Les dégâts miniers à la surface et dans les travaux

d'après « Bergschadenkunde » du Dr. Ing. O. Niemczyk.

par L. DENOEL,

Professeur émérite à l'Université.

L'auteur, professeur de topographie minière à l'Ecole Supérieure des Mines d'Aix-la-Chapelle, a, dès 1931, créé un cours spécial de la *Science des dégâts miniers* et il en a fait un centre d'investigations qui n'a pas cessé de prendre de l'importance. Cette nouvelle discipline s'est assigné pour but de réduire autant que possible, sinon de supprimer, les dommages à la surface et de conduire les travaux du fond de manière à équilibrer les tensions dans le massif, à éviter les coups de toit et à rendre l'exploitation plus sûre et plus lucrative.

La littérature, en cette matière, est très volumineuse et elle touche, non seulement la question proprement dite des dommages, mais aussi une série de questions connexes. Le présent ouvrage s'efforce de condenser et de classer toute cette documentation dispersée, d'en faire la critique et d'exposer les résultats acquis et les problèmes qui restent à résoudre.

L'ouvrage est divisé en deux parties :

A. — DOMMAGES A LA SURFACE.

B. — DOMMAGES AU FOND. ETUDE DES PRESSIONS DE TERRAINS.

(1) Verlag Glückauf, Essen — 1949 — 290p., in 4°.

A. — DOMMAGES A LA SURFACE

I. — Principes généraux. Mesures topographiques. Erreurs dans l'appréciation des mouvements du sol.

Le Chapitre I est consacré à l'étude de ces sujets et constitue une sorte d'introduction.

Après des considérations sur la notion juridique des dégâts miniers, l'auteur s'attache au but technique de leur étude. Au début, on n'a traité que des affaissements exclusivement. C'est en 1906 que le géomètre Janus, de Homberg a, le premier, attiré l'attention, non seulement sur les affaissements verticaux, mais aussi sur les déplacements horizontaux et les déformations des profils d'investigation. (1)

Le degré de précision des observations, les méthodes et les instruments, la détermination des erreurs probables dans les mesures tant au fond qu'à la surface font l'objet d'une douzaine de pages.

Les formules sont traduites en graphiques ; des exemples en montrent l'application. On y voit que, dans un polygone de 12 côtés d'une longueur totale de 471 m., l'erreur sur la position d'un point est de 15,8 mm. L'écart limite acceptable est estimé à 2,5 fois l'écart moyen, dans les opérations à la surface, et à 3 fois dans celles du fond. Les exigences paraîtront sévères, mais elles sont en rapport avec l'ordre des grandeurs des mouvements à mesurer, lesquels n'ont de signification que s'ils dépassent les erreurs d'observation.

II. — Théorie des mouvements du sol au-dessus des exploitations.

Cette question a fait l'objet successivement de considérations purement théoriques, de l'étude des profils de nivellements sur le terrain et d'expériences sur des modèles en petit. L'auteur considère comme désuètes toutes les théories qui ont été proposées depuis Gonot jusqu'à la « règle westphalienne » et Thiriart, pour s'en tenir à la période qui va de Korten (1909) à nos jours. Il s'appuie sur la « *Théorie de la cuvette* » qui a été développée par Lehmann.

(1) En 1885, par Fayol. - Bul. Soc. Ind. Min. En 1864, par Goodwin. - Trans. Manchester Geol. Soc. (N.d.L.D.).

1. Les éléments à considérer sont l'affaissement, l'inclinaison, la courbure, le glissement, l'extension et la compression.

Il faut, en tout premier lieu, considérer l'action d'une seule couche dans un terrain vierge et en stratification horizontale ou inclinée. Pour la clarté de notre résumé, nous reproduisons ici les quelques diagrammes fondamentaux donnés (fig. 1 à 8).

mis, en plus de la descente verticale, à une composante horizontale $v = s.t.g.\mu$. Sur la fig. 2 sont indiqués les glissements par rapport au point 15 et les variations de longueur observées, les unes positives (extensions), les autres négatives (compressions) et il a été démontré par Keinhorst que la somme de toutes les compressions est égale à la somme des extensions. Les variations le long du profil sont représentées par la fig. 2. Il existe deux maximums

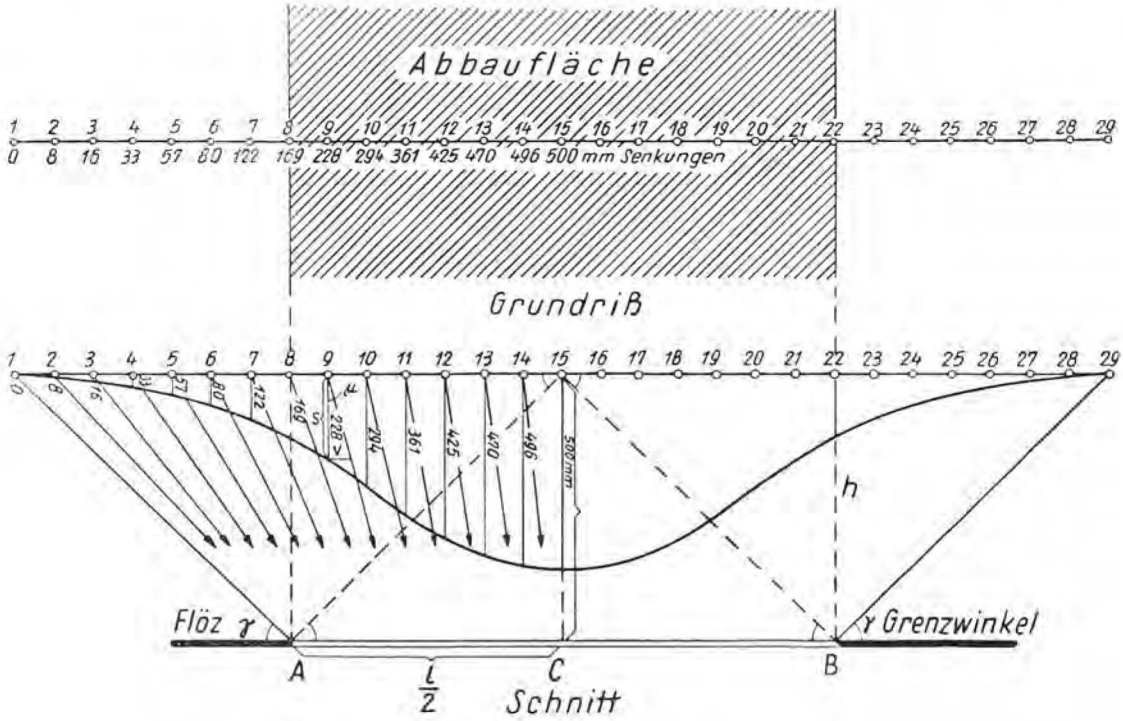

Fig. 1. — Formation de la cuvette ; 1. Affaissements.
Abbaufläche = aire exploitée.
Grundriss = plan.
Schnitt = coupe.
Flöz = couche.
Grenzwinkel = angle limite.

Une base a été tracée et mesurée avec toute l'exactitude possible, d'accord avec la direction des travaux, puis on a exploité le panneau hachuré, et lorsque le tassement a été présumé achevé, les mesures faites ont donné les résultats figurés.

Comme il s'agit d'un schéma didactique, les cotes ne sont données que sur la partie gauche du diagramme, mais elles se répètent symétriquement sur la droite. La courbe d'affaissement a une allure sinusoïdale. A et B sont les limites du panneau, γ est l'*angle limite*, β l'angle de cassure, μ l'angle avec la verticale des trajectoires supposées d'un point du sol sollicité suivant la direction des flèches. Le point central n° 15 est sollicité également à droite et à gauche et descend verticalement, tandis que les points 2 à 14 d'une part et 29 à 16 d'autre part sont sollicités vers le centre et ainsi sont soudes tensions ; ils correspondent aux angles de cassures ; le passage de la zone négative à la zone positive se trouve aux aplombs du périmètre en A. et B. De ces éléments, on déduit la courbure, le glissement et l'inclinaison locale, qui ont un grand intérêt du point de vue des lésions aux constructions.

La fig 3 représente l'allure de tous ces mouvements de terrain. Dans la pratique, on constate naturellement des écarts d'avec ce diagramme théorique ; ils sont dus à l'hétérogénéité des terrains, des couches, à l'allure imprimée à l'exploitation. Il n'est donc pas surprenant que la théorie de Lehmann ait été critiquée et amendée dans une foule de publications mais, d'après notre auteur, elle n'en est pas ébranlée et elle constitue le meilleur fondement de l'étude des dégâts miniers.

Les figures se rapportent à un panneau exploité

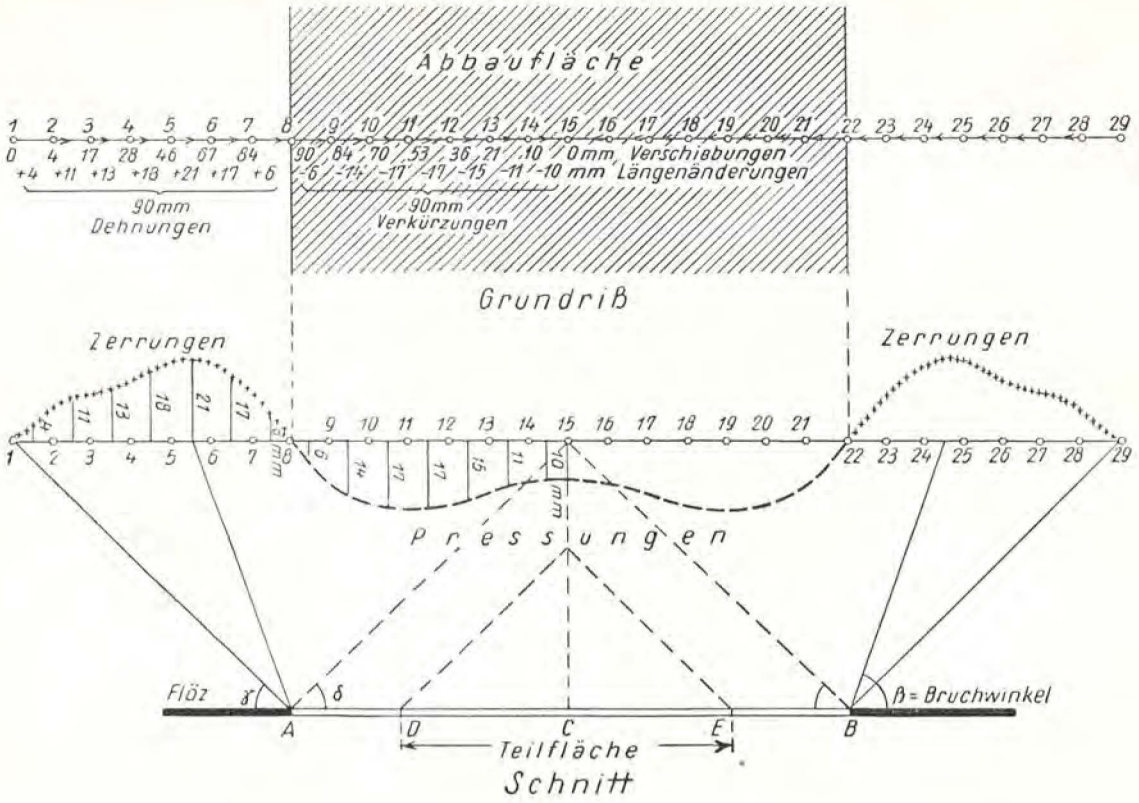

Fig. 2. — Formation de la cuvette : II. Pressions et tensions.

Dehnungen = allongements.
Verkürzungen = raccourcissements.
Verschiebungen = glissements.
Längenänderungen = variations de longueur.
Zerrungen = tensions.
Pressungen = pressions.
Teilfläche = aire partielle.

sur toute sa largeur et à un état d'équilibre stable, atteint après un temps assez long. On appelle *aire pleine*, celle que détermine le plan de la couche dans un cône ayant pour base le contour de la cuvette superficielle et des génératrices d'angle γ sur l'horizon. C'est, en d'autres termes, l'aire influençant la surface de 0 à 29. Il serait plus expressif de l'appeler aire de *complète influence* ou *d'action complète*. On appelle *aire partielle*, une aire quelconque à l'intérieur de la précédente et *aire surabondante*, celle *qui déborde celle-ci*.

Une aire partielle AC correspond par exemple à un sens de marche de A vers B ; l'allure des déformations obéit dans son ensemble aux mêmes lois, les angles-limites sont les mêmes et l'axe de symétrie correspond au centre de l'aire partielle. La loi de l'égalité entre la somme des pressions et celle des tensions se vérifie encore. La cuvette se creuse progressivement et son fond se déplace dans le sens A→B. Au point A et à sa gauche, les valeurs absolues des caractéristiques vont en augmentant ; la la zone des tensions n'augmente pas, mais le maximum se déplace vers la droite. Une remarque importante, c'est que, à partir du moment ou l'aire partielle est égale à *1/2*, ce maximum atteint sa valeur définitive correspondant à l'aire pleine *1*. Dans la zone comprimée, le maximum est atteint déjà à partir de *1/4*. Il en résulte qu'il y a un *point critique* qui a été signalé par Rellensmann. Ces phénomènes sont représentés par le diagramme 5.

Dans la zone surabondante (diagr. 6), il se forme une cuvette à fond plat, soit une zone centrale d'équilibre, et aux deux extrémités apparaissent les mêmes phénomènes de déformation déjà étudiés. Il en résulte que, dans cette zone centrale, s'il n'y a pas de perturbations causées par abandon de piliers ou intervention d'autres chantiers, les seuls dégâts produits sont ceux qui dépendent de l'affaissement simple, par exemple, les variations des niveaux aquifères.

Stratification inclinée.

Dans ce chapitre sont relatés uniquement les résultats des observations. Il est établi d'abord que

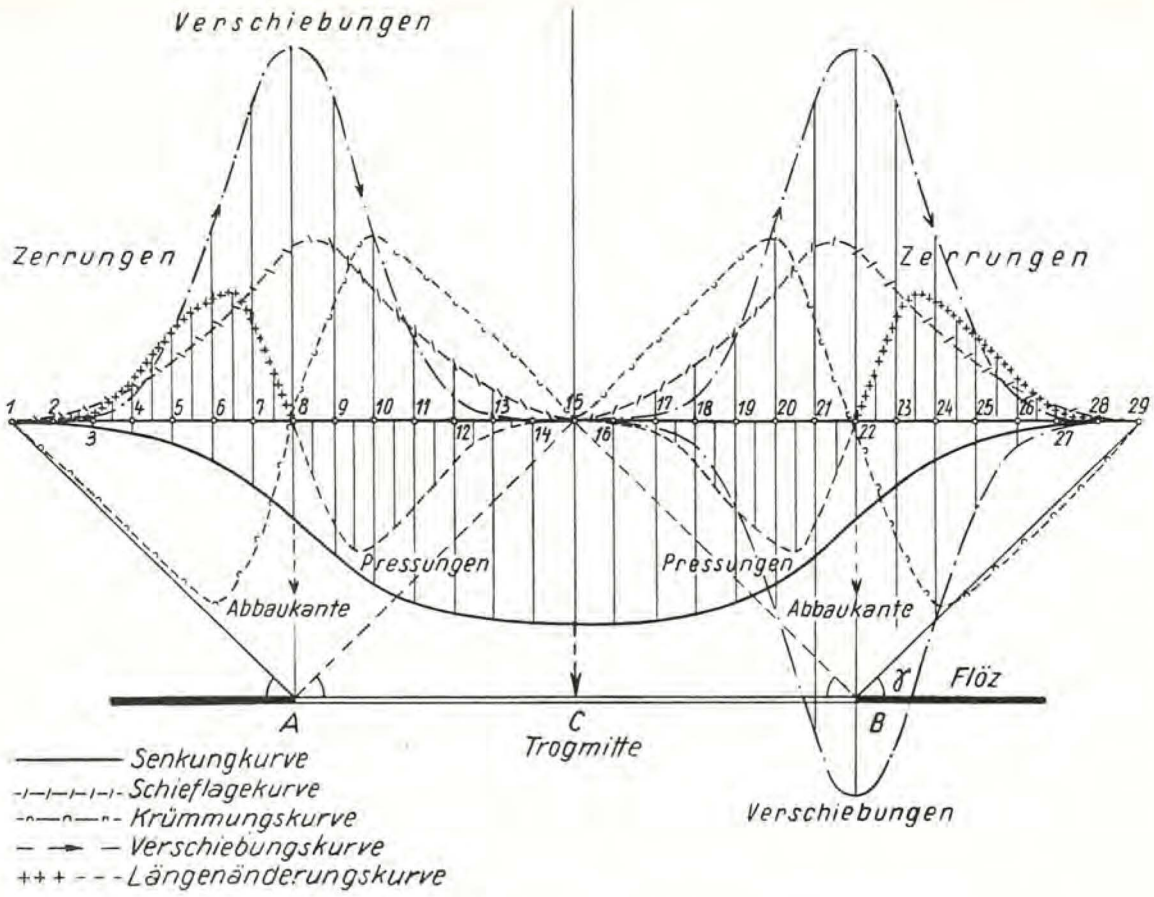

Fig. 3. — Représentation des mouvements du sol au-dessus d'une aire complète.
Senkungkurve = courbe des affaissements.
Schieflagekurve = courbe des dénivellations.
Krümmungskurve = courbe des courbures.
Verschiebungskurve = courbe des glissements.
Längenänderungskurve = courbe des variations de longueurs.
Abbaukante = limite du massif.
Trogmitte = milieu de la cuvette.

le fond de la cuvette n'est plus au milieu de l'aire exploitée, mais beaucoup plus près du bord supérieur. Les angles limites ne sont plus égaux ; celui d'amont beaucoup plus raide que celui d'aval, ce dernier décroissant à mesure que le pendage de la couche augmente. En terrain horizontal, l'angle γ a une valeur moyenne comprise entre 50 et 55°, en couches inclinées de 25 à 85°, l'angle d'amont γ_L varie entre 60 et 90° et l'angle d'aval γ_h entre 50 et 30°.

Les exemples 7 et 8 servent de modèles d'analyses des phénomènes. Dans la fig. 7, l'aire pleine correspondant à un profil AB est CD déterminée par les angles limites 70° et 40°. Le point le plus bas est en S et les parallèles aux directions limites menées par ce point déterminent les limites C et D de l'*aire d'action complète*. La cuvette d'affaissement est fortement étirée vers la gauche. Les glissements, inclinaisons et tensions sont caractérisés par des courbes assez plates et à faible courbure dans la branche gauche du diagramme, mais au voisinage du point S par des maximums très élevés et tombant rapidement. Il y a donc là une zone étroite, mais très dangereuse, et au-delà vers l'extrémité B, il n'y a que des tensions et des pressions insignifiantes. L'angle de cassure ne diffère guère de l'angle limite de 70°. Cependant, la loi de Keinhorst, équivalence des pressions et des tensions, subsiste encore.

L'aire partielle est caractérisée par le fait que l'intersection S' des parallèles aux angles limites se trouve en-dessous de la surface. La cuvette est encore dissymétrique, le point le plus bas est situé dans la région d'amont, mais les diverses courbes caractéristiques présentent plus d'analogies avec celles des plateures. Ainsi, il y a deux maximums des tensions. Celui de gauche et le maximum des pressions peuvent encore être traités de *points critiques*.

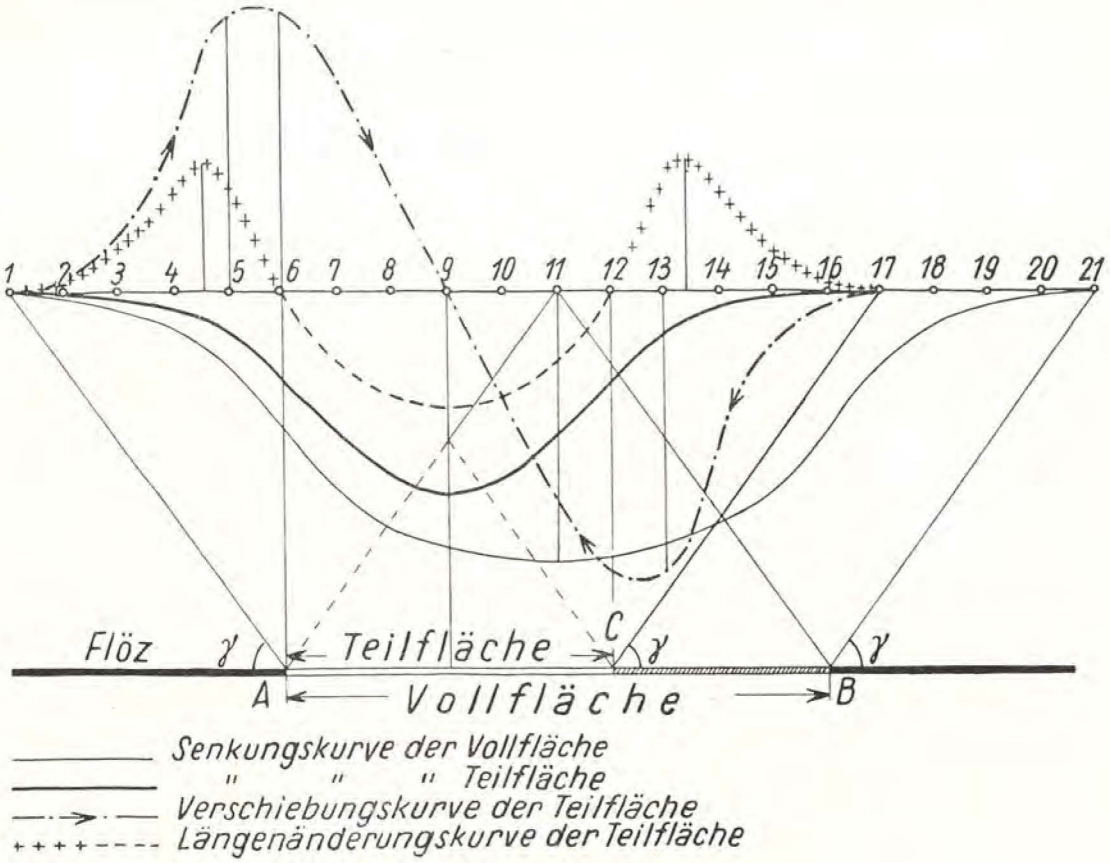

Fig. 4. — Représentation des mouvements du sol au-dessus d'une aire partielle.
Senkungskurve der Vollfläche = affaissements de l'aire complète.
Senkungskurve der Teilfläche = Affaissements de l'aire partielle.
Verschiebungskurve der Teilfläche = glissements correspondant à l'aire partielle.
Längenänderungskurve der Teilfläche = variations de longueur correspondant à l'aire partielle.

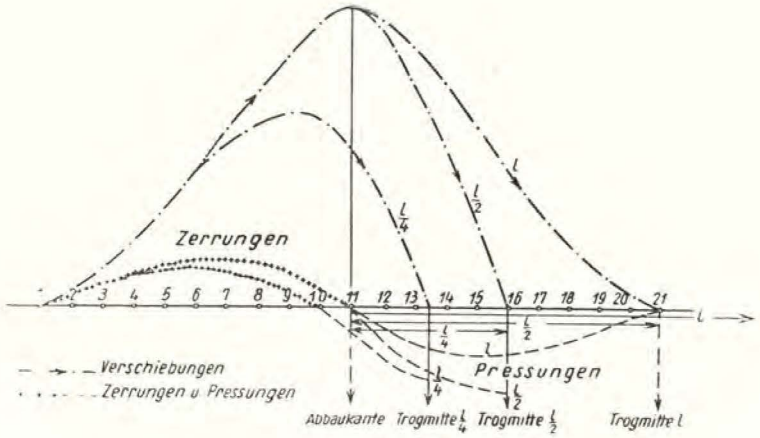

Fig. 5. — Glissements et variations de longueur au-dessus d'une aire complète et d'aires partielles.

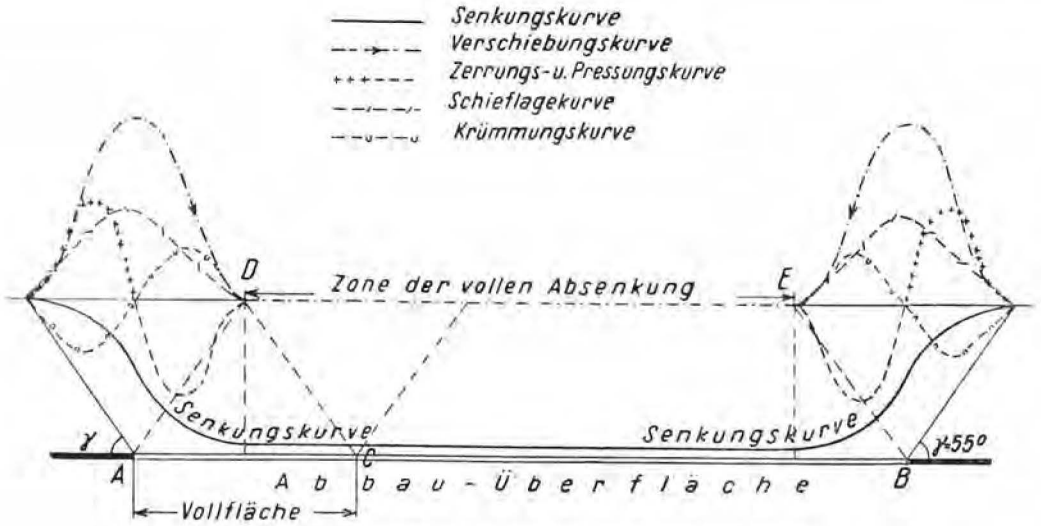

Fig. 6. — Mouvements du sol au-dessus d'une aire surabondante.

Zone der vollen Absenkung = zone de tassement complet.

Il est important de noter que, dans les figures 2 à 9, quand il s'agit d'aires partielles, les états figurés ne sont pas des états momentanés, mais ceux qui correspondent au tassement final qui peut n'être atteint qu'après plusieurs années. Les variations dans le temps des déformations du sol sont un des problèmes les plus ardus et il n'en est pas question dans ce chapitre.

2. Propagations des mouvements à l'intérieur du massif.

En tentant d'expliquer les modes d'enfoncement des terrains dans les vides formés par l'exploitation, on se heurte à des difficultés inextricables. Les phénomènes échappent à l'observation directe et par conséquent à toute mesure. On en est réduit à des hypothèses, à des essais sur des modèles en petit et à quelques cas très particuliers de puits d'extraction ou d'aérage influencés à divers niveaux par les chantiers d'exploitation.

L'auteur rapporte, avec les réserves qu'elle comporte, la théorie de Korten qui attribue la désagrégation du terrain en ordre principal aux tensions de traction, soit directes, soit résultant de flexions, et à l'écoulement des masses ameublies vers le vide à la façon d'un liquide visqueux. Eckardt a proposé une théorie mécanique qui suppose la formation d'une voûte au-dessus du vide, voûte dont la portée augmente progressivement et qui finit par s'écrouler. Dans certains cas exceptionnels de bancs de grés

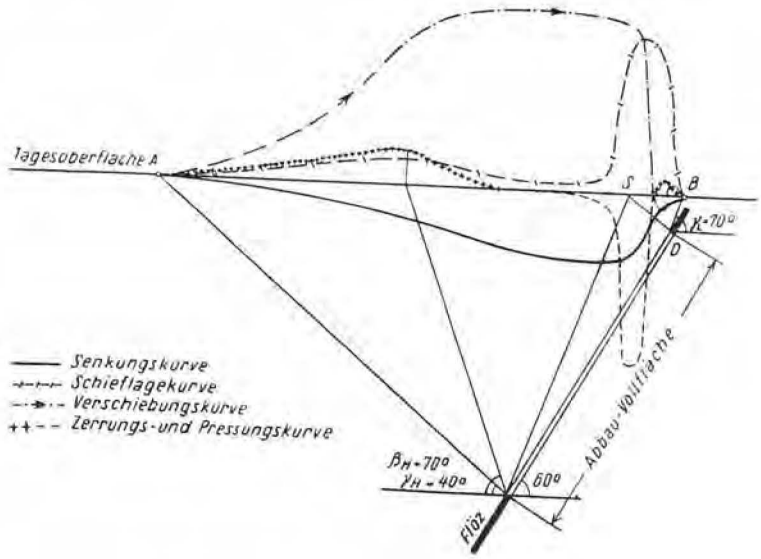

Fig. 7. — Mouvements du sol dans le cas d'un dressant. Aire complète.

massifs et cohérents, cet écroulement n'atteindrait pas la surface. Dans les terrains meubles ou tendres sans grande résistance à la traction, l'envahissement du vide se fait immédiatement. Le remblai atténue les mouvements en verticale, mais les étend en horizontale. Eckardt ne fait aucune distinction entre les plateures et les dressants, mais il s'occupe des failles. Il y a certaines coïncidences à l'appui de ses vues, mais il faut se garder de les généraliser.

L'étude de modèles en petit a été faite depuis très longtemps. On peut faire à tous ces essais le même reproche, c'est qu'ils emploient des matériaux dont les propriétés mécaniques diffèrent absolument de celles des roches du terrain houiller. L'intérêt de ces expériences est de confirmer plus ou moins les explications théoriques et de reproduire certains phénomènes naturels comme la formation de la cuvette, de fissures sur les bords, etc

L'étude des cavités naturelles a aussi été invoquée, par exemple l'existence des grottes de grande étendue dans les calcaires, dolomites et basaltes fait toucher du doigt la formation de voûtes et leur écroulement partiel. Les mines de sel et les glaciers fournissent des exemples de plasticité et de crevasses et des indications sur les déformations en fonction du temps que l'on a transposés par analogie aux massifs houillers. Une attention spéciale doit être réservée à la comparaison des affaissements avec la formation des synclinaux et anticlinaux géologiques et des cassures qui les accompagnent, les unes radiales (tractions), les autres (crains, charriages) attribuées à des compressions.

Lehmann a montré que la formation d'un géosynclinal est assimilable à celle d'une cuvette d'affaissements et que les deux phénomènes peuvent s'expliquer l'un par l'autre. Considérant l'accentuation des plissements observables à l'époque actuelle, et en particulier, le relèvement des crêtes

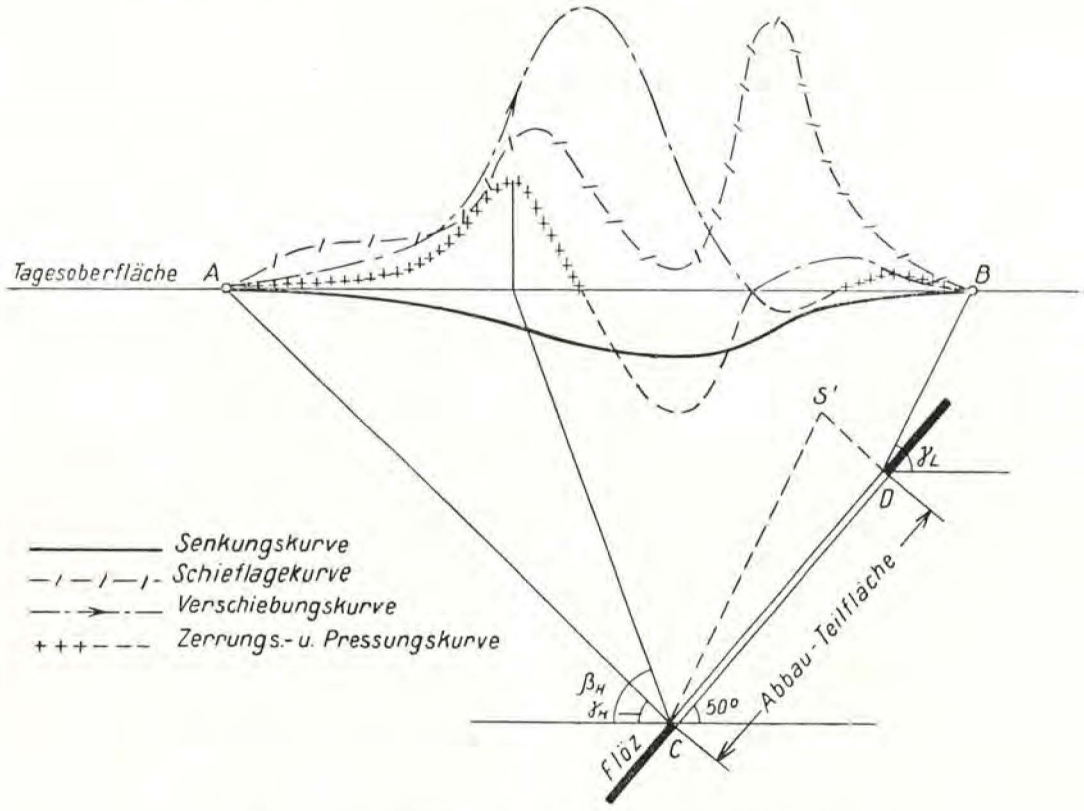

Fig. 8. — Mouvements du sol au-dessus d'un dressant. Aire partielle.

même reproche, c'est qu'ils emploient des matériaux dont les propriétés mécaniques diffèrent absolument de celles des roches du terrain houiller. L'intérêt de ces expériences est de confirmer plus ou moins les explications théoriques et de reproduire certains phénomènes naturels comme la formation de la cuvette, de fissures sur les bords, etc

L'étude des cavités naturelles a aussi été invoquée, par exemple l'existence des grottes de grande étendue dans les calcaires, dolomites et basaltes fait toucher du doigt la formation de voûtes et leur écroulement partiel. Les mines de sel et les glaciers fournissent des exemples de plasticité et de crevasses et des indications sur les déformations en fonction du temps que l'on a transposés par analogie aux massifs houillers. Une attention spéciale au bord d'une fosse, Lehmann les compare aux très légers relèvements constatés aux limites des cuvettes et dont l'existence a été mise en doute par plusieurs auteurs parce que leur amplitude, de 1 à 3 cm, est de l'ordre des erreurs d'observation. Il cite le cas particulier d'une mine de lignite où le relèvement bien que très faible ne serait pas discutable et il conclut à la réalité du phénomène, tout au moins là où les terrains de surface sont tendres ou plastiques.

Les refoulements et les étirements et leurs variations de bas en haut ont fait l'objet d'une étude de Bals, qui est rapportée substantiellement.

La propagation des déformations se ferait en trois phases. Au-dessus de l'aire exploitée, on trouve une zone d'affaissement complet délimitée par les plans

d'angle limite et formant voûte ou pyramide. Si l'aire est complète, le sommet atteint la surface et tout le corps de terrain ainsi délimité s'affaisse en bloc. Tout alentour, il y a une zone de tensions à l'intérieur de laquelle tous les points s'affaissent moins dans les régions hautes que dans le fond. C'est uniquement dans cette zone qu'il peut y avoir un foisonnement ; elle est limitée par le cylindre vertical ayant pour base l'aire exploitée. La troisième zone est extérieure à ce cylindre et s'étend jusqu'aux bords de la cuvette. Ici, tous les points des régions supérieures subissent des affaissements décroissant à mesure que l'on descend. Il n'y a pas de foisonnement, mais au contraire une compression des couches, qui se manifeste par la surpression dans le ferme à partir du front de taille.

III. — Effets sur les constructions de la surface.

1. Pressions et tensions.

Ces effets sont connus et ils ont été décrits entre autres par Goldreich avec de nombreuses illustrations. L'auteur y ajoute quelques exemples montrant les lésions d'une fondation en béton, de murs en briques, de conduites d'eau.

2. Les nappes aquifères.

Elles font l'objet d'une étude assez développée qui embrasse la formation de mares, les fluctuations saisonnières des nappes phréatiques, le rabattement des niveaux, la déformation de la surface par les phénomènes de dissolution, etc. L'auteur s'attache aux résultats des investigations les plus récentes, dont celles faites par son Institut (Dissertation de H. Rom, 1939).

Un épuisement local donne lieu dans la nappe à la formation d'un entonnoir que l'auteur suppose en forme d'hyperboloïde, dont le rayon d'action varie avec la hauteur du rabattement et la perméabilité du terrain. Kyrieleis et Sichard ont proposé la relation $R = 3000 \times h \times \sqrt{K}$ qui est traduite en graphique en fonction des valeurs expérimentales de K comprises entre 0,10 et 0,0001. Cette formule, bien qu'empirique, donne des résultats satisfaisants dès que K est donné avec précision et elle a l'avantage d'être d'une application facile, alors que les formules théoriques sont très compliquées. K peut être déterminé au laboratoire ou indirectement par des essais de pompage gradués. La question des dommages causés par l'épuisement et par les alternances d'activité et de repos a donné lieu à de vives controverses et à de nombreux procès.

Dans les terrains solubles, sel, gypse et calcaires, il n'est pas douteux que la dissolution occasionne des dégâts. Des irruptions de sables boulants dans les mines de lignite et dans le bassin houiller de Beuthen ont causé des catastrophes dans les chantiers et aussi des assèchements d'étang et des lésions aux bâtiments, mais dans des cas particuliers très rares. L'entraînement lent et progressif de fines particules solides n'a d'effet qu'au voisinage immédiat du point de captage. L'épuisement d'eau pure à des effets appréciables dans les mines de lignite, où les morts-terrains sont formés de roches liantes (argiles, marnes) qui gonflent ou se contractent lorsque l'entonnoir d'épuisement se superpose à une cuvette d'affaissement due aux exploitations. On trouvera dans ce chapitre des exposés mathématiques et des graphiques.

3. Les coups de toit.

Ils donnent lieu à des ébranlements de la surface qu'on peut enregistrer par des sismographes et qui sont perceptibles à des distances de 40 km et plus de l'épicentre. On trouvera dans ce chapitre des détails sur la répartition, la concordance avec les grands séismes, l'influence de la profondeur, la périodicité. Des dégâts importants aux bâtiments de la surface ont été constatés en Haute-Silésie. Le nombre de ces accidents a fortement décru depuis 1939 grâce aux mesures de sécurité introduites dans les méthodes d'exploitation.

4. Mesures propres à atténuer les dégâts miniers.

L'auteur examine successivement les rues à grand trafic, les maçonneries, les canalisations d'eau, de gaz et d'électricité, les chemins de fer et tramways, les installations de chauffage. Il discute la question des matériaux, celle des joints élastiques ou susceptibles de glissement, celle des perturbations dans les pentes, de la division des longs bâtiments en blocs indépendants, etc... Il donne de nombreux exemples et croquis de dispositifs consacrés par l'expérience, entre autres les fondations sur béton, sur grillages métalliques, sur articulations, et il constate que des progrès considérables ont été réalisés dans le sens de l'atténuation des dégâts.

5. Limite des déformations dangereuses.

Il pose ensuite la question de savoir à partir de quelle limite les déformations deviennent dangereuses. Une pente de 1 à 2 mm. par m. dans les planchers est sans conséquence, mais il n'en est pas de même pour les massifs de fondation de machines pour lesquels 0,5 mm. est une limite. Les extensions dans les maçonneries peuvent être comparées à celles qu'on observe dans les essais de résistance de matériaux ou aux dilatations par les variations de température. Quand un mur de briques est exposé au dehors à une température de —30° C et au dedans à + 20 ou 25°, il y a entre les deux parois une différence de longueur de 0,31 mm. par m. et cependant on ne constate pas de fissuration. Par conséquent des extensions ou contractions de 0,5 à 0,6 mm/m dans les maçonneries sont tolérables, tandis que dans un tuyau de 8 m. de long,

elles provoqueraient l'arrachement d'un joint. Par contre, les murs sont beaucoup plus sensibles aux hors-plomb que les rails et les tuyaux. Leur redressement est très coûteux.

IV. — Dégâts pseudo miniers.

Il y a une multitude de causes produisant des mouvements du sol dans les terrains minés et dans les autres. L'auteur en cite une vingtaine qu'il distingue entre *naturelles et artificielles*. Les sources, les variations du niveau hydrostatique ont une tout autre influence dans les terrains fangeux ou tourbeux que dans les sables et graviers. Les mouvements tectoniques actuels sont, les uns extrêmement lents et perceptibles seulement par leurs effets sur des bâtiments historiques ou par des mesures géodésiques répétées à très longs intervalles, les autres beaucoup plus rapides et même brusques. Il est à noter qu'on peut attribuer une certaine probabilité aux mesures de hauteurs, mais que les déplacements horizontaux restent très problématiques. Cependant le cas de la ville de Beuthen est instructif. On a établi que le centre s'est affaissé de 15 cm en 20 ans et que les déplacements en travers ont atteint 43 à 76 mm, ce qui représente 4 fois l'erreur probable déduite de mesures réitérées. Ces mouvements du sol, peut-être plus fréquents qu'on ne le croit, doivent être acceptés comme une donnée du problème puisque leur détermination exige des nivellements précis et une triangulation dont les frais très élevés et la durée sont exorbitants devant l'importance des dommages.

Les tremblements de terre.

Les tremblements de terre font l'objet de considérations géologiques et le tableau de Mercalli-Cançani-Sieberg donne toutes les indications sur leur intensité et leurs effets nocifs. Leur part d'intervention dans les dégâts est d'une appréciation très difficile.

Les causes artificielles.

Les causes artificielles sont d'abord les barrages, les endiguements et les ouvrages de régulation des cours d'eau, qui provoquent des érosions, des affaissements et des variations notables dans les niveaux des nappes aquifères, des dommages aux cultures et aux constructions. Les défauts de construction sont nombreux et variés et l'auteur leur consacre cinq pages.

Les dommages dus aux *transports* et à l'*industrie* résultent principalement des vibrations. Ils ont été étudiés récemment à l'aide de sismographes enregistreurs, d'explosions intentionnelles et de machines oscillantes placées souterrainement.

L'effet des véhicules sur un objet dépend de la distance, de la nature du sol et du sous-sol, de la voie et de ses inégalités, du poids et de la vitesse des véhicules. Les points dangereux dans les rues sont les croisements de voies ferrées et, dans celles-ci, les joints des rails. Parmi les machines, ce sont celles de grandes puissances et de grande vitesse, compresseurs, machines soufflantes, concasseurs et appareils à secousses qui ont le plus d'influence ; leurs vibrations sont entretenues et diffèrent en cela de celles des véhicules, plus intenses mais de courte durée. Ces vibrations sont très peu amorties dans le sol de fondation et leur fréquence s'approche de la fréquence propre du bâtiment jusqu'à se confondre avec elle. La description des instruments de mesure, des calculs, des tables de comparaison avec l'échelle des tremblements de terre de Mercalli éclairent cette cause de dommages qui intéresse non seulement les habitations, mais les constructions industrielles, et notamment les châssis à molettes.

Le tir en masse dans les exploitations à ciel ouvert n'a aucun effet sur les bâtiments à partir d'une centaine de mètres du lieu de l'explosion ou d'une profondeur de 60 m. Vers le bas, les vibrations sont très vite amorties, tandis qu'elles vont en s'amplifiant vers le haut, ce qui occasionne par exemple dans les étages supérieurs des bâtiments des fissures plus fortes qu'au rez-de-chaussée ou dans les caves. Les vibrations dans le sens horizontal sont les plus nuisibles. Les effets d'une même cause sont très capricieux, par exemple le long d'une même rue, parce que le phénomène est très complexe et influencé par la nature du milieu.

Depuis 20 ans, l'étude dynamique des sols a été entreprise et a conduit à des conclusions importantes quant au tassement des fondations, aux vibrations de flexion, à leurs conséquences notamment sur les couvertures en béton des rues et des autostrades. Du point de vue des dégâts, la bonne qualité ou l'inaptitude des sols de fondation a une grande importance quand il s'agit de décider de l'érection de bâtiments importants ou du meilleur emplacement des voies de transport. Cette méthode d'exploration du sous-sol a encore de vastes perspectives d'avenir.

V. — La prévision des mouvements du sol.

Dans tout ce qui précède, on s'est efforcé de ramener les phénomènes à des représentations schématiques. Dans la réalité, les mouvements du sol sont complexes et dépendent de causes naturelles (terrain houiller, morts-terrains, pentes, failles) ou des travaux miniers (profondeur, puissance des couches, nombre de couches exploitées, foudroyage ou remblayage), du facteur temps, des arrêts et irrégularités des fronts de tailles, des piliers résiduels.

La théorie a donc besoin du contrôle par des exemples sur le vif et il faut déterminer le degré de confiance que méritent les valeurs numériques des divers paramètres. Il faut établir les relations entre l'aire influencée et l'aire exploitée, entre la

profondeur de la cuvette et l'aire exploitée, la puissance et le mode d'exploitation de la couche. Ces questions font l'objet de longues analyses mathématiques empruntées à différents auteurs où l'on cherche à sérier les difficultés et à traduire les résultats en tableaux numériques applicables aux prévisions.

On part d'un réseau déterminé et on détermine les caractéristiques point par point. Les notations et les représentations graphiques ont été normalisées et sont rappelées dans un tableau.

Le premier problème envisagé est celui d'une couche plate. On cherche d'abord l'affaissement maximum s sous un point P dans le cas de l'aire pleine : il est proportionnel à l'épaisseur de la couche m et à un coefficient a (avec les notations allemandes $s = a.\ m$).

a est compris entre 0,80 et 0,95 dans le cas du [foudroyage
0,10 et 0,30 dans le cas du [remblayage hydraulique
0,50 et 0,60 dans le cas du [remblai sec.

Il faut ensuite faire intervenir le facteur temps z, de sorte qu'à un moment donné $s = m.a.z.$ et si l'on n'a pas encore déhouillé toute la zone d'influence du point P, mais seulement une partie e, l'affaissement sera $s = e.m.a.z.$ et il sera déterminé si l'on connaît chacun des coefficients. D'après les observations de Keinhorst, il faut distinguer entre une zone centrale qui est la base d'un cône d'angle $\zeta_2 = 90° - \beta$ (β = angle de rupture) et une zone de bordure comprise entre la précédente et la base du cône d'angle $\zeta_1 = 90° - \gamma$ angle limite. Dans la zone centrale, à un moment donné, l'affaissement est deux fois plus fort que dans la zone extérieure.

Le facteur z résulte des observations locales et présente de grandes différences, ainsi qu'en témoignent deux diagrammes dont l'un correspond au bassin de la Ruhr, l'autre à la Basse-Silésie. En Ruhr, on admet qu'après deux ans l'affaissement est de 90% du total, et, dans le district de Waldenburg, il est seulement de 5%. Ceci est dû d'abord à la présence d'un massif de grès de 300 m. d'épaisseur et à des différences notables dans les méthodes d'exploitation. Ces chiffres moyens sont loin d'être applicables à tous les charbonnages d'une même région. L'effet est le plus rapide dans le cas du foudroyage, le facteur z dépend du mode de remblayage et de la solidité des matériaux de remblais. Le calculateur doit s'inspirer de son expérience personnelle et des mesures locales.

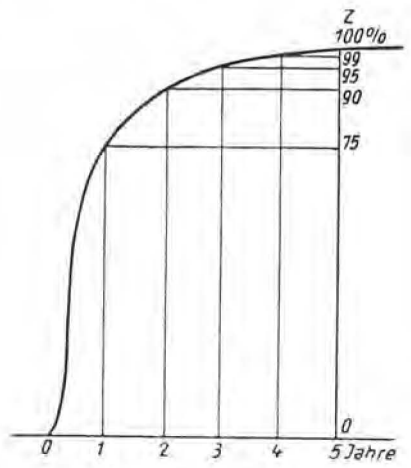

Fig. 9. — Le facteur temps dans la Ruhr.

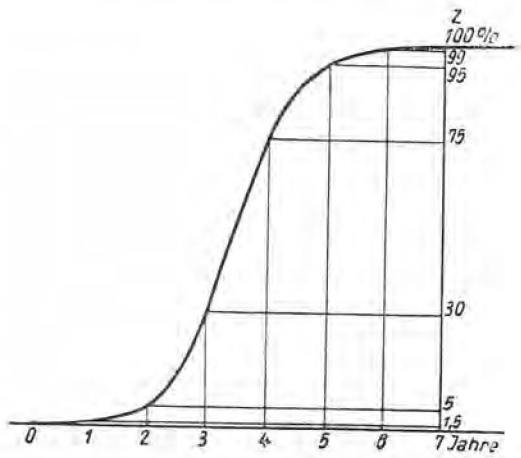

Fig. 10. — Le facteur temps dans le bassin de Waldenburg.

Pour calculer le facteur e, Bals a proposé une méthode beaucoup plus compliquée que celle de Keinhorst. Elle repose sur une division de l'espace en 5 zones angulaires d'effet variable du centre aux extrémités et sur l'hypothèse ultra fantaisiste d'une attraction newtonnienne entre le fond et la surface.

Cas d'une couche inclinée.

Outre les angles β et γ dans le sens de la plus grande pente, il faut faire intervenir un angle γ dans le sens de la direction de la couche. Pour un point P, la zone d'influence n'est donc plus un cercle mais une courbe allongée dont on ne connait effectivement que quatre points, ce qui est insuffisant. D'où des divergences de vues sur le tracé de la zone d'influence qui ont été discutées par H. Fläschenträger. Il a proposé des règles de constructions en admettant que l'angle limite d'influence est le même à l'amont pendage et en direction, et que la courbe est une ellipse dont un axe est dirigé suivant la pente et est d'une grandeur connue par la coupe. Le problème est alors déterminé analytiquement et la solution ne présente pas de difficultés. L'auteur donne une méthode graphique de construction par points, qui ne nous paraît pas plus expéditive.

Ce tracé ne vaut que dans l'hypothèse de l'égalité des angles d'amont pendage et de direction, ce qui

n'est pas le cas général. Dans les dressants, l'angle d'amont varie entre 63° et 80°, tandis que l'angle limite en direction est compris entre 45° et 60°. L'auteur réprouve les tracés en deux arcs d'ellipse indépendants l'un pour l'amont, l'autre pour l'aval, qui ne se raccordent pas tangentiellement. Il préfère une courbe continue et il donne deux exemples, plus un abaque et un tableau numérique correspondant à des pendages de 30° à 70°.

L'aire d'influence étant tracée, on peut calculer l'affaissement par les méthodes de Keinhorst ou de Bals. Jusqu'à 20° de pente, les angles limites diffèrent peu suivant l'orientation, et les méthodes restent applicables. Pour des pentes plus fortes, divers auteurs ont préconisé des divisions en zones d'influence dont les résultats sont consignés dans des tableaux comparatifs.

Calcul de l'affaissement au dessus d'un quartier exploité.

L'affaissement en un point dépend de sa distance au point le plus bas et de la forme adoptée pour la cuvette. Keinhorst adopte une sinusoïde, Bals une forme un peu plus raide sur les bords et plus plate au milieu, Klose et Niemczyk un angle un peu plus fort au point d'inflexion et plus conforme aux observations. Qu'on adopte l'une ou l'autre, l'affaissement en % du total d'un point donné s'obtient sans difficulté pour l'aire complète et il est donné dans un tableau pour une division en 10 parties.

L'affaissement correspondant à une aire partielle se calcule dans l'hypothèse d'un avancement continu en admettant que la cuvette pleine enveloppe toutes les autres, que les angles limites cheminent dans le même sens que le chantier et que l'affaissement en un point est donné par la différence première des chiffres correspondants du tableau des % de la cuvette pleine. Le diagramme 11 représente cette progression.

L'auteur étudie ensuite comment varie de bas en haut l'influence de l'exploitation d'un panneau ; il trace les cuvettes à intervalles de 100 m. entre les profondeurs de 100 m. à 500 m. et il montre que la flèche d'affaissement va en diminuant à mesure que l'on monte, tandis que l'aire d'extension latérale va en croissant.

Prévisions des déplacements horizontaux.

L'auteur pense avec Lehmann qu'on n'a pas attaché assez d'importance à cette question et que les publications s'y rapportant sont clairsemées ; par conséquent, on ne peut obtenir dans les pronostics la même probabilité que dans le calcul des affaissements.

H. Keinkorst a introduit la notion du « centre de gravité » de l'exploitation et il suppose qu'un point de la surface situé sur le bord de la cuvette subit davantage l'influence des travaux à l'aplomb que celle des points plus éloignés. Niemczyk a montré par un exemple, en traçant le faisceau des directions résultantes des déplacements de chaque point qu'on peut se figurer qu'elles convergent vers un pôle commun situé tantôt au-dessus, tantôt en dessous de l'aire exploitée. D'autres auteurs imaginent un centre d'attraction pour chaque aire partielle. Mais Niemczyk fait très justement observer que cette conception d'un centre de gravité est absolument arbitraire et n'est nullement justifiée par des mesures expérimentales. La détermination à priori de la situation de ce centre exige de très longs calculs surtout dans le cas de couches inclinées. La valeur du déplacement horizontal V est donnée par

$$V = \frac{s.l}{h \pm l.\sin\alpha}$$

(le signe + ou — suivant que le point S est à l'aval ou à l'amont de P_1). Il reste encore à déterminer son orientation et c'est là le point délicat quand il s'agit, non pas de mesures, mais de prévisions.

Règles pratiques pour le calcul des prévisions.

Tout ce qui précède se rapporte au déplacement

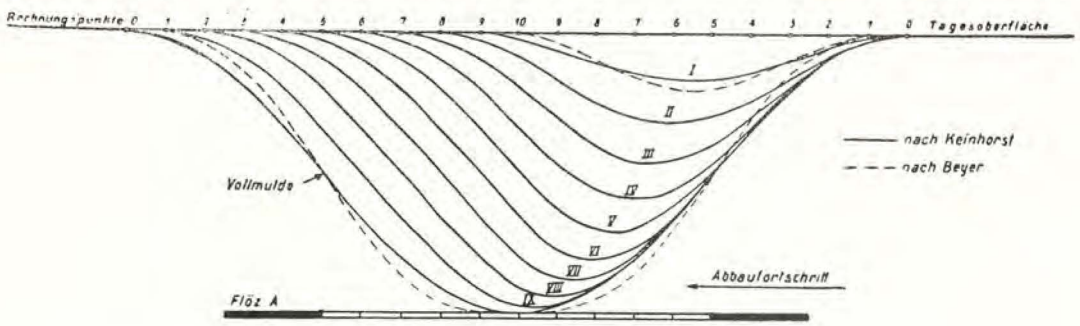

Fig. 11. — Courbes d'affaissement calculées pour des aires partielles.
Nach Keinhorst = d'après Keinhorst.
Nach Beyer = d'après Beyer.

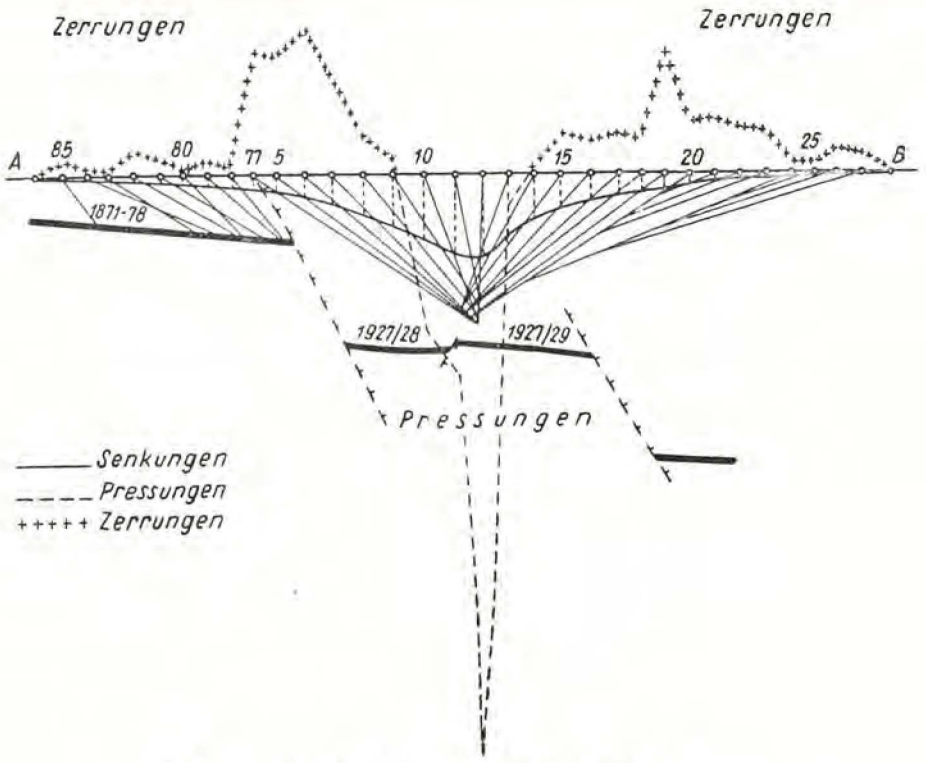

Fig. 12. — Le pôle d'attraction en allure dérangée du gisement.
Senkungen = affaissements.
Pressungen = pressions.
Zerrungen = tensions.

d'un point isolé. Cela ne suffit pas pour établir l'effet de l'exploitation sur la surface. Par exemple pour déterminer le hors-plomb d'un bâtiment, il faut au minimum deux points ; de même pour les variations de longueur. Quand il s'agit de prévoir les conséquences de l'exploitation d'un panneau vierge, il faut prévoir les affaissements et les déviations, année par année, et l'état final. Un canal ou une écluse doivent rester en service après que l'exploitation sera terminée. Si l'on doit exploiter un faisceau de couches pouvant produire un affaissement total de 3 à 4 m., il faut établir à l'avance des digues de cette hauteur pour prévenir les inondations. Dans un autre cas, il faudra établir les constructions industrielles par parties indépendantes ou avec des joints de dilatation. On voit donc que l'étude doit être poussée plus ou moins loin suivant les circonstances. Dans le cas de routes, chemins de fer ou voies

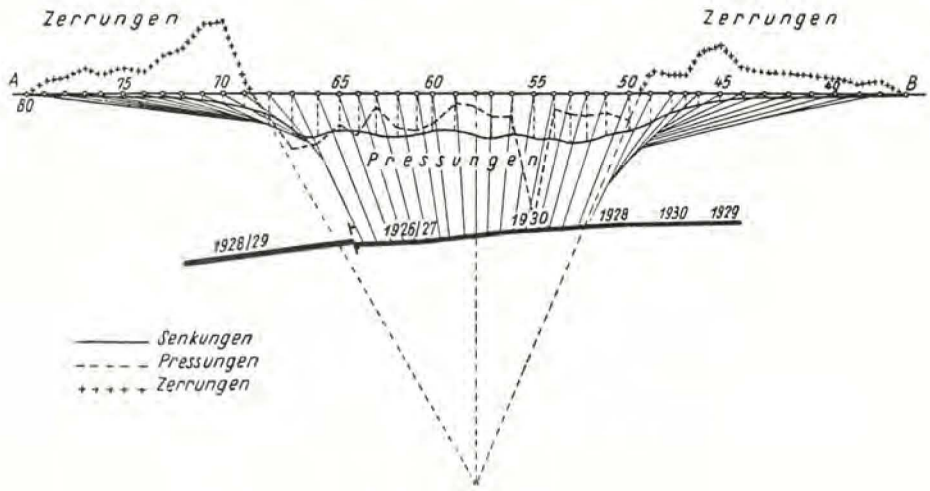

Fig. 13. — Le pôle d'attraction en gisement régulier.

navigables, c'est l'étude des profils qui est concluante ; dans le cas d'agglomérations ou d'usines, il faut établir un réseau de points de préférence suivant un quadrillage.

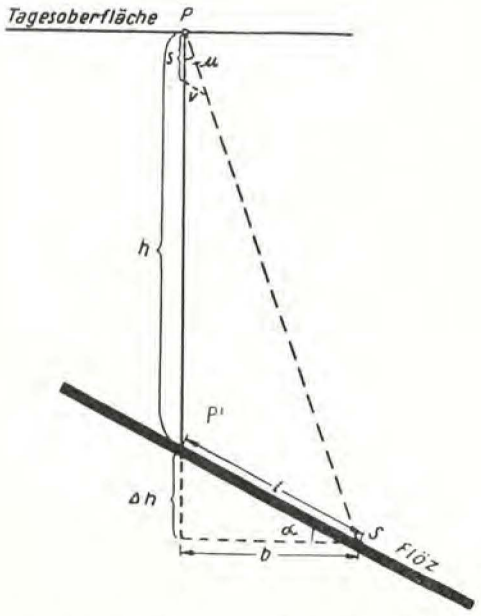

Fig. 14. — Le pôle d'attraction et le déplacement horizontal.

Avant tout, il faut établir un programme d'exploitation. Il suppose connues toutes les particularités pétrographiques, stratigraphiques et tectoniques du gisement qui permettent de tracer des coupes en long et en travers. On fait alors un avant-projet des travaux préparatoires et puis des travaux d'exploitation et de leur durée. Il faut tracer à la même échelle le plan et les profils de la surface à protéger, y figurer des repères dont la distance variera suivant la profondeur et le nombre de veines. A 1000 m. de profondeur, une distance de 100 à 200 m. pourra suffire, mais elle devra descendre parfois à 40 ou 50 m, s'il y a des points singuliers, par exemple : un passage de faille. Dans un champ de 2km², ce qui paraît être un maximum, il faut en moyenne 20 à 30 repères et quelquefois 50. Après avoir déterminé les affaissements, on en dressera un tableau et on tracera les courbes de niveau de la surface déformée, avec la même équidistance que dans le levé au tachéomètre de la surface primitive, par exemple 0,20 m. ou 0,50 m. Deux applications concrètes font saisir la méthode. Là où les dommages particulièrement redoutables proviendraient de pressions ou d'extensions, on tracera sur des plans à part les diagrammes et on en fera des calques superposables.

Vérification expérimentale des prévisions.

Les données de la pratique sur la concordance des prévisions et des réalités font constater des écarts. Keinhorst affirme que toutes ses constatations concernant l'affaissement concordent à 5% près. Mais dans la Ruhr, ce n'est pas toujours le cas ; ainsi, au point le plus bas de la cuvette l'erreur peut atteindre 16% et sur les bords 2 à 10%.

La cuvette de Bals donnerait des résultats plus approchés que celle de Keinhorst notamment en ce qui concerne les extensions, compressions et variations de longueur. Keinhorst place le maximum des extensions à l'aplomb du périmètre de l'exploitation et Bals le situe à mi-distance entre ce point et la limite de la cuvette, ce qui se vérifie mieux ; les valeurs absolues sont en outre, dans l'hypothèse de Bals, moindres que dans celles de Keinhorst. Niemczyk estime qu'on ne peut prendre parti actuellement, le nombre d'observations étant trop restreint. D'une manière générale, cette conclusion s'impose à fortiori pour les couches fort inclinées et il faudra encore beaucoup de mesures systématiques pour perfectionner les méthodes provisoirement préconisées jusqu'aujourd'hui.

Critique des procédés de calcul.

Elle porte d'abord sur les constantes déterminées empiriquement et sur leur répercussion sur les prévisions et ensuite sur les moyens qui peuvent conduire à un calcul aussi exact que possible.

Il faut tout d'abord s'entendre sur la définition des termes *angle limite* et *angle de cassure*. Pendant tout un siècle on n'a parlé que de ce dernier, mais maintenant l'angle limite est universellement reconnu en Allemagne. Il faut entendre non pas une limite théorique excluant toute déformation du sol, mais une limite où les déformations constatées sont de l'ordre des erreurs d'observation soit 2 à 8 mm. pour l'affaissement et il est établi que sans affaissements, il n'y a pas de déplacement horizontal. Cela n'empêche pas qu'on soit descendu dans certains cas jusqu'à 30 ou 40 degrés. On peut fixer la limite supérieure à 60° en stratification horizontale et à 85° à l'amont d'un dressant vertical.

Quant à la définition de l'angle de cassure, il n'y a jamais eu de doutes, Grond a montré que sa valeur dépend de la composition pétrographique du terrain et Niemczyk a constaté dans les grès puissants du district de Waldenburg des angles de 85° à 90°. On considère en général qu'il y a un rapport entre l'angle de cassure et l'angle limite, mais ce dernier dépend beaucoup plus que l'autre de la méthode d'exploitation. Il y a donc une certaine incertitude sur sa valeur numérique, l'écart peut être de 15%. Hoffmann a trouvé par des mesures dans un domaine assez étroit (en Haute-Silésie, remblai hydraulique), des variations de 53 à 62°. Ceci a conduit l'auteur à rechercher quelle répercussion la valeur de l'angle limite a sur la valeur calculée de la flèche et il a construit un abaque pour des angles limites allant de 30 à 60°. La différence est considérable dans le cas de l'aire partielle très petite, mais elle va en diminuant à mesure de

l'avancement et elle devient pratiquement nulle quand on atteint la moitié de l'aire complète, que l'on admette pour γ soit 50°, soit 60°. Des différences de 3° n'ont d'importance dans aucun cas.

Le *coefficient* a, rapport de la flèche maximum dans l'état final à la puissance de la veine est très difficile à déterminer avec précision dans le cas d'exploitations simultanées dans des chantiers superposés. On ne peut l'écrire avec plus de deux décimales. L'approximation des prévisions en dépend directement. Si donc $a = 0{,}11$, l'erreur possible est de 10%. Il en est de même, si l'on estime le coefficient de remblayage à 0,55 au lieu de 0,50.

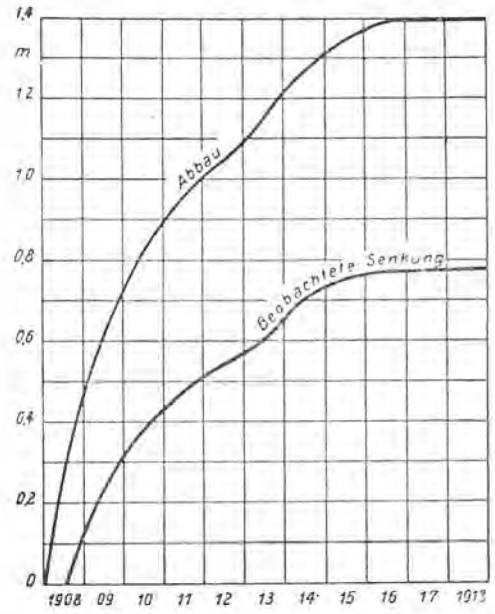

Fig. 15. — Durée des affaissements dans le bassin de l'Emscher, partie orientale (d'après Keinhorst).
Abbau = chantier.
Beobachtete Senkung = affaissement observé.

Facteur temps.

Le temps qu'il faut à une exploitation pour agir sur la surface est la plus incertaine de toutes les données. C'est ce que montrent les diagrammes de l'affaissement d'un point donné en fonction du temps, parce que indépendamment de la nature des terrains (houiller et morts-terrains), les failles, les venues d'eau, ont une action de retardement ou d'accélération. Si l'on trace les diagrammes des affaissements constatés et des avancements d'un chantier isolé, il y a toujours un certain parallélisme et l'on décèle facilement l'influence des arrêts ou d'un avancement rapide, avec des décalages dans le temps très différents suivant les circonstances locales.

Ces diagrammes donnent la résultante de l'avancement et du temps. Certains auteurs ont cherché à différencier ces deux composantes, entre autres Perz dont on trouvera la théorie et dont voici les conclusions :

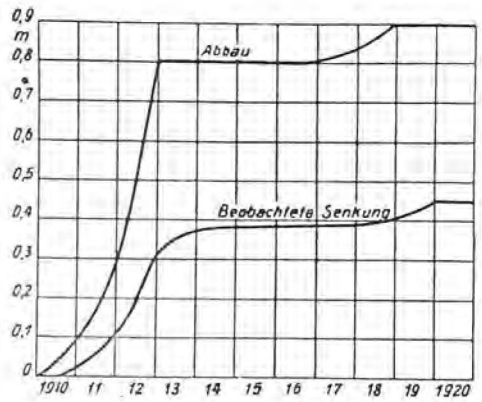

Fig. 16. — Durée des affaissements dans le bassin de l'Emscher, partie centrale

1. A un avancement rapide des chantiers correspond une vitesse de descente plus grande.
2. Au-dessus d'une taille avançant d'une manière continue dans le même sens, la vitesse d'affaissement d'un point de la surface est proportionnelle à la vitesse d'avancement du chantier.
3. L'influence propre du temps ne peut se déterminer qu'indirectement ; elle dépend de la grandeur absolue de la surface exploitée.
4. Au-dessus d'une taille arrêtée, les vitesses de descente de tous les points de la surface varient dans le même rapport. Le temps qui s'écoule entre le début de la descente et l'affaissement total varie pour chaque point de la cuvette suivant sa distance au point le plus bas.
5. Le moment critique où se manifeste la compression maximum correspond aux 3/8 de l'aire complète ; il dépend de la grandeur absolue de cette surface et de la vitesse d'attaque.
6. En marche courante, la zone neutre, où l'on passe des compressions aux extensions, ne correspond pas à l'aplomb du front de taille. Au moment même où l'on atteint la limite du panneau, elle est encore un peu en retard. Sa position dépend aussi du mode d'attaque c'est-à-dire suivant

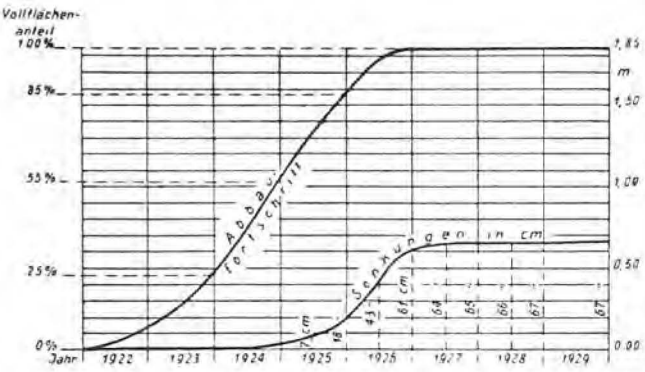

Fig. 17. — Affaissements en fonction du temps à la mine Mathilde, Haute-Silésie.
Abbaufortschritt = avancement du chantier.
Sekungen = affaissements.

qu'il n'y a qu'une seule taille ou deux tailles divergentes à partir du centre.

7. Les courbes des pressions, tensions, inclinaisons, ont une forme dissymétrique très différente de celles qui correspondent à l'aire complète et à l'état final. Les pressions vont en augmentant progressivement jusqu'au point critique, puis en diminuant. Les extensions vont toujours en augmentant.
8. Dans les phases intermédiaires, les pressions et extensions restent, en valeur absolue, inférieures à celles qui correspondent à l'état final. La différence est grande pour les petites aires partielles et va en diminuant à mesure de l'avancement.

Il reste à vérifier ces conclusions par de nombreuses observations et à en déduire la valeur numérique du facteur temps. Ces théories ne s'appliquent qu'à une couche horizontale et jusqu'à présent elles sont encore accueillies avec un certain scepticisme quant à leur application concrète. Cependant Niemczyk estime qu'elles constituent un progrès notable et une approximation plus poussée dans le calcul des pronostics.

La théorie de Beyer a pour but d'exprimer en fonction de l'affaissement toutes les autres caractéristiques intéressantes, le déplacement horizontal, l'inclinaison locale, le rayon de courbure de la cuvette et les variations de longueur entre deux points. Il ne s'agit encore que d'une couche horizontale. Beyer imagine le terrain en mouvement comme un solide de révolution autour de la verticale du centre de la cuvette. L'équation de celle-ci doit satisfaire aux conditions d'être concave au centre et convexe sur les bords et d'avoir une ordonnée maximum suivant l'axe. Entre toutes les courbes possibles, Beyer a choisi une parabole du 4e degré. En prenant comme variable, le rayon à partir de l'axe, on en déduit l'ordonnée, l'inclinaison par la dérivée première, le rayon de courbure par la dérivée seconde comme dans une poutre fléchie, puis le déplacement horizontal. Pour faciliter les applications, Beyer a donné des tableaux numériques et des abaques.

Niemczyk admet que du point de vue mathématique cette théorie est inattaquable, mais il objecte que certaines déductions ne corespondent pas aux observations. Il en est ainsi de la position du maximum des tensions et de l'angle de cassure. Beyer établit une relation entre l'angle limite et la profondeur, laquelle conduirait à faire descendre l'angle de cassure en terrain plat jusqu'à 60° ce qu'on n'a encore observé nulle part. Les calculs ne considèrent que la forme définitive de la cuvette et le facteur temps n'y intervient pas. Dans la pratique, l'aire exploitée n'est pas circulaire mais rectangulaire, mais la méthode est encore applicable et même plus simple ; les formules finales sont les mêmes. En ce qui concerne le glissement, les formules contiennent une constante C qui doit dépendre de la nature pétrographique et qui introduit un élément d'incertitude. Enfin, il n'est nullement prouvé qu'il y ait une dépendance quelconque entre l'angle limite et l'angle de cassure, par suite, la formule donnée pour le glissement ne mérite pas plus de crédit que celles d'autres auteurs antérieurs.

VI. — Compensation des dégâts miniers.

C'est l'objet du chapitre VI et dernier, de la première partie du livre. La question délicate est celle du partage des responsabilités entre mines voisines, elle se pose non seulement au voisinage immédiat des espontes mais aussi dans le cas des mines superposées. Ainsi en Silésie, il y a des mines métalliques exploitant jusqu'à une centaine de mètres de profondeur et en dessous, des charbonnages dont les travaux descendent à 800 m. Les coups de toit, fréquents en Haute-Silésie entre 1923 et 1930, ont occasionné des dégâts aux bâtiments situés sur des concessions voisines. La réparation des dégâts miniers coûte en Allemagne 20 à 30 Pf par tonne en moyenne, mais beaucoup plus dans des cas particuliers. Même dans le cas où la mine est propriétaire du sol et des constructions, la question des indemnités n'est pas exclue parce que le locataire peut être lésé dans l'exercice de son industrie.

L'auteur traite d'abord des bases des indemnités pour dommages aux terrains et aux bâtiments et ensuite du partage des responsabilités.

1. — En ce qui concerne *les cultures et les forêts*, le dommage peut être total (formation de marais) ou temporaire (crevasses, entonnoirs). L'indemnité se calcule sur la base du revenu moyen des dernières années ; elle sera proportionnellement plus forte dans le cas de petites propriétés (5 à 10 ha) par suite des incidences sur le résultat global de l'exploitation. Il est à conseiller aux charbonnages de se montrer très larges parce que cela facilite les tractations éventuelles en vue de l'achat des terrains nécessaires aux extensions, pose de canalisations, etc...

Les dommages partiels sont plus difficiles à évaluer ; ils sont dus en général aux variations de l'humidité du sol qui peuvent compromettre la qualité et le rendement des récoltes. Elles ont une influence très différente suivant qu'il s'agit d'herbages, de céréales, de pommes de terre ou betteraves. L'avis d'un agronome paraît indispensable ; il faut tenir compte du cours du jour, du rendement moyen, des difficultés de la culture et de la moisson, du taux de capitalisation qui varie extrêmement. Il y a souvent des conventions et des tables de tarifs établies suivant la coutume. Le règlement des dommages peut se faire aussi une fois pour toutes par le paiement d'une indemnité de moins-value qui variera suivant que les travaux miniers auront cessé ou continueront dans l'avenir à influencer la propriété.

2. — Quand il s'agit *de bâtiments*, l'importance des dégâts de toute nature, affaissements, hors-plomb, glissements, est en fonction inverse de la profondeur. Ceci importe du point de vue non seulement de l'appréciation de la moins value mais aussi des mesures de sécurité à appliquer. Les appréciations des experts varient considérablement dans les différents bassins houillers. En Westphalie, on se base surtout sur la dénivellation. On admet par exemple qu'une pente de 2 à 3 mm. par mètre diminue de 1 pour cent la valeur vénale du bâtiment. Indépendamment des réparations, des ancrages et autres mesures de précaution, on tient compte de l'augmentation des frais d'entretien et d'amortissement, la durée probable du bâtiment pouvant être abrégée par les dégâts miniers. Tout cela porte l'indemnité au double ou au triple de la moins value calculée d'après la dénivellation. En Silésie, on compte en outre la gêne résultant des déformations, la perte de loyers, la désaffection des acheteurs. On arriva ainsi à des dépréciations de 10 à 20%, ce que Niemczyk estime être outré, dans bien des cas. Il s'élève aussi contre la prétention de certains experts à ériger en droit coutumier une dépréciation sans en fournir de justification spéciale.

3. — *Le partage des responsabilités* dans une zone d'influences communes a été résolu de différentes manières. Une d'elles, qui subsiste encore en Silésie, consiste à répartir les indemnités en proportion des tonnages extraits de part et d'autre dans les chantiers incriminés. Plus récemment, Fläschenträger a proposé une méthode basée sur les mêmes calculs que pour les prévisions. S'il s'agit de voies ferrées, on se contente de considérer les affaissements et l'on détermine pour chacune des deux mines X et Y ce qu'on appelle les « cubes d'affaissements » par le produit A = m a e z, puissance de la veine × par le coefficient de remblayage × aire × facteur temps et les indemnités se partagent dans le rapport Ax à Ay.

De son côté et depuis 20 ans, Niemczyk applique une méthode basée aussi sur le calcul des cubes d'affaissement. Il l'explique par un exemple dans le cas d'une ligne de chemin de fer, longeant l'esponte sur une longueur de 750 m. au-dessus d'un gisement en dressant. Il manque malheureusement, pour rendre le cas tout-à-fait convaincant, la figuration de l'étendue des chantiers et des dates. Le procédé exige pour inspirer confiance que la cuvette soit déterminée par des nivellements et non par des suppositions. On en trace les profils et la projection horizontale. Celle-ci est alors divisée en bandes par des courbes de niveau de la surface affaissée. Dans l'exemple cité, il y en a quatre correspondant aux affaissements de 5 cm, 12,5 cm, 33 cm, 82 cm. Chacune de ces zones, est planimètrée dans la concession X et dans la concession Y et multipliée par la puissance de la veine, ce qui donne les tonnages exploités. A chaque zone, on attribue un coefficient d'importance dépendant du temps et de la flèche observée, ce qui donne pour chacune les cubes dont on fait la somme pour X et Y.

Pour vérifier le bien fondé de cette méthode, l'auteur a observé une ligne de chemin de fer, pendant une longue période en procédant à des nivellements tous les ans. Si, sous un tronçon A on trouve par exemple un cube d'affaissement égal au double du cube d'un tronçon B, il faut que la pente moyenne de la voie en A soit double de la pente en B. La concordance s'est révélée exacte à 4% près.

Quand il s'agit de bâtiments, il faut considérer les dénivellations, pressions et extensions dues à chacune des couches exploitées. Le principal est de déterminer l'angle de cassure et l'extension maximum et il faut pouvoir s'appuyer sur des observations. Fläschenträger préconise l'établissement de plans divisés par des courbes d'égale répartition. Cela faciliterait évidemment le règlement des contestations, mais il faut du temps et du labeur pour dresser de tels plans, et il n'est pas toujours possible d'obtenir l'accord des deux mines intéressées. Le cas doit alors être tranché par arbitrage. Les procédés de répartition cités ici ne doivent pas être considérés comme valables partout et, dans les mines de la Ruhr à 900 m. de profondeur et une épaisse couverture de morts-terrains, ils soulèvent de fortes objections.

B. — LES DEGATS DANS LES TRAVAUX SOUTERRAINS. ETUDE DES PRESSIONS DE TERRAIN

Cette étude très difficile s'impose d'abord du point de vue de la sécurité de la mine et des ouvriers, ensuite du prix de revient des soutènements, enfin des mesures à prendre dans la conduite des travaux pour combattre les effets nuisibles des mouvements du sol et spécialement des tensions et compressions. On arrive à énoncer certaines règles, mais leur application ne donne pas souvent les effets escomptés, d'abord parce qu'il existe de vieux travaux effectués sans aucun égard à la question et que même aux profondeurs actuellement atteintes, il existe des chantiers qui ont mal débuté et dont l'existence apporte des entraves à une méthode reconnue rationnelle, et même parfois à l'exploitation intensive et mécanisée.

1. — Dynamique des galeries et des tailles.

Le but de l'étude doit être de rechercher s'il existe des lois qui gouvernent les mouvements du sol. Jusqu'à présent nous ne connaissons rien ni des

forces ni de leur ordre de grandeur, nous ne connaissons que des déformations. Dans les mines de houille, on descend actuellement à des profondeurs de 1.200 à 1.400 m. Les deux grands obstacles sont la température et la pression des terrains. On considère actuellement que le premier est surmonté grâce aux progrès de la ventilation ; c'est le second qui reste inquiétant. La pression a un effet utile ; elle facilite l'abatage. Elle a par contre, divers effets néfastes, ce qui justifie le titre de « dégâts miniers souterrains » ; elle compromet les installations existant aux étages supérieurs, telles que travers-bancs, chambre de machines, magasins et, dans la couche elle-même, elle provoque des éboulements, coups de toit, la destruction des installations très coûteuses.

Depuis 25 ans, les publications sur cette question, sont extrêmement nombreuses et variées ; elles ont trait soit à de simples constatations, soit à des théories, soit à des mesures de précision. L'auteur les classe comme suit :

a) Procédés mécaniques ou électriques pour déterminer la grandeur de la pression.
b) Théories mathématiques basées sur un état d'équilibre dans le terrain vierge et les tensions provoquées par la rupture de cet équilibre.
c) Théories basées sur les constatations locales au front de taille, en avant et en arrière.
d) Mesures micrométriques en certains points choisis pour déterminer l'action dynamique du déhouillement.
e) Résultats des études sur les propriétés mécaniques des roches du terrain houiller.

L'auteur passe en revue la plupart des théories ; celles de Kühn et de Fenner, qu'il rejette parce que basées sur des hypothèses inapplicables aux roches du Carbonifère, celles de la voûte de Rziha et de la zone de Trompeter, celles de leurs contradicteurs, puis avec beaucoup plus de développement, celles de Spackeler, celles de Kubuschok sur les clivages et fissures. Il cite ensuite les explications du soulèvement du mur (soufflage) d'après Spackeler, Philip, les études Bärtling sur la plasticité, de Hertzfeld et de Fleischer.

Propriétés mécaniques des roches du Carbonifère.

Des essais de compression simple avec mesures de déformations ont été faits en premier lieu par O. Müller à Breslau et ont montré la grande différence de résistance et de compressibilité entre la houille et les autres roches. Ils n'ont révélé aucune déformation permanente sans fissures. Dans la suite, on a fait des essais à l'étreinte puis des essais de flexion (Stöckers, Herrmann, Udluft) dans le but de vérifier si la théorie des plaques peut expliquer la flexion du toit. Le module d'élasticité E a une grande importance pour expliquer le comportement du toit. Il a été déterminé pour des roches sèches ou humides. Contrairement à ce qu'on pense souvent, le schiste sec est très élastique, mais l'humidité réduit la valeur du module E à 50 ou 60% et même dans certains essais à 24%. Un tableau renseigne les résultats obtenus pour les schistes, les psammites et les grès : chiffres qui varient du simple au double.

La réactivité c.à.d. la propriété des corps déformés de revenir à leur état primitif après un temps assez long est très appréciable dans les roches du Carbonifère. Il en est de même des déformations sous tension constante qui vont croissant avec le temps et finissent par déterminer la rupture sous une charge modérée. Cet effet est perceptible dans les tailles par les craquements. Le grès se comporte tout autrement que les schistes ; ceux-ci cèdent au bout de 7 à 10 minutes, tandis que le grès s'allonge peu sous des charges appliquées pendant 40 minutes, puis casse brusquement après 60 minutes. Ceci peut expliquer les coups de toit et montre la nécessité de ne pas tarder à placer les soutènements. Toutes les ruptures par flexion se produisent sous des charges de l'ordre de 10% des charges de rupture par compression. Les essais de Spackeler sur des blocs de béton avec un creux ou posés sur des appuis laissant entre eux un vide, n'ont pas confirmé la théorie de la voûte. Des essais sur des plaques de grès assez larges encastrées sur tout le périmètre et chargées au centre ont pu s'interpréter par la théorie de la résistance des plaques et ont servi à déterminer les constantes mécaniques de grès de provenances diverses. On a cherché à en tirer des conclusions pour le traçage des piliers et pour les coups de toit ; mais le toit d'une longue taille n'est pas assimilable à une plaque encastrée.

Les travaux de Seidl ont pour but de comparer les déformations constatées lors des essais des matériaux avec les phénomènes géologiques et les observations faites dans les travaux souterrains. Les essais ont porté sur divers métaux, le béton armé, le papier, le carton, le verre, la résine artificielle et sur les éprouvettes de toutes formes, barres, plaques, poutres, etc. Les rapprochements les plus intéressants pour le mineur sont les cassures de cisaillement, les déformations par tension, compression, flexion composée, écoulement plastique, l'effet des piliers résiduels et du front d'attaque.

Critique des théories à l'aide de nivellements de précision.

En procédant, comme on l'a fait à la surface, à des mesures de longueur et d'altitudes, répétées par intervalles, on peut déterminer en grandeur et en direction les mouvements provoqués par l'exploitation dans les parois des galeries, et on peut en déduire des théories. Hoffmann et Weissner ont été les premiers à s'y appliquer, suivis de près par l'Institut d'Aix-la-Chapelle. Après un aperçu des premiers résultats, Niemczyk indique les règles adop-

tées depuis 1936 ; 1° pour le placement des repères et le choix du point de départ qui doit être à l'abri de toute influence, même naturelle ; 2° la précision des mesures de hauteur (2" pour les mesures d'angles, 2mm par 100 m. pour les longueurs) ; 3° les mesures doivent être faites à intervalles de 3 à 6 semaines et pendant plusieurs mois ; en moyenne, il faut les réitérer 5 à 10 fois ; 4° le but des mesures est de rechercher s'il existe des lois dans la répartition des zones de haute pression, d'en déterminer l'ordre de grandeur et de figurer sur les plans de de mines, les zones dangereuses ; 5° pour atteindre ce but, il faut mesurer les affaissements, les mouvements du toit et du mur, les déplacements des repères du réseau, en déduire les zones de compression et de dislocation, les effets probables sur un champ vierge. Les mesures répétées donnent en outre des indications sur la progression des effets nuisibles et sur leur superposition.

Le premier but des nivellements est de comparer les résultats des observations avec les conclusions des théories, celles-ci restant utiles pour rendre compte des mouvements de terrain dans leur ensemble.

L'auteur, en s'appuyant sur quelques exemples étudie d'abord le cas de travers-bancs ou de galerie de traçages en ferme au-dessus de couches exploitées Il place six repères symétriquement par rapport à l'axe vertical de la section, 2 au toit, 2 au mur et 2 sur les parois ; il mesure leurs déplacements verticaux et horizontaux à 5 reprises. Le cas typique est celui d'un chantier avançant toujours dans le même sens, passant à l'aplomb de la galerie étudiée, puis la dépassant. En traçant les angles d'influence d'après les procédés décrits à propos des dégâts à la surface, on constate que la galerie se trouve d'abord dans la zone de compression, puis à partir d'un certain moment, elle entre dans la zone des tensions. Dans la première phase se manifeste un rétrécissement de la section par la descente du toit, le soufflage du mur, les rapprochements des parois. Les distances entre repères subissent des racourcissements ou des extensions de plusieurs centimètres, et même les cadres Toussaint-Heintzmann n'y résistent pas. Niemczyk trouve dans ces observations la confirmation de ce qu'on appelle pression de voûte, pression d'appui, surpression. La dénomination est indifférente mais le fait est important. Quand le chantier en marche a largement dépassé l'aplomb de la galerie, il n'y a plus de compression, tous les points s'affaissent, le profil se rapproche du profil primitif de la section, et on peut alors procéder à un recarrage. Si la galerie est située au-dessus de chantiers divergeant dans les deux sens, elle ne subit pas de dommages. Dans le cas de travers-bancs, on remarque nettement que dans les passes de grès, les affaissements et les autres déplacements sont proportionnellement beaucoup moindres que dans les passes de schistes. Les couches raides pouvant fléchir peu à peu sur de grandes portées occasionnent un retard notable dans l'apparition des déformations.

On a constaté dans les traçages à un niveau inférieur à celui d'un chantier en marche, certains relèvements du toit et du mur que Weissner explique par la « force de détente ». Ils suivent l'avancement de la taille, ont un maximum à une certaine distance du front et diminuent à mesure que le traçage s'allonge. La valeur maximum constatée a été de 25 cm. au mur et 20 cm. au toit. La détente des roches a été aussi constatée au laboratoire dans les essais de durée. Dans les travaux du fond, elle n'a jamais produit de dégâts appréciables.

Mouvements au front de taille, au remblai, à l'intérieur du ferme.

Au point de départ, on place un repère au toit et un au mur, et on mesure les déplacements chaque fois que le front a progressé de 2,50 m. Après un avancement de 15 m, on n'observe plus de changement. Le toit et le mur se rapprochent, les repères se déplacent vers le remblai suivant une trajectoire très sinueuse. Dans l'exemple cité, les glissements dans le mur en schiste tendre sont beaucoup plus forts que dans le toit gréseux. En interprétant ces constatations, on conclut que le ferme est dans une zone de compression, que le charbon à front est soumis à une extension horizontale et le remblai vers l'arrière, à une compression.

Dans un chassage en ferme poussé à une centaine de mètres en avant du front, on place des repères tous les 10 m, et on mesure tous les 8 jours. La descente du toit et le soulèvement du mur sont très sensibles près du front et sur une dizaine de mètres de longueur, puis ils décroissent tous les deux asymptotiquement. La zone de surpression a environ 30 m. de longueur. D'autres observations montrent qu'elle dépend de la nature des roches encaissantes ; elle se réduit à une bande étroite le long du front en terrains de grès et elle peut s'étendre à 60 m. dans le cas de schistes argileux et humides. La détermination des mouvements horizontaux des repères est très difficile, il faut des instruments très précis et ces déplacements n'ont pas une grande signification.

Löffler a cherché à déterminer l'influence des divers modes de remblayage sur les mouvements du sol. Avec remblai complet, il y a une poussée horizontale vers le vide, donc directement opposée à celle du ferme. Cela peut s'expliquer par la pesée du toit sur ses deux appuis. Cela ne se produit pas dans le cas du remblai partiel et l'abatage en est facilité. Le mode de remblayage n'a d'effet que sur le bas-toit. Il intéresse aussi le clivage, le dégagement du grisou. Les études de Weissner sur l'utilisation de la pression, le soutènement, les clivages et fissures sont aussi très importantes. Dans un cas particulier, les mesures systématiques ont conduit

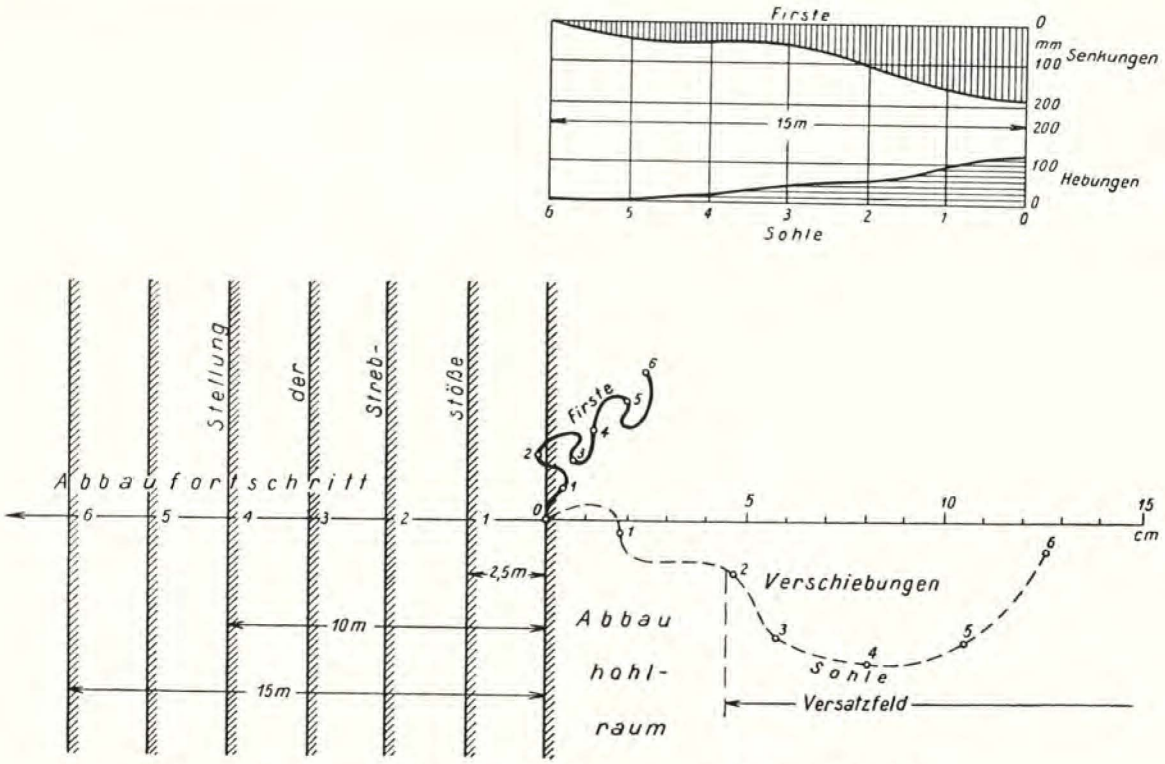

Fig. 18. — Déplacements horizontaux et verticaux d'un repère en taille.

Firste = toit.
Sohle = mur.
Senkungen = affaissements.
Hebungen = soulèvements.
Stellung der Strebstösse = position des fronts de taille.
Abbaufortschritt = avancement du chantier.
Abbauhohlraum = vide de la taille.
Versatzfeld = partie remblayée.

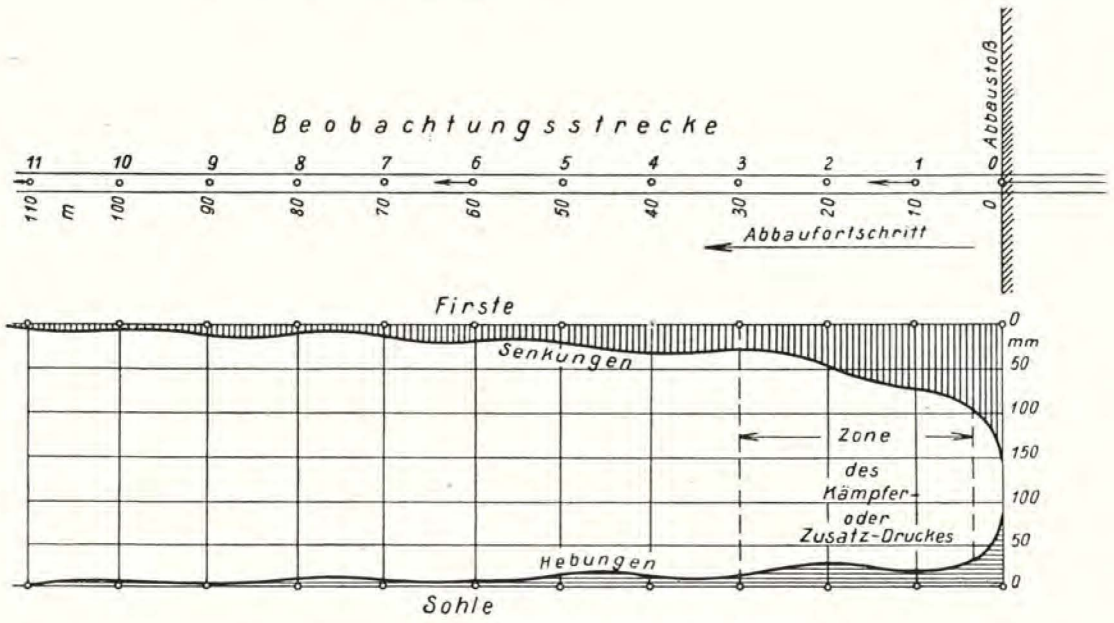

Fig. 19. — Mouvements dans le ferme en avant du front de taille.

Beobachtungsstrecke = chassage d'exploration.
Abbaustoss = front.
Zone des Kämpfer - oder Zusatz-Druckes = zone de « pression d'appui » ou de surpression.

à substituer le foudroyage au remblayage complet en vue de réduire l'amplitude des mouvements des épontes, avec comme résultat une meilleure tenue de la taille.

Enfin, une bonne partie de ce chapitre est consacrée à l'exploitation des couches puissantes en Haute-Silésie. A citer entre autres, les observations dans un chassage en ferme de 200 m. où on a relevé des alternances de zones de pression et d'extension et qui, d'après Niemczyk donne une certaine vraisemblance à l'onde de Weber.

Il résume comme suit tous les travaux de son Ecole :

La conséquence de l'exploitation de chantiers étendus, c'est un affaissement des couches du toit sur une longue étendue qui va du front au remblai ou aux éboulis, qui s'accroît lentement et progressivement jusqu'au moment où le toit trouve un appui sur le remblai consolidé. En avant du front, il y a des affaissements de faible amplitude mais mesurables jusqu'à 200 m. de distance. En même temps, il y a un soulèvement du mur. Les affaissements et les soulèvements se suivent en alternant. Il y a des flexions à peu près égales du toit et du mur. On peut déduire de la courbe des affaissements du toit que la plaque qui surmonte la couche subit des contractions et des dilatations qui indiquent l'état de contrainte du toit au sens relatif de compression ou de tension. C'est au milieu d'un champ d'exploitation que l'affaissement du toit et le soulèvement du mur sont les plus forts et ils diminuent progressivement vers les bords.

La couche en exploitation est comprimée en forme de coin par la flexion du toit au-dessus du ferme, flexion assimilable à celle d'une plaque rectangulaire encastrée sur trois côtés. La conséquence de cette flexion, c'est l'apparition d'une surpression plus ou moins forte dans la zone du ferme voisine du front, de compressions dangereuses du charbon et des terrains avec leurs corollaires de glissements et fissures. Le vide de la taille et l'espace en foudroyage ou en remblayage sont une zone de tensions, dans laquelle les terrains sont détendus, sauf cas exceptionnels où la zone de surpression irait jusqu'au remblai (toit de grès, remblai complet). A cette zone d'extension se rattache en arrière, dans le remblai ou les éboulis, une zone en forme de voûte ou de pyramide déterminée par les plans limites de *l'aire pleine* « d'affaissement ».

L'utilité des mesures de précision est indiscutable ; dans de nombreux cas, elles servent de guide dans la conduite des travaux et elles conduisent à des résultats, à la fois au point de vue de la sécurité et de l'économie.

Coups de toit.

Après avoir rappelé quelques accidents tragiques, et les nombreuses publications parues sur cette question, l'auteur propose un « classement systématique » des causes :

a) dans une seule et même couche :
   1° Traçages trop larges.
   2° Irrégularités dans la zone de surpression sur le ferme : cas des îlots.
   3° Zone de surpression accompagnant toute taille active ou arrêtée.

b) Action de couches superposées :
   1° Pression engendrée par un chantier en avance ; effets à la limite d'un chantier.
   2° Effet des piliers résiduels, ou massifs abandonnés sans espoir de retour.

Ces différents cas sont expliqués par des exemples où des mesures de précision ont pu être faites. Ils peuvent aussi se combiner entre eux, d'un assez grand nombre de manières et on nous en montre une dizaine en couches plates et en dressants ; ces exemples sont choisis entre des centaines de cas constatés dans la Ruhr et dans la Haute-Silésie. Dans ce dernier bassin, les effets destructeurs sont beaucoup plus violents que dans le premier. Les revêtements métalliques des galeries sont culbutés, fléchis et tordus en spirale.

Quant à l'explication de ces accidents, il y a tout d'abord et toujours la présence au toit d'une puissante formation de roches dures, grès, psammites, etc. A. Jarlier a établi, pour les lignites du bassin de Fuveau, une théorie basée sur la flexion jusqu'à rupture de ces couches du toit et la libération d'une énergie latente. Spackeler a admis cette explication en l'étendant aux couches du haut-toit. Jarlier attribuait la flexion à des forces orogéniques. Sans les exclure, Niemczyk est d'avis que la gravité et les erreurs dans la conduite des travaux, la considération des zones de pression et d'extension suffisent à rendre compte de ces phénomènes. Leur violence en Haute-Silésie s'explique par la forte puissance des couches et la nature des terrains. Les essais au laboratoire ont montré que les grès sont élastiques, qu'ils peuvent supporter longtemps sans se rompre une flexion appréciable. La détente se produit avant la rupture, quand la limite d'élasticité est dépassée. C'est ce qui explique que dans les coups de toit, après le coup de charge violent et brusque, on observe encore des effets secondaires pendant une heure ou deux. Les nivellements et mesures des déplacements opérés systématiquement, méritent beaucoup plus de confiance que les théories. Dans tous les cas cités en exemple, ils ont montré que la répartition des pressions dans le massif varie d'une façon tout autre que dans le cas d'une taille progressant dans un quartier vierge. La zone de surpression au lieu de voyager comme le front d'attaque, se localise longtemps en des points déterminés et la contrainte des roches y atteint la limite dangereuse. Cela dépend du sens et de la

vitesse d'attaque. En particulier, le dépilage en retour d'un quartier limité sur trois côtés par des remblais est beaucoup plus sûr que l'attaque directe.

Mesures de précaution:

Des comités d'études et de nombreux travaux particuliers ont traité de cette importante question.

L'auteur s'occupe spécialement, dans un premier et long chapitre, de la Haute-Silésie ; il rappelle les essais et controverses sur le mode d'exploitation, le foudroyage et le remblayage hydraulique, l'exploitation par tranches successives, le mode de soutènement, etc. Dans tous les systèmes, il y a des difficultés et il n'y a pas de règles absolues. Il faut exploiter le gisement complètement et méthodiquement, dresser un plan d'ensemble des travaux préparatoires et des projets d'exploitation pour une longue période, y tracer les zones dangereuses, éviter toutes les situations reconnues propices aux coups de toit. Ce n'est pas facile, surtout dans le cas d'exploitations à plusieurs étages. Il faut conduire les exploitations de manière à provoquer un affaissement systématique du toit. On a préconisé l'exploitation préalable d'une couche « Egide » qui ne soit séparée des couches de forte épaisseur que par une stampe modérée ; à défaut, l'exploitation avec remblai d'une première tranche de 1,50 à 1,80 m. de hauteur.

Le procédé classique de miner les toits de grès qui tardent à s'ébouler n'a pas toujours de bons résultats ; on pourrait l'améliorer en s'inspirant plus attentivement des clivages et des fissures pour placer les coups de mines, mais jusqu'à présent, on ne peut tirer de l'expérience aucune instruction. L'exploitation par tranches ou le dépilage des chambres sur toute leur largeur donnent dans certaines conditions une détente du toit en temps opportun, mais il y a la question du prix de revient. En conclusion, tous ces moyens, recommandés depuis une date plus ou moins éloignée, sont appréciables mais laissent encore beaucoup à désirer et il importe de rechercher s'il n'y en a pas d'autres plus efficaces.

Conduite harmonique des travaux.

Elle repose sur la superposition des effets de tassement, pression et tension, dus à des chantiers progressant simultanément dans une même couche ou dans des couches superposées. Dans un même champ d'exploitation dirigé dans un sens déterminé, on observe à la surface non seulement un affaissement progressif, mais une alternance, en un même endroit, de tensions et de pressions. L'auteur en donne un nouvel exemple très instructif : une couche de 9° de pente est exploitée par tailles montantes sur toute la hauteur de l'étage, soit sur une longueur de 345 m. Au préalable, on a nivelé à la surface une base comportant 15 repères distants de 25 m. et on a fait des relevés tous les deux mois. La fig. 20 donne les trajectoires verticales des différents points, et les distances entre deux points successifs font constater des allongement et des raccourcissements. Au début, il y a extension sur toute la ligne, ensuite, des compressions amènent une compensation puis un réel raccourcissement à l'aplomb de la couche ; sur les bords de la cuvette, les extensions sont permanentes et plus fortes que vers le centre. Les alternances dans un intervalle durent jusqu'à ce qu'on ait atteint l'« aire pleine » d'influence. On remarque aussi qu'il faut environ un an pour que se manifeste le fond plat de la cuvette. Ces constatations qui montrent l'effet du temps et de l'avancement, sont indispensables pour l'explication de ce qui suit :

Le premier cas considéré est celui d'un massif réservé entre deux quartiers exploités, et repris tardivement. Il y a de part et d'autre une cuvette d'affaissement correspondant au tassement complet. Si le massif est assez limité pour que les deux

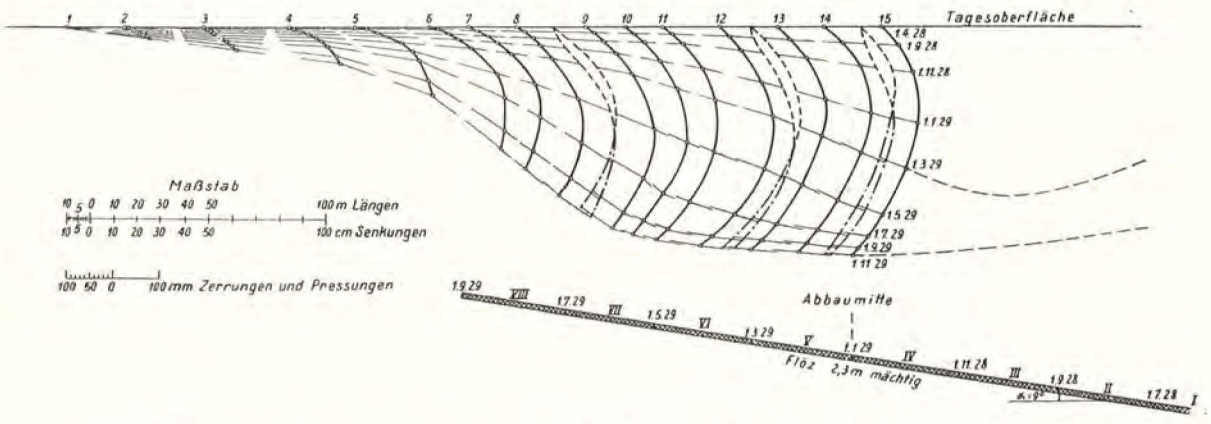

Fig. 20. — Progression des affaissements, tensions et compressions suivant l'avancement d'une taille.
Tagesoberfläche = surface du sol.
Flöz 2, 3 m mächtig = couche de 2,30 m de puissance.
Abbaumitte = milieu du chantier.

cuvettes empiètent l'une sur l'autre, les ordonnées vont s'ajouter et les deux cuvettes se raccorderont par une selle ayant son point le plus haut au milieu du massif.

On compose aussi géométriquement les courbes des déplacements dans la partie commune ; au delà de celle-ci, il y a de chaque côté une zone de pressions sans changement et au-dessus du massif une zone de tensions renforcées. Le point central par suite de la symétrie, descend verticalement ; il peut cependant être dans une situation dangereuse parce qu'il est le siège de deux tensions égales et de signes contraires atteignant en valeur le double de celle provoquée par un seul chantier. Un bâtiment situé en cet endroit subirait par exemple, au lieu d'un allongement de 1,6 mm. par m., ce qui est supportable, un allongement de 3,2 mm qui provoquerait des dégâts.

Après le déhouillement du massif intermédiaire, la descente s'accentue et le point central au lieu d'être le sommet d'une voûte devient le fond d'un bassin. Le fond de la cuvette présente donc une ondulation, mais vu l'amplitude assez faible de l'affaissement, elle ne difère pas beaucoup d'un fond plat. La zone centrale passe du régime des tensions à celui des compressions. Si les exploitations se font symétriquement et à une même époque, on arrive à compenser les déplacements et à éviter les dommages aux constructions. En pratique, il en va malheureusement tout autrement. De part et d'autre d'un pilier d'esponte, on trouve des exploitations différant par l'âge, par le nombre et l'épaisseur des couches et par la profondeur. Les résultantes des courbes d'influence ont des allures très irrégulières et on en trouvera deux exemples avec commentaires qui font ressortir les effets néfastes d'une exploitation conduite sans souci des dégâts miniers.

L'auteur traite ensuite des failles à rejet qui constituent souvent les limites des quartiers et séparent dans une même veine des exploitations de profondeur et d'âge différents. Les failles radiales à fort pendage qui tombent sur les bords d'une cuvette d'affaissement déterminent la position des maximums de tension et les aggravent, mais il n'existe aucune loi entre les mouvements du sol et les failles. Chaque cas doit être examiné en particulier.

Pour préserver des bâtiments importants ou très sensibles, on a préconisé, il y a une vingtaine d'années, de conduire les exploitations en partant du centre et en s'étendant uniformément dans tous les sens. Le moyen n'est pas infaillible, puisque nous savons maintenant que le bâtiment va passer successivement d'une zone de compression à une zone d'extension et, de ce chef, il est exposé à des dégâts.

En conclusion, il faut établir un programme d'exploitations simultanées conduites de telle sorte que leurs effets de pressions et de tensions se compensent. Ces quartiers peuvent être pris dans une même couche ou mieux dans deux ou trois couches voisines. Cette méthode est illustrée par un exemple emprunté à Lohmann où l'on voit le décalage dans le temps et dans l'espace de panneaux égaux pris dans trois couches superposées. Cela ne va pas sans difficultés ; les longues tailles et les avancements réguliers garantissent le succès.

Dommages aux puits.

Les mouvements qui se produisent dans le terrain entre la surface et le fond peuvent affecter les puits ; suivant la verticale, il y a aussi des extensions et des refoulements. Pour illustrer ce fait, Niemczyk étudie le cas d'un puits de 600 m. de profondeur recoupant à partir de 300 m. un faisceau de 6 couches d'une puissance totale de 9 m. En traçant le massif de protection d'après les angles limites de 55°, on perd 3 millions de tonnes. On s'est donc contenté du massif limité par un cône à génératrice inclinée de 70 degrés et on a exploité avec remblai sec, ce qui fait prévoir une descente de 5,40 m. pour l'orifice du puits. Si l'on suppose le fond fixe, on a une idée de la compression moyenne de la colonne du puits ; mais, en analysant les effets de l'exploitation des chantiers, on voit que la partie inférieure est dans une zone de tension et la partie supérieure, seule, dans une zone de compression, et par des calculs théoriques, l'auteur a chiffré le taux des déformations à différentes hauteurs et particulièrement dans la passe cuvelée qui s'étend de 160 à 200 m. de profondeur. Le raccourcissement estimé à 30 cm. a eu pour effet la destruction du cuvelage ; ce puits d'extraction a été mis hors de service pendant un temps très long et à dû être réparé du haut en bas, et l'économie escomptée par la réduction du stot s'est évanouie.

Si l'on imagine une exploitation sans stot de protection et partant du puits dans tous les sens, alors c'est la partie inférieure qui s'affaisse et toute la colonne du puits sera soumise à des efforts de tension qui ne sont pas moins dangereux. Pour la reprise d'un stot de puits sans dégâts, il faut procéder non pas en sens unique, mais par quartiers décalés en plan et en hauteur et Bals en a donné un modèle pour 4 couches superposées et une stratification horizontale. Son étude très longue et très compliquée repose sur le calcul des effets probables des chantiers sur la colonne du puits divisée en 4 parties. Les tailles seraient à prendre dans un ordre déterminé, les unes au centre, les autres au bord dans chacune des 4 couches et la reprise d'un pilier de 3 km. de côté durerait 8 ans. Dans la pratique, ce cas idéal n'à guère de chances de se rencontrer. Sur 3 km. de distance, il y a des variations dans la composition des roches, des failles et autres

dérangements, des résidus d'anciens travaux. Bals en donne aussi un exemple et propose un plan qui sans être absolument « harmonique » tendrait à maintenir les déformations du puits dans des limites acceptables à condition d'employer un remblai compact.

D'une façon générale, les applications de la méthode harmonique sont encore trop peu nombreuses pour qu'on puisse tabler sur les réussites et sur les échecs. La méthode soulève beaucoup d'objections d'ordre pratique, par exemple en ce qui concerne les hauteurs d'étage, la grande étendue des chantiers, le dépilage direct quand on a pratiqué précédemment la marche en retour, ou inversement.

Compensation des tensions dans le cas d'îlots.

Cette étude a porté spécialement sur la couche « Dickebank » de 2,50 m. de puissance, sujette aux coups de toit, se présentant en dressant (55°) à 775 m. de profondeur. Pour éviter les coups de toit, on a décidé d'exploiter en même temps et en sens inverse la couche Sonnenschein, située au mur et séparée de Dickebank par une stampe de 50 à 55 m. comprenant environ 60% de grès dont un banc épais de 10 m. Le réseau de repères a été établi sur 3 niveaux différents reliés par un montage. Dickebank est exploité par 3 tailles espacées de 15 à 20 m., la supérieure en avant. Sonneschein est pris par deux longues tailles obliques décalées de 60 m. et poussées à une allure beaucoup plus rapide que dans la couche supérieure, de manière à avoir dépassé celle-ci alors que ses tailles ne sont encore qu'au milieu du panneau. On a relevé 6 fois la position des repères du toit et du mur et tracé comme d'habitude les diagrammes caractéristiques. On a tracé aussi les courbes de niveau de la surface du toit avec 25 mm. d'équidistance. Ce plan représente une suite de bombements et de dépressions, au premier abord assez confuse ; mais on peut en dégager l'action de chacun des deux chantiers en marche, l'effet du décallage et de la différence d'orientation des tailles. Ces relevés font constater en général une forte réduction des pressions dans Dickebank, avec, cependant, certaines aggravations locales. Il n'y a pas compensation exacte ; l'effet propre de Dickebank est prédominant surtout vers la fin alors que Sonneschein a dépassé la limite du quartier. Dans cette reprise qui a duré 3 ans, on n'a eu que deux coups de toit pas très violents ; l'un vers le milieu à la voie de retour d'air alors influencée par la cassure de pied de Sonnenschein ; un second, dans la taille de base, alors qu'on était à 25 m. des anciens remblais limites du quartier. C'est un progrès notable en comparaison des nombreux accidents dont cette veine était le théâtre antérieurement.

En conclusion, malgré la forte stampe et la dureté des terrains, l'action de la couche inférieure est incontestable ; elle aurait été meilleure si le chantier s'était étendu davantage vers l'aval. Il parait donc bien prouvé que l'exploitation préalable d'une couche « Egide » sous 10 à 20 m. de stampe peut être très efficace. Si l'on veut réaliser une exploitation harmonique par l'attaque simultanée dans deux couches voisines, il faut pousser l'inférieure en avant et à une distance qui dépend de la stampe verticale et des angles limites pour éviter la superposition des zones de surpression. Les mesurages méthodiques sont utiles pour régler la conduite des travaux de l'espèce spécialement dans tous les cas dangereux dus à la présence de piliers résiduels, soit dans la couche, soit au-dessus ou en dessous.

Une application de ces principes consiste dans un projet de reprise d'un stot de puits.

De cette étude se dégagent les règles suivantes :

a) Veines de moins de 3 mètres :

1° Exploitation préalable d'une veine mince très voisine.

2° Exploitation simultanée et dans le même sens de 2 veines voisines (10 à 20 m. de stampe avec un décalage suffisant pour détendre le toit de la couche principale).

3° Exploitation harmonique dans deux ou plusieurs couches à la fois avec les dimensions des tailles et les décalages compatibles avec la hauteur de l'étage.

4° Attaque en sens contraires de deux veines avec décalage de temps approprié.

b) En veines puissantes.

1° Exploitation préalable d'une tranche de 1,50 m. à 1,80 m. de hauteur avec foudroyage ou avec remblai.

2° Exploitation par chambres dans deux veines avec décalage de temps, dépilage par grande taille droite, foudroyage dans la veine supérieure, remblai dans l'inférieure.

3° Combinaison des chambres et des tranches, en observant les mêmes principes qu'en a.

L'application du foudroyage ou du remblayage est facultative, et doit être soigneusement examinée dans chaque cas en s'inspirant des résultats des mesurages méthodiques.

Le taux des déformations dangereuses du toit et du mur ne peut se déduire ni du calcul ni d'expériences de laboratoire. On en est réduit à quelques conclusions tirées de la pratique. En Haute Silésie, une compression verticale de 9 mm. par mètre, fait prévoir de légers coups de toit ; 10 à 12 mm. paraît être la limite ; 6 à 7 mm. s'accompagne de craquements.

Dans Dickebank, 8 mm. par m. ne semblent pas dangereux. De grands écarts sont évidemment possibles eu égard à la compacité, la texture, la structure et l'humidité des terrains.

Nouveaux procédés pour mesurer directement la tension des terrains.

Depuis 1940, on a cherché à appliquer au terrain houiller les procédés qui ont servi dans les stations d'essais sur la résistance des matériaux. Il y a lieu de mentionner spécialement les procédés de la photoélasticité sur petits modèles et le procédé Mathar. Dorstewitz a étudié par la méthode optique les différentes formes des sections des galeries. Le procédé Mathar consiste dans l'observation microscopique des déformations des parois d'un trou de mine ; il a fait l'objet d'un mémoire de Vogens qui a montré que le calcaire a un module $E = 733.000 kg/cm^2$ relativement constant, mais qu'il n'en est pas de même pour les grès, qui présentent d'énormes variations. Il est donc très aléatoire de tirer de ces mesures des conclusions, par exemple sur la probabilité des coups de toit, mais combinées avec les relevés topographiques, elles seraient intéressantes à titre de contrôle, principalement si les sondages étaient faits dans les zones suspectes. Enfin, l'Institut de géophysique de Bochum prépare un nouveau procédé basé sur les ondes ultrasoniques.

II. — Conclusions de l'auteur.

Le dernier chapitre du livre comprend un résumé (env. 6 pages) et des conclusions relatives au calcul des prévisions et aux mesures de protection de la surface et des travaux du fond. On a fait de grands progrès, mais la question n'est pas épuisée et elle doit être poursuivie parce que l'exploitation des mines gagne en profondeur et que ses méthodes évoluent.

Tous les procédés de calcul des pronostics émanent de géomètres. On s'est borné trop longtemps à de simples mesures d'affaissement ; les mesures des autres déplacements sont encore clairsemées et pour cette raison leur détermination reste incertaine. De toutes les méthodes, celle de F. Beyer paraît la meilleure. Pour les applications, il faut connaître exactement les valeurs locales des angles limites et l'amplitude de la flèche maximum, ensuite la situation de l'ordonnée égale à la moitié de la flèche maximum. Elle n'est pas au milieu de l'aile de la cuvette, parce que la compacité du remblai varie et est la moindre près du front de taille. Ce qu'il importe de retenir c'est qu'à cette ordonnée correspondent le point d'inflexion de la courbe et la pente maximum.

Les allongements et les raccourcissements ne sont pas mesurables directement, ils dépendent de la courbure. Les formules de Beyer sont contestables. Il est nécessaire de préciser par de plus amples observations, dans tous les districts, les angles de cassure et leur relation avec la nature des roches du houiller et des morts-terrains, puisque ces angles déterminent la zone dangereuse pour les bâtiments. Plutôt que par des théories, il semble possible de déterminer empiriquement la forme exacte de la cuvette par un très grand nombre d'observations. En ce qui concerne les couches inclinées et les dressants, la documentation est nettement insuffisante et les prévisions restent incertaines.

En ce qui concerne les mesures de protection de la surface, on peut se référer au rapport provisoire de 1944 du Comité rhénan-Westphalien qui était formé de compétences des divers milieux de l'administration, de l'exploitation et de la construction. Ce travail doit être revu et mis au point de l'expérience acquise en ces dernières années.

Le mode d'exploitation compensatoire des tensions n'a fait l'objet d'aucune réglementation et est laissé à l'initiative des exploitants. L'auteur le regrette pour deux motifs :

1° Il est établi que les massifs réservés peuvent présenter plus de danger que leur exploitation méthodique et ils représentent une perte considérable de la richesse minérale.
L'Administration des Mines devrait donc attribuer aux relevés des mouvements de terrains, la même importance qu'aux plans de mine.

2° La sécurité des mines dépend en grande partie de la conduite des travaux. Toutes les possibilités de réduire les effets néfastes de la pression des terrains méritent considération. Les relevés topographiques de précision, tant qu'ils restent isolés, n'ont qu'un intérêt local. Si chaque mine où se manifestent des pressions dommageables était tenue d'organiser des relevés de l'espèce et d'en communiquer les résultats, on aurait des matériaux dont on pourrait tirer tout un corps de doctrine.

On pourait objecter que l'exploitation harmonique de Lehmann et les propositions de Niemczyk tendant au même but n'ont pas encore reçu la sanction de la pratique. Ce reproche n'a pas plus d'importance que dans n'importe quelle innovation. Le problème est certainement très complexe, étant donné les nombreuses influences, tant du gisement que des habitudes acquises dans la conduite des travaux et du prix de revient de la production. Il reste encore bien des investigations nécessaires pour arriver à la solution des problèmes difficiles et explorer certains domaines mal connus, particulièrement l'effet de la profondeur, des tensions tectoniques résiduelles suivant les plans de faille, la détermination des épicentres des tremblements de terre et des coups de toit. Dans le domaine des mesures préventives, nous sommes encore loin d'atteindre le but à coup sûr, mais de grand progrès ont été faits depuis 30 ans ; les études soigneuses et les efforts persévérants de la jeune école y ont certainement contribué.

* * *

Cette conclusion finale de l'auteur de ce magistral ouvrage ralliera certainement tous les suffrages. On ne connait bien un phénomène que lorsqu'on peut l'exprimer en nombres. Le grand mérite des géomètres allemands est d'avoir introduit et appliqué en grand les mesurages précis et systématiques dans un domaine où l'on se contentait trop souvent d'approximations et d'appréciations subjectives. Ils nous apportent donc en premier lieu des faits, et en les rappelant et en les rapprochant, le livre du professeur Niemczyk a d'abord un caractère documentaire des plus précieux. C'est le fruit d'une longue expérience personnelle ainsi que d'une érudition et d'un labeur considérables ; la liste des 300 références en témoigne amplement. Par la multiplicité et la variété des matières, ce livre rendra de grands services non seulement aux ingénieurs des mines, mais encore aux architectes et aux ingénieurs des constructions civiles, aux experts en dégâts miniers. Nous avons tenu à en faire un compte rendu purement objectif et assez détaillé afin de montrer le contraste entre la somme des connaissances acquises et l'indigence des publications en langue française sur la matière ; dans le but aussi de provoquer des réflexions et des réactions et de détruire des préjugés.

A côté des faits, il y a leur interprétation et la recherche des généralisations. Ici, l'auteur lui-même nous met en garde. Ses réserves ne sont que trop justifiées et on pourrait en ajouter d'autres. En particulier, au chapitre des pronostics, on a l'impression qu'il y a dans les divers procédés de calcul qui sont cités, bien des recettes et des intuitions. La notion fondamentale de l'aire d'action complète est certainement utile, mais elle ne s'impose pas à l'esprit comme une nécessité, et vouloir en tirer tout entraîne bien des complications. Mais la voie est frayée et le principe de l'application des méthodes topographiques est inattaquable. Nous formulons le vœu qu'elles soient appliquées fréquemment dans nos bassins houillers, que les résultats des observations soient publiés et que cesse cette conspiration du silence en matières de dégâts miniers que nous avons déjà eu l'occasion de déplorer. Le traité de Niemczyk se présente comme un guide très averti dans les domaines encore obscurs des mouvements du sol et il a aussi le grand mérite de conduire dès à présent à des règles positives de précautions, de donner une justification scientifique de celles que la pratique a déjà fait adopter. C'est une œuvre utile et bienfaisante.