on examine les chiffres de ce tableau, on constate :

1° Que la somme des nombres des deux premières et des deux dernières colonnes est constante et égale à  $\pi - \left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)$  ou  $\pi - \left(\frac{\pi}{2} - \beta_1\right)$ .

2° Que les nombres de la 3<sup>e</sup> et de la 4<sup>e</sup> colonne sont ceux de la 1<sup>re</sup> et de la 2<sup>e</sup> colonne auxquels on a ajouté  $\frac{\beta_1 - \beta}{2}$ .

**31.** Ces propriétés peuvent être démontrées directement :  
1<sup>re</sup> propriété. — L'angle des deux cassures secondaires est :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= (\omega + \theta - \alpha) + (\omega' + \alpha - \theta) \\ \operatorname{tg} \varepsilon &= \frac{\operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) + \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta)}{1 - \operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta)} \\ &= \frac{1 - \sin(\beta + \alpha - \theta)}{\cos(\beta + \alpha - \theta)} + \frac{1 - \sin(\beta + \theta - \alpha)}{\cos(\beta + \theta - \alpha)} \\ &= \frac{1 - \frac{[1 - \sin(\beta + \alpha - \theta)][1 - \sin(\beta + \theta - \alpha)]}{\cos(\beta + \alpha - \theta) \cos(\beta + \theta - \alpha)}}{1 - \frac{[1 - \sin(\beta + \alpha - \theta)][1 - \sin(\beta + \theta - \alpha)]}{\cos(\beta + \alpha - \theta) \cos(\beta + \theta - \alpha)}} \\ &= \frac{\cos(\beta + \theta - \alpha) + \cos(\beta + \alpha - \theta) - \sin(\beta + \alpha - \theta) \cos(\beta + \theta - \alpha) - \sin(\beta + \theta - \alpha) \cos(\beta + \alpha - \theta)}{\sin(\beta + \theta - \alpha) + \sin(\beta + \alpha - \theta) - 1 + \cos(\beta + \alpha - \theta) \cos(\beta + \theta - \alpha) - \sin(\beta + \alpha - \theta) \sin(\beta + \theta - \alpha)} \\ &= \frac{\cos(\beta + \theta - \alpha) + \cos(\beta + \alpha - \theta) - \sin 2\beta}{\sin(\beta + \theta - \alpha) + \sin(\beta + \alpha - \theta) - 1 + \cos 2\beta} = \frac{2 \cos \beta \cos(\theta - \alpha) - 2 \sin \beta \cos \beta}{2 \sin \beta \cos(\alpha - \theta) - 2 \sin^2 \beta} \\ &= \frac{\cos \beta [\cos(\theta - \alpha) - \sin \beta]}{\sin \beta [\cos(\theta - \alpha) - \sin \beta]} = \operatorname{cotg} \beta \end{aligned}$$

Il résulte de là que  $\varepsilon$  et  $\beta$  sont complémentaires d'où

$$\varepsilon + \beta = \frac{\pi}{2} \quad \varepsilon = \frac{\pi}{2} - \beta \quad \text{et}$$

$$\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha) + \frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta) = \pi - \varepsilon = \frac{\pi}{2} + \beta$$

2<sup>e</sup> propriété. — On doit avoir :

$$\varepsilon' = \frac{\pi}{2} - (\omega_1 + \theta - \alpha) - \left[ \frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha) \right] = (\omega + \theta - \alpha) - (\omega_1 + \theta - \alpha) = \text{const.}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varepsilon' &= \frac{\operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) - \operatorname{tg}(\omega_1 + \theta - \alpha)}{1 + \operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) \operatorname{tg}(\omega_1 + \theta - \alpha)} = \frac{\frac{1 - \sin(\beta + \alpha - \theta)}{\cos(\beta + \alpha - \theta)} - \frac{1 - \sin(\beta_1 + \alpha - \theta)}{\cos(\beta_1 + \alpha - \theta)}}{1 + \frac{[1 - \sin(\beta + \alpha - \theta)][1 - \sin(\beta_1 + \alpha - \theta)]}{\cos(\beta + \alpha - \theta) \cos(\beta_1 + \alpha - \theta)}} \\ &= \frac{\cos(\beta_1 + \alpha - \theta) - \cos(\beta + \alpha - \theta) + \sin(\beta_1 + \alpha - \theta) \cos(\beta + \alpha - \theta) - \sin(\beta + \alpha - \theta) \cos(\beta_1 + \alpha - \theta)}{1 - \sin(\beta_1 + \alpha - \theta) - \sin(\beta + \alpha - \theta) + \cos(\beta_1 + \alpha - \theta) \cos(\beta + \alpha - \theta) + \sin(\beta_1 + \alpha - \theta) \sin(\beta + \alpha - \theta)} \\ &= \frac{2 \sin\left(\frac{\beta + \beta_1}{2} + \alpha - \theta\right) \sin \frac{\beta - \beta_1}{2} + 2 \sin \frac{\beta_1 - \beta}{2} \cos \frac{\beta_1 - \beta}{2}}{-2 \sin\left(\frac{\beta + \beta_1}{2} + \alpha - \theta\right) \cos \frac{\beta - \beta_1}{2} + 2 \cos^2 \frac{\beta_1 - \beta}{2}} \end{aligned}$$

$$= \frac{\sin \frac{\beta_1 - \beta}{2}}{\cos \frac{\beta_1 - \beta}{2}} \times \frac{\cos \frac{\beta_1 - \beta}{2} - \sin\left(\frac{\beta + \beta_1}{2} + \alpha - \theta\right)}{\cos \frac{\beta_1 - \beta}{2} - \sin\left(\frac{\beta + \beta_1}{2} + \alpha - \theta\right)} = \operatorname{tg} \frac{\beta_1 - \beta}{2}$$

$$\text{d'où} \quad \varepsilon' = \frac{\beta_1 - \beta}{2}$$

**32. REMARQUE.** — Dans son mémoire (1), M. Sainte-Claire Deville expose « qu'il a procédé à des vérifications » précises de la loi de la normale. Ces vérifications ont été » faites au fond dans des bowettes des étages supérieurs » de deux fosses et dans une bowette inférieure au-dessous » de laquelle plusieurs veines ont été exploitées en vallée. » L'exploitation des différentes couches a produit dans » toutes ces bowettes des affaissements. En discutant les » chiffres fournis par des nivellements faits avant l'explo- » tation et ceux que donnent des opérations ultérieures, » faites ordinairement d'année en année, on peut fixer dans » chaque bowette le point où s'arrête l'action de l'explo- » tation. Dans les trois bowettes étudiées, ce point concor- » dait rigoureusement avec celui que fournissait le tracé » de la normale à la plus élevée des veines exploitées. » Les épaisseurs des terrains houillers dans lesquels la véri- » fication a été opérée atteignent 80 mètres, l'inclinaison » varie de 30 à 40° »

Le lecteur sait ce qu'il doit penser de la règle de la normale qualifiée abusivement de loi.

Si on se reporte au tableau des valeurs de  $\frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta)$  dans le cas de  $\beta = 50^\circ$ , on verra que l'angle de la ligne de cassure secondaire avec l'horizontale extérieure est  $63^\circ$  pour une inclinaison de  $30^\circ$  et que dans ce cas particulier, la ligne de cassure secondaire et le plan de la couche forment pour ainsi dire un angle droit,

(1) Bulletin de l'Industrie minière, 4<sup>e</sup> série, t. VI, 2<sup>e</sup> liv., 1907, p. 423.

L'observation de M. Sainte-Claire Deville confirme donc aussi la règle que nous avons exposée.

33. Diagramme de la valeur de l'angle que fait la ligne de cassure secondaire avec l'horizontale extérieure.

— Au moyen des deux fonctions :

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

$$\operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) = \frac{1 - \sin(\beta + \theta - \alpha)}{\cos(\beta + \theta - \alpha)}$$

on peut tracer des abaques donnant les valeurs de

$$\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha) \quad \text{et} \quad \frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta)$$

Le tracé d'une seule de ces abaques suffit, si l'on tient compte de la relation démontrée précédemment :

$$\varepsilon + \beta = \frac{\pi}{2}.$$

Le maximum de  $\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha)$  correspond au minimum de  $(\omega + \theta - \alpha)$  qui lui-même correspond au minimum de  $\operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha)$ .

Cherchons ce minimum donné par la relation

$$\frac{d \operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha)}{d \alpha} = 0$$

ou

$$\frac{d(\beta + \alpha - \theta)}{d \alpha} \left[ \sin(\beta + \alpha - \theta) - \sin^2(\beta + \alpha - \theta) - \cos^2(\beta + \alpha - \theta) \right] = 0$$

$$\frac{d(\beta + \alpha - \theta)}{d \alpha} \left[ \sin(\beta + \alpha - \theta) - 1 \right] = 0.$$

Une première solution est donnée par

$$\sin(\beta + \alpha - \theta) - 1 = 0$$

$$\beta + \alpha - \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha - \theta = \frac{\pi}{2} - \beta.$$

$$\operatorname{tg}(\alpha - \theta) = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = \operatorname{cotg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \theta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta}$$

mais  $\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$ . Remplaçant il vient :

$$\operatorname{cotg} \beta \operatorname{tg}^2 \alpha - \operatorname{tg} \alpha + 2 \operatorname{cotg} \beta = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 8 \operatorname{cotg}^2 \beta}}{2 \operatorname{cotg} \beta}$$

Pour que  $\operatorname{tg} \alpha$  soit réel, il faut

$$1 - 8 \operatorname{cotg}^2 \beta \geq 0$$

$$\operatorname{cotg} \beta < \sqrt{\frac{1}{8}} \quad \text{ou} < 0,3535$$

$$\text{ou } \beta < 19^\circ 30'$$

or  $\beta = 50^\circ$ ; cette solution doit donc être rejetée.

Une seconde solution est :

$$\frac{d(\beta + \alpha - \theta)}{d \alpha} = 0 \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{d \theta}{d \alpha} = 0.$$

De  $\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$ , on déduit

$$\frac{d \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{1}{2} \frac{d \alpha}{\cos^2 \alpha} \quad \frac{d \theta}{d \alpha} = \frac{1}{2} \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \alpha}$$

et l'équation devient

$$1 - \frac{1}{2} \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \alpha} = 0. \quad \cos^2 \theta = 2 \cos^2 \alpha$$

Remplaçons  $\cos \theta$  et  $\cos \alpha$  par leurs valeurs en fonction de  $\operatorname{tg}$

$$\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \theta} = \frac{2}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = 2 \left( 1 + \frac{1}{4} \operatorname{tg}^2 \alpha \right)$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = 2 \quad \operatorname{tg} \alpha = 1,4142 \quad \alpha = 54^\circ 45'$$

quelle que soit la valeur de  $\beta$ .

Pour construire le diagramme on portera les valeurs de  $\alpha$  sur l'axe de  $x$  et celles de  $\frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha)$  sur l'axe des  $y$ , l'axe des  $x$  représentant l'horizontale à  $70^\circ$  de sorte que le diagramme passe par l'origine.

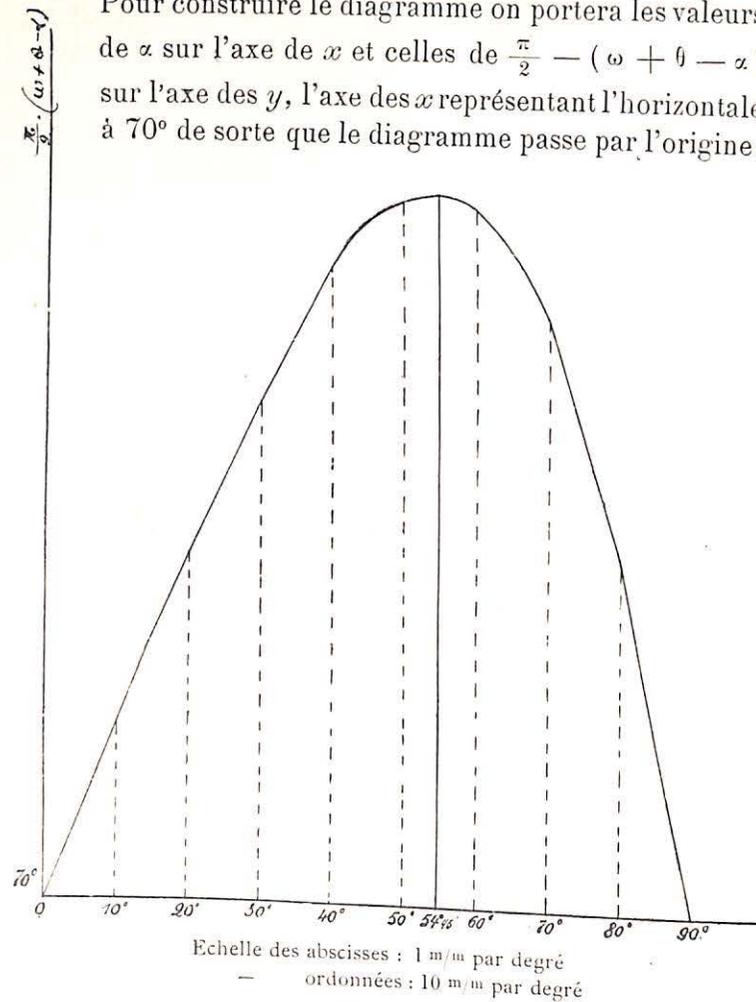


Fig. 14.

L'angle que fait la ligne de cassure secondaire d'aval pendage avec l'horizontale extérieure, est donnée par la relation :

$$\frac{\pi}{2} - (\omega' + \alpha - \theta) = \frac{\pi}{2} - (\omega + \theta - \alpha) - \left[ \frac{\pi}{2} - \beta \right].$$

### Tracé de la ligne de cassure dans les terrains de recouvrement.

34. Pour Dumont, lorsque les roches du terrain houiller sont recouvertes de terrains de formation plus moderne qui se présentent généralement en strates horizontales ou à peu près et qui sont composés de bancs de marne, de craie ou de grès, la ligne de cassure au travers de ces bancs se propage suivant la normale à la stratification, à moins qu'il n'existe des circonstances perturbatrices.

Si les terrains de recouvrement sont composés de terrains « meubles » tels qu'argile, sable et limon, la ligne de cassure, à raison de la mobilité des éléments constitutifs et de leur degré d'humidité, se propagera suivant une ligne qui fait un angle de  $30$  à  $58^\circ$  avec l'horizontale et qui n'est autre que le plan du talus naturel. S'il s'agit de sables bouillants, la ligne de cassure se rapproche de l'horizontale.

35. On oppose les objections suivantes aux idées de Dumont :

1° Il est impossible de ranger le limon et les argiles dans les terrains meubles, car ils se maintiennent parfaitement en escarpements abrupts.

2° L'angle du talus naturel serait compris entre  $30$  et  $58^\circ$ . Le premier de ces chiffres se rapporte au sable fin et sec, qui est le plus mobile, tandis que le second s'applique à la terre la plus dense et la plus compacte dont on aurait détruit la cohésion en la piochant, opération qui lui ferait perdre une qualité qu'elle possède éminemment dans la nature.

3° La ligne de cassure pour les terrains de recouvrement se tracera comme celle dans le terrain houiller, car le caractère dérivant de la mobilité relative des éléments d'une assise pas plus que la résistance plus ou moins réduite des bancs successifs ne sont de nature à modifier sa direction.

En effet, supposons que la première assise A de terrain de recouvrement ait cédé à l'action de la pesanteur et

qu'elle ait comblé le vide qui se trouvait sous elle. Le vide V auquel elle a donné lieu sera rempli par une descente du toit B ou un éboulement des parois  $a b$ ,  $a' b'$

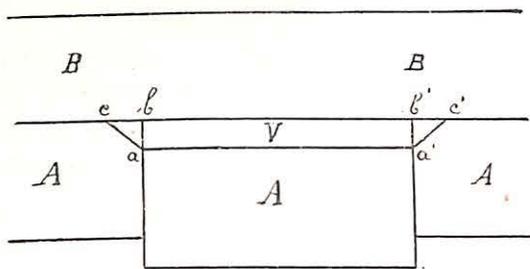


Fig. 15.

suivant les plans  $a c$ ,  $a' c'$ . L'action de la pesanteur qui agit verticalement sur les éléments du toit B n'est pas contrariée mais sa composante parallèle à  $a c$ ,  $a' c'$  l'est au contraire par la résistance à la cohésion dans les plans de rupture  $a c$ ,  $a' c'$  et ensuite par la résistance due au frottement dans ces mêmes plans.

Dans le cas où le vide V sera rempli par l'affaissement du toit B, la ligne de cassure se propagera normalement à la stratification qui est horizontale.

Le second cas se produira si l'assise A ou toute autre est beaucoup plus meuble que les terrains encaissants et le banc B qui lui est supérieur succombera à son tour en se rompant normalement dans l'aplomb des parois du vide accidentellement agrandi de  $a a'$  à  $c c'$ .

Si l'on admettait le tracé de la ligne de cassure dans les morts-terrains suivant une règle uniforme, cela reviendrait à dire que toutes les assises qui recouvrent le houiller sont identiques dans la manière de se comporter au point de vue de la résistance et alors il n'y aurait pas de banc plus meuble compris entre des bancs plus résistants. Ces divers bancs étant tous identiques entre eux, il est évident que les cassures ne pourraient être que normales aux strates, c'est-à-dire verticales.

4° La cassure suivant l'angle de talus naturel est inadmissible. En effet, les conditions d'équilibre d'un massif de terre encaissé dans son propre gisement sont essentiellement différentes de celles d'un massif à l'air libre dont la face complètement dégagée, laisse toute liberté au glissement des terres sollicitées à se mouvoir pour prendre une inclinaison finale définie par l'angle de talus naturel qui a trait à la terre remuée et abandonnée à elle-même sous l'action de la gravité et des intempéries aériennes.

Dire que dans le sein de la terre la ligne de cassure s'incline suivant l'angle de talus naturel est tout aussi irrationnel que de considérer que les cassures dans le terrain houiller, doivent se propager sous le même angle que celui que forment les débris de ce terrain houiller avec l'horizontale. Cette déduction serait contraire à la loi dite de la normale, et cependant c'est le raisonnement de Dumont qui en est l'auteur.

5° Il résulte de ce que nous avons vu antérieurement que dans les terrains de recouvrement horizontaux, la ligne de cassure principale serait verticale et la ligne de cassure secondaire serait dirigée suivant la bissectrice du complément de l'angle du talus naturel.

36. Ces considérations théoriques sont confirmées par l'expérience du sablier. Pendant que le sable s'écoule d'un compartiment dans l'autre, la surface primitivement horizontale se creuse au centre, verticalement au-dessus du conduit de communication. Ce qui se passe dans les affaissements miniers est identique, les dimensions du conduit seules étant différentes.

37. Les observations abondent pour démontrer que la ligne de cassure dans les morts-terrains est verticale ou en diffère très peu.

1° Von Dechen, dans son mémoire de 1869, (1) rapporte

(1) Revue Universelle des Mines. 14<sup>e</sup> année, t. XXVIII, 2<sup>e</sup> liv. 1870, p. 215.

que dans un puits traversant les terrains quaternaire et crétacé sur une hauteur de 17 mètres, on a suivi une lézarde ayant une inclinaison de  $71^\circ$  avec l'horizon.

2° La réponse de l'Union des Charbonnages (1) au mémoire de Dumont signale des faits du même genre.

3° L'exploitation d'une certaine couche relativement puissante sous une formation moderne de 40 à 50 mètres de puissance et à peu de distance de celle-ci, provoqua sur plusieurs centaines de mètres de longueur à la surface, des cassures verticales directement au-dessus des parties fermes abandonnées.

4° Les nombreux ingénieurs qui se sont occupés de dégradations à la surface savent que les cassures reconnues dans les fouilles ou dans des puits traversant les morts-terrains, sont ou verticales ou sensiblement verticales et présentent même parfois une inclinaison vers l'intérieur au lieu de vers l'extérieur.

5° M. Jicinski (2) adopte la verticalité pour la ligne de cassure dans la formation tertiaire et l'Inspection des Mines du District de Dortmund (3) la trace à  $70^\circ$  tant à l'aval qu'à l'amont pendage.

38. De tout ce qui précède, il résulte que nulle part on ne constate des cassures traversant les morts-terrains suivant des lignes faisant un angle de  $45^\circ$  avec l'horizontale, comme l'admettent généralement certains experts. Que tracer ces lignes de cette manière constitue un procédé commode mais irrationnel et que cette valeur de  $45^\circ$  ne s'est établie qu'en prenant une moyenne arithmétique entre les angles limites de  $30^\circ$  et  $58^\circ$  donnés par Dumont.

(1) Page 119.

(2) M. Jicinski, Directeur des mines de Rossitz (Autriche). Renseignements fournis par M. Riback, ingénieur des mines, à Marish-Ostrau.

(3) Annales des Mines allemandes 1897. — Cours d'exploitation des mines de M. Habets, t. II, p. 186.

### Cassures latérales dues aux travaux miniers.

39. Nous pouvons résumer comme il suit les renseignements donnés sur ce point.

Dumont et Jicinski disent qu'à l'extrémité en direction, les lignes de cassures sont sensiblement perpendiculaires à celles provenant d'amont et aval pendages. Elles correspondent au plan vertical mené par le vif-thier.

Suivant la théorie que nous avons exposée, la ligne de cassure secondaire menée à l'extrémité de chaque ligne de niveau ferait dans le terrain houiller un angle de  $20^\circ$  avec la verticale; en ce point et dans les morts-terrains, elle serait déviée suivant la bissectrice du complément de l'angle du talus naturel des morts-terrains traversés.

### Influence du contournement des couches et des failles sur la direction de la ligne de cassure.

40. La direction de la ligne de cassure sera modifiée lorsque l'inclinaison de la stratification variera et elle se tracera toujours en appliquant les règles connues à la nouvelle pente.

Quant aux failles, qui constituent des lignes de plus facile glissement, suivant lesquelles le mouvement d'affaissement pourra se propager d'abord, elles ne peuvent constituer une limite infranchissable à l'ensemble des actions dues aux travaux miniers. Quand les terrains de la faille auront cédé à l'influence sollicitante, c'est-à-dire quand l'affaissement aura passé d'une paroi à l'autre, les roches qui s'appuient sur la faille qui vient à se dérober, fléchiront, glisseront ou se rompront à leur tour. Le plus généralement, l'existence d'une faille a pour effet d'aggraver les dégâts, en déviant parfois les lignes de cassure sans les arrêter d'une façon absolue, quelle que soit l'inclinaison des bancs qu'elle avait tout d'abord à soutenir.

41. Il existe des règles empiriques pour la détermination de la direction des lignes de cassure.

Nous en citerons quelques-unes.

42. Règle de l'Inspection des Mines du district de Dortmund. — En 1897, l'Inspection des Mines du district de Dortmund fait connaître une règle empirique pour le tracé des lignes de cassure. Elle est basée sur l'expérience pour les gisements et les terrains du bassin de la Ruhr (fig. 16, 17 et 18). Elle est résumée comme suit :

1° En amont pendage de la partie déhouillée, la ligne de cassure fait un angle constant de  $75^\circ$  avec l'horizontale extérieure, quelle que soit la pente de la couche ;

2° En aval pendage, la ligne de cassure fait avec l'horizontale extérieure un angle de  $75^\circ$ , lorsque la pente de la couche est inférieure à  $15^\circ$ . Elle est normale à la couche

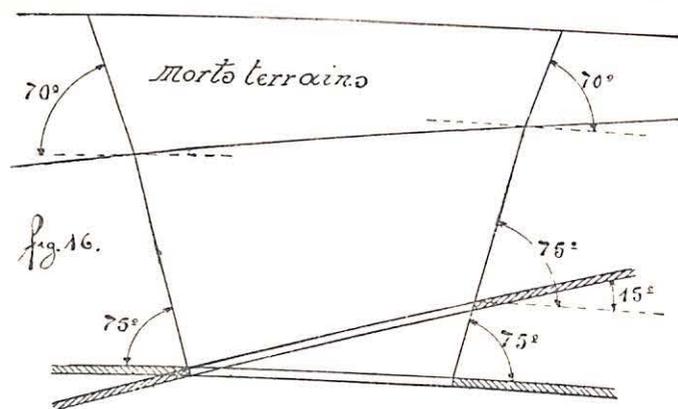


Fig. 16.

lorsque la pente de celle-ci est comprise entre  $15^\circ$  et  $35^\circ$ . Elle fait un angle constant de  $55^\circ$  avec l'horizontale extérieure lorsque la pente de la couche est supérieure à  $35^\circ$  ;

3° La ligne de cassure à l'extrémité des travaux en direction fait un angle constant de  $75^\circ$  avec l'horizontale extérieure ;

4° La marne crayeuse des morts-terrains de la Ruhr se casse suivant un angle de  $70^\circ$  environ dans toutes les directions. Les sables bouillants s'affaissent suivant des

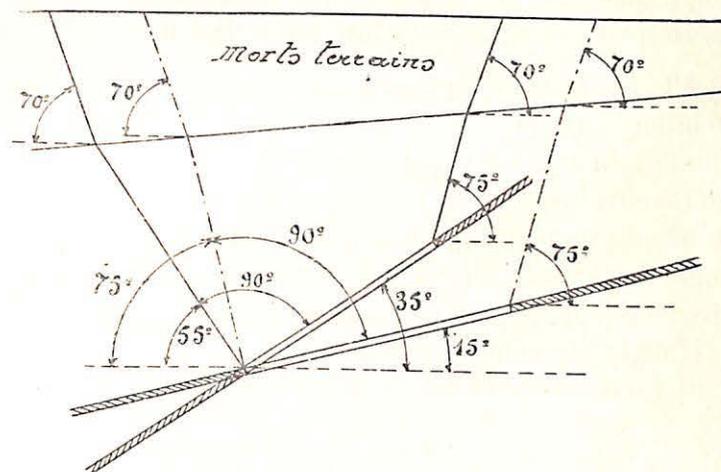


Fig. 17.

angles plus petits, généralement  $30$  à  $40^\circ$ , variables cependant avec la nature des couches et leur teneur en eau ;

5° Les intersections des plans de cassure, conduits par le périmètre de la partie déhouillée, avec la surface du sol, sont raccordés par des quarts d'ellipse ou de circonférences.

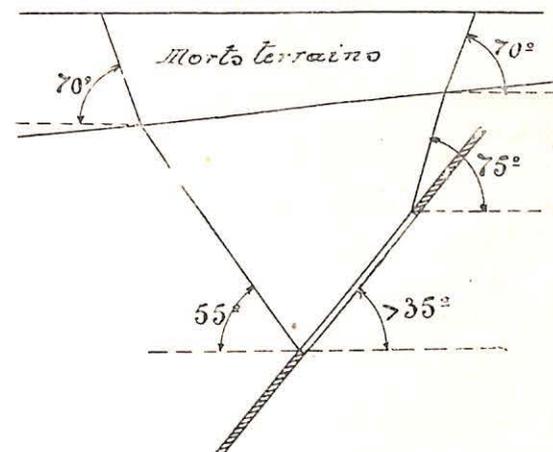


Fig. 18.

En 1904, cette règle fut modifiée et l'angle de  $75^\circ$  fut remplacé par un angle de  $70^\circ$ .

Dans le Nord et le Pas de Calais, il existe des règles empiriques du même genre qui sont signalées dans le mémoire déjà cité de M. Sainte-Claire Deville.

**43. Règle de M. Jicinski.**— La ligne de cassure dans le houiller est comprise entre la normale et la verticale et elle fait un angle  $r$  avec l'horizontale extérieure. Dans les morts-terrains, elle se prolonge suivant la verticale et ne se modifie que dans la partie où elle affleure en faisant un angle de  $12^\circ$  avec l'horizontale extérieure. A l'extrémité en direction la ligne de cassure est verticale.

L'angle  $r$  se détermine comme suit :

a) Pour une inclinaison  $\alpha$  variant de  $0$  à  $45^\circ$ , on a :

$$r = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}$$

b) Pour une inclinaison  $\alpha$  variant de  $45$  à  $90^\circ$ , on a :

$$r_1 = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}$$

On aura donc :  $\alpha = 0$   $r = \frac{\pi}{2}$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \quad r_1 = \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha = 45^\circ \quad r = r_1 = 67^\circ \frac{1}{2}$$

**44. Règle appliquée dans les houillères anglaises (1).**—

Les règles suivantes, dues à M. O' Donahue, ne sont appliquées que pour les couches ayant moins de 2 mètres de puissance.

a) *Couche horizontale.* Les lignes de cassure font un angle de  $5$  à  $8^\circ$  avec la verticale et comme mesure de précaution, l'auteur augmente  $a b$  de la longueur  $b c$  qui varie de  $5$  à  $10\%$  de  $a b$ .

(1) *Revue universelle des Mines*, t. XVIII, 2<sup>e</sup> liv. 1907, p. 212.

$$ab = H \operatorname{tg} 8^\circ$$

$$bc = \frac{ab}{10} = \frac{H}{10} \operatorname{tg} 8^\circ$$

$$ac = 1,1 H \operatorname{tg} 8^\circ$$

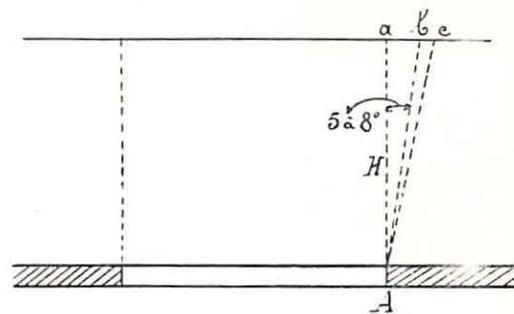


Fig. 19.

Calculons l'angle  $a A c$ .

$$ac = H \operatorname{tg} a A c \quad \text{d'où}$$

$$\operatorname{tg} a A c = 1,1 \operatorname{tg} 8^\circ \quad \text{Angle } a A c = 8^\circ 45'$$

b) *Couche inclinée.* A l'amont pendage, l'angle  $\beta$  que fait la ligne de cassure avec la verticale est égal à  $8^\circ$ , moins  $1/3$  de l'angle de pente  $\alpha$  que fait la couche avec l'horizontale.

$$\beta = 8^\circ - \frac{\alpha}{3}$$

$$\text{pour } \alpha = 0 \quad \beta = 8^\circ$$

$\beta$  sera nul pour :

$$8^\circ - \frac{\alpha}{3} = 0 \quad \text{ou } \alpha = 24^\circ$$

et la ligne de cassure est alors suivant la verticale.

Comme ci-dessus on augmente  $a b$  de  $b c = \frac{ab}{10}$ .

$$\text{Pour } \alpha = 10^\circ, \text{ on a } ab = H \operatorname{tg} \left( 8^\circ - \frac{10^\circ}{3} \right) = H \operatorname{tg} 5^\circ 40'$$

$$bc = \frac{ab}{10} = \frac{H}{10} \operatorname{tg} 5^\circ 40'; ac = 1,1 H \operatorname{tg} 5^\circ 40' = H \operatorname{tg} a A c;$$

$$\text{angle } a A c = 6^\circ 15'.$$

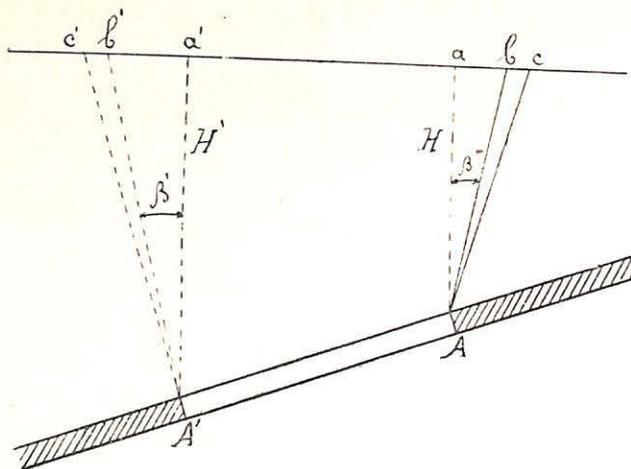


Fig. 20.

Pour  $\alpha = 20^\circ$  on aurait : angle  $a A c = 1^\circ 30'$ .

Lorsque l'angle  $\alpha$  est plus grand que  $24^\circ$ , la ligne de cassure reste verticale.

A l'aval pendage, l'angle  $\beta'$  que fait la ligne de cassure avec la verticale est égale à  $8^\circ$  plus  $2/3$  de l'angle de pente  $\alpha$  que fait la couche avec l'horizontale.

$$\beta' = 8^\circ + \frac{2\alpha}{3}$$

$\beta'$  sera égal à  $\alpha$ , c'est-à-dire que la ligne de cassure sera normale à la couche, lorsque

$$\beta' = \alpha = 8^\circ + \frac{2\alpha}{3} \text{ ou } \alpha = 24^\circ.$$

Pour  $\alpha$  plus grand que  $24^\circ$ , la direction de la ligne de cassure reste constante et fait un angle de  $24^\circ$  avec la verticale.

Comme ci-dessus on augmente  $a' b'$  de  $b' c' = \frac{a' b'}{10}$ .

- Pour  $\alpha = 10^\circ$ , Angle  $a' A' c' = 16^\circ 10'$ .
- $\alpha = 20^\circ$ , —  $a' A' c' = 23^\circ 20'$ .
- $\alpha = 24^\circ$ , —  $a' A' c' = 26^\circ 05'$ .

45. Nous pouvons résumer dans les tableaux suivants, l'angle que fait la ligne de cassure secondaire avec l'horizontale extérieure pour les différentes règles qui ont été indiquées.

Aval pendage

Angle de pente	Règle de M. Hause		Règle de la tangente complétée	Règle allemande		Règle de Jicinski	Règle anglaise
	1 <sup>re</sup> hypothèse	2 <sup>me</sup> hypothèse		1 <sup>re</sup> hypothèse	2 <sup>me</sup> hypothèse		
0	70	70	70	75	70	90	81 ¼
10	65	67	67 ½	75	70	85	73 ¾
20	60 ¼	64 ¼	65 ¼	70	70	80	66 ¾
30	56	62	63	60	60	75	64
40	52 ¾	60 ¾	61 ¼	55	55	70	64
50	50 ¾	60 ¾	60 ¼	55	55	70	64
60	51	61	60 ½	55	55	75	64
70	54	61	62	55	55	80	64
80	61 ½	65 ½	65 ¼	55	55	85	64
90	70	70	70	55	55	90	64

Amont pendage

0	70	70	70	75	70	90	81 ¼
10	75	77	72 ½	75	70	85	83 ¾
20	79 ¾	83 ¾	74 ¾	75	70	80	88 ½
30	84	90	77	75	70	75	90
40	87 ¼	95 ¼	78 ¾	75	70	70	90
50	89 ¼	99 ¼	79 ¾	75	70	70	90
60	89	99	79 ½	75	70	75	90
70	86	93	78	75	70	80	90
80	78 ½	82 ¼	74 ¾	75	70	85	90
90	70	70	70	75	70	90	90

## Amplitude de l'affaissement du sol.

46. Nous supposons d'abord que la formation houillère n'est pas recouverte de morts-terrains et que la surface du sol est horizontale (fig. 13). La couche est remblayée et après tassement, le remblai occupera la hauteur  $h - x$ ,  $h$  étant la puissance de la couche exploitée.

Le volume de roche dont la section verticale est  $K'A'A K B B'$  s'éboulera pour combler le vide provoqué par le déhouillement réduit du volume occupé par le remblai et il restera un vide  $K'B'' B_1 K B B'$  qui représente la partie affaissée.

Désignons par  $l$  la longueur de la partie déhouillée mesurée suivant la pente de la couche et  $\alpha$  son inclinaison,  $a$  sera l'amplitude de l'affaissement, c'est-à-dire la distance des droites  $K'K$  et  $B''B$ , que nous supposons parallèles.

On a l'égalité :

$$K'A'A K B B' \times \lambda = x l + K'A'A K B_1 B''$$

$\lambda$  étant un coefficient tenant compte du foisonnement des roches lorsqu'elles se brisent et du tassement de celles-ci sous l'action du poids des morceaux les plus élevés.

Mais on a :

$$K'A'A K B_1 B'' = K'A'A K B B' - K'B'' B_1 K B B'$$

et en remplaçant dans l'égalité ci-dessus, il vient

$$K'B'' B_1 K B B' = x l - (\lambda - 1) K'A'A K B B'$$

Évaluons  $K'B'' B_1 K B B'$  et  $K'A'A K B B'$ .

$$K'B'' B_1 K B B' = \frac{a}{2} (K'K + B''B_1)$$

$$K'K = K'G' + G'G + GK$$

$$= H' \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + l \cos \alpha + H \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha)$$

$H$  et  $H'$  étant les profondeurs des points  $A$  et  $A'$ .

$$B''B_1 = B''G_1 - B_1G_1 = B''G'' + G''G_1 - B_1G_1$$

$$= (H' - a) \operatorname{tg} (\alpha - \theta) + l \cos \alpha - (H - a) \operatorname{tg} (\alpha - \theta)$$

$$= (H' - H) \operatorname{tg} (\alpha - \theta) + l \cos \alpha$$

d'où

$$K'B''B_1KBB' = \frac{a}{2} [H' \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + H \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) + (H' - H) \operatorname{tg} (\alpha - \theta) + 2l \cos \alpha]$$

En laissant cette valeur sous cette forme, nous pourrions calculer assez rapidement le second membre, car le tableau donné précédemment fait connaître  $\omega' + \alpha - \theta$  et  $\omega + \theta - \alpha$ .

$$\begin{aligned} K'A'A K B B' &= K'A'G' + G'A'AG + GAK \\ &= \frac{1}{2} [H'^2 \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + H^2 \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) + (H + H') l \cos \alpha] \end{aligned}$$

Remplaçant dans la première égalité, on tire la valeur de  $a$ .

$$a = \frac{2xl - (\lambda - 1) [H'^2 \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + H^2 \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) + (H + H') l \cos \alpha]}{H' \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + H \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) + (H' - H) \operatorname{tg} (\alpha - \theta) + 2l \cos \alpha}$$

Si la couche n'est pas remblayée, on fera  $x = h$  dans cette formule.

En second lieu, supposons que la formation houillère soit recouverte de morts-terrains homogènes et horizontaux dont l'angle de talus naturel est  $\sigma$ .

La ligne de cassure se produira suivant  $K'h'$  de manière que

$$\text{angle } H'K'h' = \sigma + \frac{\frac{\pi}{2} - \sigma}{2} = \frac{\frac{\pi}{2} + \sigma}{2}$$

On aura l'égalité

$$h'K'K k g g' \times \lambda' + K'A'A K B B' \times \lambda = x l + h'K'A'A K k g g'_1 h'$$

$$= x l + h'K'K k g g' - h'g'_1 g_1 k g g' + K'A'A K B B'$$

$$h'g'_1 g_1 k g g' = x l - (\lambda - 1) K'A'A K B B' - (\lambda' - 1) h'K'K k g g'$$

$$a_1 (h'k + g'_1 g_1) = 2xl - (\lambda - 1) [H'^2 \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + H^2 \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) + (H + H') l \cos \alpha] - (\lambda' - 1) (h'k + K'K) H''$$

$$a_1 = \frac{x l - \frac{\lambda - 1}{2} [H'^2 \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + H^2 \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha) + (H + H') l \cos \alpha]}{H'' \operatorname{tg} \frac{\frac{\pi}{2} - \sigma}{2} + H' \operatorname{tg} (\omega' + \alpha - \theta) + l \cos \alpha + H \operatorname{tg} (\omega + \theta - \alpha)} - H'' (\lambda' - 1)$$

$H''$  étant la puissance des morts-terrains,  $H$  et  $H'$  la profondeur des points  $A$  et  $A'$  sous ceux-ci.

Pour que l'affaissement soit nul, il faut avoir dans le premier cas :

$$2 x l = (\lambda - 1) [H^2 \operatorname{tg}(\omega' + \alpha - \theta) + H^2 \operatorname{tg}(\omega + \theta - \alpha) + (H + H') l \cos \alpha]$$

d'où l'on tire H si l'on remplace H' par  $H + l \sin \alpha$ .

47. D'après M. Jicinski, les roches du terrain houiller s'éboulent dans l'excavation produite par le déhouchement jusqu'à ce qu'elle soit comblée, en produisant une augmentation de volume qu'on peut évaluer à 1 % en moyenne ; de sorte que l'abattage d'une couche d'un mètre de puissance provoquera l'éboulement des roches du toit sur 100 mètres de hauteur. Au-dessus de cette hauteur, le toit restera intact et il n'y aura pas d'affaissement à la surface. Quant aux morts-terrains, ils s'éboulent sans foisonner.

Lorsque les tailles sont remblayées par le procédé ordinaire, on admet qu'après tassement, le remblai occupe les six dixièmes de la hauteur de la couche exploitée. Les affaissements dus aux dressants ont la forme d'un trou, tandis que ceux provenant des plateaux ont celle d'une cuvette.

Représentons par

$a$ , l'amplitude moyenne de l'affaissement à la surface ;

H, la profondeur de la tranche exploitée ;

$h$ , la puissance de la couche exploitée.

Dans les exploitations sans remblai, on aura

$$1,01 H = H - a + h$$

$$a = h - \frac{H}{100}$$

et dans les exploitations avec remblai

$$1,01 H = H - a + 0,4 h$$

$$a = 0,4 h - \frac{H}{100}$$

en admettant que les lignes de cassure se propagent suivant la verticale aux confins de la tranche exploitée.

Lorsque plusieurs couches sont exploitées,  $h$  doit être remplacé par la somme des puissances des couches exploitées et H sera la profondeur moyenne de la couche la plus basse.

A l'aide de ces formules, on peut déterminer la profondeur à laquelle on peut exploiter sans produire de dégradations à la surface ; il suffit de faire  $a = 0$  et on a :

$$H = 100 h \quad H = 40 h$$

suivant qu'il s'agit d'une couche remblayée ou non.

48. Dumont suppose que le toit C D rejoigne le mur. L'affaissement  $a = H L$  s'il n'y a pas de foisonnement. On aura :

$$\text{surface K H E G} = \text{surface A C D B}$$

$$K H \cdot H L = A C \cdot C D$$

$$K H = \frac{C D}{\cos \alpha}$$

$$\frac{C D}{\cos \alpha} H L = A C \cdot C D$$

$$H L = a = A C \cos \alpha = h \cos \alpha$$

donc  $a$  est proportionnel à  $h$  et à  $\cos \alpha$ .

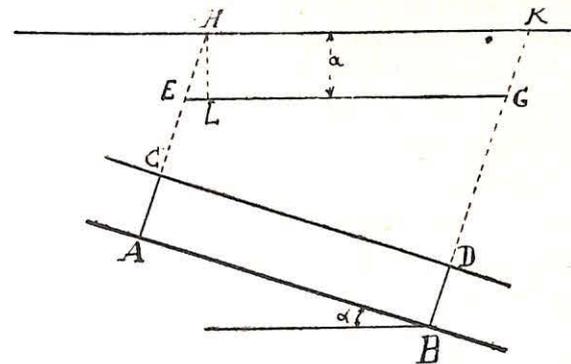


Fig. 21.

Si  $\alpha$  grandit,  $a$  diminue. De  $K H = \frac{C D}{\cos \alpha}$  si  $C D = \text{const.}$

et si  $\alpha$  grandit, il en sera de même de  $K H$  ou longueur de la zone influencée.

49. En Westphalie la formule suivante est appliquée

$$a = K h \cos \alpha$$

C'est celle de Dumont affectée d'un coefficient  $K$  variable avec  $\alpha$  et la présence ou l'absence de remblai.

Avec remblai: $K =$	0,4	0,3	0,25
pour $\alpha$ variant de	0 à 10°	10 à 35°	plus grand que 35°

Sans remblai  $K$  peut atteindre 0,8.

REMARQUE. — Il existe des renseignements intéressants sur la compressibilité des remblais dans le mémoire de Fayol (1) et dans celui de M. Lafitte, ingénieur en Chef des Mines de Lens (2).

#### Temps après lequel les travaux miniers font sentir leur influence à la surface et durée de cette influence.

50. En Belgique, les vides produits par l'enlèvement du charbon sont comblés plus ou moins complètement par des déblais provenant des bancs de stériles intercalés entre les différentes laies de la veine, du coupage et du recarrage des voies, des travaux en roche ou amenés de la surface par un moyen quelconque.

Le poids des terrains stratifiés du toit de l'excavation agit alors et gagne la liaison des bancs suivant les joints de stratification. Ces bancs fléchissent, se brisent ensuite et l'affaissement se propage vers le haut aussi longtemps que le vide provenant de l'exploitation et ceux créés par la dislocation des roches supérieures ne sont pas entièrement remplis et tassés jusqu'à refus par l'action du poids des matériaux éboulés.

(1) Bulletin de la Société de l'Industrie minière, t. XIV, 4<sup>e</sup> liv., 1885.

(2) Publications du Congrès des mines de Liège, année 1905.

Ce phénomène que nous limitons d'abord entre les cassures principales se transmet jusqu'au sol où il provoque un affaissement maximum que nous supposons constant dans toute la région influencée.

Les zones comprises entre les cassures principales et secondaires s'ébouleront à leur tour et l'affaissement sera nul au point où les cassures secondaires arrivent à la surface.

On conçoit qu'en réalité, tous ces phénomènes se produisent simultanément.

51. Les effets de l'exploitation sur les constructions de la surface sont différents suivant qu'elles sont situées sur les bords de la zone influencée ou au milieu de celle-ci. Tandis que les premières sont affectées de dégradations importantes, les secondes descendent régulièrement en subissant des dégâts peu importants. Cette circonstance trouve son explication dans ce fait que les terrains s'affaissent pour ainsi dire en masse dans la région comprise entre les cassures principales.

Une deuxième couche vient-elle à être exploitée sous la première, les mêmes phénomènes se reproduiront mais la rapidité de propagation du mouvement de descente qui lui est dû sera accrue, les terrains supérieurs ayant déjà été disloqués par la première exploitation et ces roches du toit couleront en quelque sorte vers le vide produit lorsque les lignes de cassure les atteindront.

Dans les premiers temps qui suivront l'apparition des dégradations à la surface, le mouvement de descente sera brusque et intense et les dommages les plus importants se manifesteront. Cette période n'aura qu'une durée très limitée.

Dans la suite le mouvement ira en s'atténuant : les débris du houiller s'étant accumulés, s'enchevêtreront ; les arêtes vives se briseront pour remplir les interstices entre les

morceaux qui s'écraseront ensuite sous le poids de ceux qui leur sont supérieurs et le tout arrivera finalement à un état de consistance tel qu'en chaque point la résistance à la compression fera équilibre au poids des roches brisées. Dès lors tout mouvement cessera et le sol aura reconquis sa stabilité primitive. L'affaissement correspondant à cette seconde période sera de très peu d'importance et il sera si lent et si régulier qu'il n'en résultera aucun dommage pour les bâtiments de la surface (1).

52. Il n'est pas possible de fixer *a priori* le temps après lequel les travaux miniers feront sentir leur influence à la surface ainsi que la durée de cette influence.

D'après Dumont, on peut admettre que dans nos régions, il ne faut pas une année pour que cette influence se manifeste et ce délai sera d'autant plus court si les couches supérieures ont été exploitées.

Quant à la durée de l'influence, elle est incertaine. Dans quelques localités, comme dans le Hainaut et à Saarbrück, dit Dumont, on admet qu'elle se continue pendant dix à douze ans. Dans d'autres endroits, on a été jusqu'à prétendre qu'elle se prolongeait pendant vingt ou cinquante ans, mais il pense qu'il y a erreur et que c'est à l'influence d'autres causes qu'il faut attribuer les mouvements qui ont pu se produire si longtemps après la cessation de l'exploitation incriminée.

Dans le district de Marisch-Ostrau (Silésie), M. Jicinski pense que pour la profondeur de 400 mètres la durée de la première période est de trois ans, celle de la deuxième période varie de trois à dix ans.

53. Nous avons recherché si l'on devait encore considérer actuellement les renseignements de Dumont comme

(1) *Zeitschrift*, t. XLV, 4<sup>me</sup> partie, année 1897.

l'expression de la vérité, car maintes fois nous avons constaté que dans des maisons réparées peu de temps après l'apparition des dégradations, les lézardes ne se rouvraient pas et que des maisons construites peu de temps après le passage des travaux, n'avaient pas à en souffrir.

La méthode adoptée est la suivante :

A l'endroit de chaque immeuble, nous avons fait une coupe normale à la direction des couches. Une seconde coupe, suivant la direction des couches, devint nécessaire lorsqu'il fallut apprécier l'influence en direction des travaux miniers.

Tenant compte :

- 1° De l'âge des travaux miniers ;
- 2° De l'époque à laquelle les travaux miniers font sentir leur influence à la surface au moyen des lettres de réclamation formulées à des époques différentes par les propriétaires des immeubles lézardés ;
- 3° Des dates où les réparations des dégradations ont été exécutées, on peut dans beaucoup de cas, fixer ce délai après lequel les travaux miniers ont cessé leur influence sur les bâtiments de la surface.

EXEMPLE. Une couche A est exploitée sous un immeuble en janvier 1905 ; le propriétaire signale que des dégradations sont apparues au bâtiment dans le courant de décembre 1905. Les réparations sont exécutées en février 1907.

En janvier 1909, on exploite sous le même immeuble une couche B qui fait sentir son influence en novembre 1909.

Que conclure de là ?

- 1° C'est que la couche A fait sentir son influence 11 mois après son passage sous l'immeuble ;

2° Les réparations sont faites en février 1907 et comme on ne réclame plus avant novembre 1909, il en résulte qu'en février 1907, les travaux miniers de 1905 avaient cessé toute leur influence, soit vingt-six mois après leur passage sous la maison litigieuse.

Qui sait même si cette influence n'était pas éteinte avant février 1907 ?

Ayant procédé de cette manière pour un grand nombre de bâtiments, nous pouvons tirer les conclusions suivantes de l'enquête à laquelle nous nous sommes livré.

1° *Les travaux miniers font sentir leur influence un an environ après leur passage sous un immeuble ;*

2° *La durée de l'influence est très variable mais dans la majorité des cas, elle est inférieure à trois ans.*

REMARQUE. — Il existe d'autres causes qui ont pour effet de produire sur les bâtiments de la surface des dégradations qui sont identiques à celles dues aux travaux miniers.

Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de les examiner, mais le lecteur lira avec intérêt sur ce sujet l'ouvrage de Gustave Dumont et la Réponse de l'Union des Charbonnages, Mines et Usines de la province de Liège.

---