

# Etat des recherches sur les phénomènes des mouvements du sol (\*)

par O. NIEMCZYK,

Professeur à l'Université d'Aix-la-Chapelle.

Traduction résumée par L. DENOEL,

Professeur émérite de l'Université de Liège.

## A. Aperçu historique.

L'étude théorique des affaissements du sol a débuté vers le milieu du 19<sup>me</sup> siècle quand l'exploitation des houillères a pris de l'extension et que les travaux dont la profondeur moyenne était alors de 200 m ont occasionné des dégâts importants à la surface du sol. C'est en Belgique, en 1839, que l'ingénieur des mines Gonot a introduit la notion d'« angle de cassure », qui est restée dominante jusqu'en 1912. Parmi les publications les plus importantes, il faut signaler le rapport de l'Oberbergamt de Dortmund (1897) qui a déterminé empiriquement les angles de cassure en couches plates et en dressant dans le bassin de la Ruhr, ouvrage qui n'a rien perdu de sa valeur actuellement. C'est beaucoup plus tard, en faisant des nivellements étendus, qu'on a reconnu que la zone influencée s'étend bien au delà des « angles de cassure » et qu'on a introduit la notion d'« angle limite » et de « cuvette d'affaissement ».

Une question fort controversée pendant la même période est celle du « foisonnement » de la masse des terrains surmontant les exploitations et de son influence sur le taux de l'affaissement en fonction de la profondeur. Hausse, Rziha, Goldreich ont donné des coefficients qui varient entre 0,01 et 0,10. On sait maintenant qu'il n'y a pas de profondeur immunisant la surface, même sous les morts-terrains meubles et que le « facteur temps » joue ici un rôle important.

Toutes les théories reprises par Goldreich (1913) ne parlent que de l'affaissement suivant la verticale. Pourtant, c'est en 1909 que Kortzen a signalé des phénomènes de tension et de compres-

sion le long d'une voie ferrée. A partir de ce moment, on s'efforce d'approfondir et d'expliquer les mouvements du sol depuis le fond jusqu'à la surface en faisant intervenir la flexibilité et la résistance à la rupture des roches.

Lehmann (1919) doit être considéré comme le vrai fondateur de la « théorie de la cuvette d'affaissement » qui a stimulé les recherches de tous les géomètres des mines et qui est aujourd'hui admise universellement. Les recherches plus récentes à l'aide de mesures précises ont confirmé l'exactitude de cette théorie en de nombreux points et l'ont complétée et développée.

## B. Recherches actuelles.

Le but de ces recherches n'est pas simplement spéculatif, mais il a pour objet pratique la prévention des dégâts à la surface. Elles s'étendent de l'observation des mouvements de certains points de la surface aux phénomènes de la propagation des mouvements depuis le fond jusqu'à la surface.

Nous savons mesurer et analyser les déplacements du sol dans tous les sens, mais nous ne savons rien de l'état de contrainte des terrains à l'intérieur du massif limité par la cuvette. Nous savons que des bâtiments massifs reposant sur de larges plaques de fondation subissent, du chef de l'inégalité du tassement, d'autres contraintes que le sol sur lequel ils reposent. Les maçonneries et les plaques de béton des fondations de grande longueur sont soumises à des alternances de tensions et de compressions, des flexions et des torsions et subissent de fortes dégradations dont la couche superficielle du sol naturel n'est pas affectée.

Le développement de la bâtisse dans les districts industriels pose chaque jour de nouveaux problèmes. Le temps nous a appris que nous ne pouvons mesurer ni assez exactement ni assez souvent, si

(\*) « Stand der Forschung der Bodenbewegungsvorgänge » par O. NIEMCZYK. — Article paru dans l'ouvrage collectif « Der Deutsche Steinkohlenbergbau » 1955. Vol. 2, p. 553/592. Editeur : Verlag Glückauf, Essen.

nous voulons nous rendre compte du rythme des mouvements, des accélérations, des ralentissements et de l'amortissement, c'est-à-dire des effets du « facteur temps ». Mais, il faut aussi explorer minutieusement la zone de bord. La coïncidence de phénomènes géologiques actuels avec les affaissements miniers, par exemple dans le Bas-Rhin, complique les mesures et aussi leur interprétation. On ne peut donc pas donner des règles générales concernant les mailles du réseau, les repères et la durée des observations.

### 1) Plan des bases et des réseaux.

Les bases de nivellement sont plus fréquentes que les vrais réseaux. En stratification horizontale régulière, on se contente souvent d'une seule; elle doit être tracée et jalonnée avant toute exploitation. Son emplacement et son orientation dépendent de la forme et de l'étendue des champs d'exploitation, de l'ordre de succession et de la vitesse d'avancement des chantiers. Il est très important de noter la date exacte du début de l'exploitation et celle de l'apparition de la première dénivellation mesurée. La distance entre repères dépend de la profondeur et peut varier entre 20 à 30 m jusqu'à 500 m aux très grandes profondeurs. Il faut cependant établir quelques repères assez rapprochés pour déterminer l'angle limite. Le choix dépend en outre des conditions du terrain, de la facilité de fixer les repères, des chances de dérangement ou même de disparition, de la présence de rails ou de canalisations, d'arbres, de terrains mouvants.

Si l'allure des couches est variable ou dérangée, il faut plusieurs bases de nivellement, mais les opérations exigent beaucoup de temps et on cherche à les réduire au strict nécessaire. Il faut donc les choisir judicieusement, par exemple il est nécessaire de bien observer les mouvements du sol de part et d'autre d'un passage de failles.

Les meilleurs repères consistent en blocs de pierre ou de béton plongeant de 40 à 60 cm ou même 1 à 1,2 m si l'on craint les effets de la gelée dans les hivers rigoureux.

### 2) Instruments et procédés de mesurage.

L'auteur traite spécialement des « nivellements directeurs » qui se font en Allemagne tous les deux ans avec une précision de 1 mm/km et sur une grande étendue. Ils exigent une forte organisation et un personnel spécialisé, des prescriptions codifiées auxquelles sont invités à se conformer les géomètres des administrations de la voirie et des chemins de fer. Dans la Ruhr, il y a 75 lignes à mesurer par 60 observateurs et 17 points de départ en dehors de toute zone influençable.

L'auteur donne ensuite la description de quelques instruments de grande précision.

### 3) Précision des mesures et limites des erreurs.

La précision des mesures de hauteur est beaucoup plus grande que celle des mesures de longueur.

Avec de bons instruments et de bons opérateurs, l'erreur moyenne en hauteur est de 0,2 à 0,4 mm/km. Pour les mesures de longueur au ruban d'acier, elle est de 4,7 mm par 30 m et de 3,5 mm à la règle. (Lehmann et Fläscherträger (1939). Dans tous les cas, l'erreur moyenne croît comme la racine carrée du nombre des mesures. Ainsi, sur 1 km de longueur, l'erreur serait de

$$4 \sqrt{1000/30} = 23 \text{ mm.}$$

Aujourd'hui, on peut arriver à 1 mm par 30 m ou 6 mm/km. Une erreur de 23 mm n'a d'ailleurs aucune importance s'il s'agit d'une appréciation de dégâts, car alors les variations de longueur qui ont une influence sont de l'ordre de 0,1 % ou 3 cm sur 30 m.

Si l'on mesure plusieurs fois un polygone fermé, il ne faut pas oublier que les répétitions ne donnent le résultat probant que si elles sont faites avec les mêmes instruments et le même observateur; celui-ci doit aussi effectuer tous les calculs. Il faut exprimer les erreurs suivant les trois dimensions du système de coordonnées en long et en travers en attribuant un poids différent aux mesures d'angles et à celles des longueurs.

L'erreur tolérable est donnée par la formule d'Emschermann (1941) :

$$m_g = \pm m (1 + 3/\sqrt{2n})$$

$m$  erreur moyenne d'une mesure,  
 $n$  le nombre des mesures.

Niemczyk (Bergschadenkunde) en cite une application au cas d'un polygone de 12 sommets et d'une longueur totale de 471 m — erreur moyenne en long  $\pm 5,3$  mm — en travers 14,9 mm sur la position du point  $\pm 15,8$  mm. L'erreur maximum tolérable est de  $\pm 38,2$  mm.

Ce chiffre tiré d'un cas particulier peut s'appliquer à tous les cas semblables, c'est-à-dire à des levés de polygones de 400 à 600 m de longueur, en mêmes conditions de terrains et comportant 16 à 20 sommets distants de 25 à 30 m. Il peut servir de repère de comparaison aux estimations que fait le géomètre d'après sa propre expérience.

### 4) Systématique des opérations de mesure.

Depuis l'introduction de la théorie de la cuvette (1919-1920), des problèmes très compliqués se sont posés aux géomètres en raison du grand nombre et de la dispersion des chantiers, des exploitations simultanées à plusieurs niveaux et de la

difficulté de pouvoir observer une couche agissant seule dans une aire déterminée. Le développement des exploitations par longues tailles chassantes a rendu la tâche plus aisée, mais il n'en resté pas moins nécessaire de prendre beaucoup de précautions. Il n'est pas possible d'établir des programmes « ne varietur » et il faut souvent s'adapter aux circonstances de temps et de lieu. Le premier nivellement et la pose des repères invariables doivent se faire avant le début de l'exploitation et sur une longueur dépassant les limites de la zone d'affaissement supputée et d'autant plus s'il y a des morts-terrains aquifères. Il faut répéter les mesures deux ou trois fois et au moins une fois par an pour être bien sûr qu'il n'y a pas d'affaissement pour des causes étrangères aux travaux miniers. Le point le plus délicat est celui de la fréquence des mesures, ce qui nécessite beaucoup d'expérience, notamment pour déterminer l'époque de l'apparition et de l'extinction des mouvements du sol.

#### 5) *Interprétation des résultats.*

Il ne faut pas attendre pour faire tous les calculs, reports, tracés de courbes d'égal affaissement, vérifications de la précision de chaque nivellement. Cela permet de comparer les déplacements d'un intervalle à l'autre et même de supputer ceux auxquels on doit s'attendre dans la suite dans un temps ou une aire déterminée (la vitesse d'affaissement). Nos connaissances sont encore imparfaites en ce qui concerne l'influence de la nature des roches, de l'eau, de la vitesse d'avancement et les chiffres publiés au sujet de cas particuliers ne peuvent être appliqués à d'autres qu'avec des réserves. C'est pourquoi il est indispensable de noter le plus possible les observations locales.

Il y a malheureusement encore beaucoup d'endroits où l'on refuse de se rendre à cette évidence, par insouciance ou parti-pris, politique à courte vue. Cela ne peut que nuire aux progrès de la science et, par ricochet, aux intérêts des charbonnages.

### C. Nature des mouvements du sol.

#### 1) *Effets sur la surface du sol.*

Dans ce chapitre, l'auteur reproduit avec quelques légères modifications l'exposé et les graphiques de son important traité de 1949, p. 25 à 34 (1).

a) Il part de la forme typique de la cuvette d'affaissement à son état final en stratification horizontale et d'une aire d'action totale et il en fait ressortir toutes les particularités : angle limite, angle de cassure, inflexion, rayon de courbure dans le plan vertical; ensuite, les déplacements hori-

zontaux, allongements et raccourcissements mesurés, et les caractéristiques qu'on en déduit par le calcul, dénivellations ou pentes, extensions et compressions. Il a soin de faire remarquer que, dans la pratique, les observations s'écartent de ce profil idéal. La cuvette a des formes particulières dans chaque bassin minier et varie même dans un même bassin, par exemple en ce qui concerne la valeur de l'affaissement à l'aplomb des limites du panneau et la position du point neutre.

Il signale les formules proposées pour relier mathématiquement les éléments caractéristiques (Kleinhorst, Beyer) dont aucune n'est absolument satisfaisante. Il donne des exemples numériques de calculs pratiques. Les affaissements s'expriment en cm, les pentes en % ou mm/m, les allongements (+ ou -) en mm/m, le rayon de courbure en km. L'expression de « tensions dans le terrain » est à proscrire.

Comme toutes ces mesures se font pour apprécier le risque de dégâts aux bâtiments, il est rappelé que les limites non dangereuses sont de 1 % à 2 % pour les hors-plomb des maisons d'habitation; 0,2 à 0,3 % pour les fondations de machines. Les extensions de 1 mm/m peuvent produire de fines fissures capillaires dans les joints de mortier, mais les effets sont très différents quand il s'agit de canalisations, de fondations de très grande longueur, comme celle des écluses et des fours à coke, qui se ressentent de la courbure du fond de la cuvette.

b) L'aire partielle donne lieu à un affaissement toujours moindre que l'aire d'action complète avec son maximum au milieu, mais présente une dissymétrie due au tassement inégal du remblai et la distribution des tensions et pressions est très différente et se modifie avec l'avancement des chantiers.

L'aire surabondante n'est observable qu'au-dessus d'exploitations à moyenne profondeur; la partie centrale ne présente qu'un affaissement uniforme, les actions horizontales n'existent que sur les zones de bord de la cuvette.

En ce qui concerne les particularités des cuvettes d'affaissement dues aux exploitations en dressant, on ne dispose pas d'observations récentes.

#### *Phases intermédiaires ou dynamiques.*

Elles sont beaucoup plus difficiles à observer que l'état final et il faut faire intervenir des considérations théoriques pour les figurer parce que les mouvements du sol à la surface sont toujours en retard sur l'avancement des tailles. L'auteur rappelle l'exemple cité dans son traité de 1949 (p. 232). Les affaissements et les déformations progressent comme la vitesse d'avancement des tailles et l'auteur signale un cas où les forts avan-

(1) Voir compte rendu dans les A.M.B., 1951, mars, p. 279/303.

cements de 4 m par jour se sont montrés très nuisibles aux bâtiments de la surface.

#### *Influence du temps et de la profondeur.*

Des observations récentes de Schulte (1952) ont établi que, dans la région du Bas-Rhin, sous des terrains très aquifères, le foudroyage en longue taille a déjà causé 50 % de l'affaissement en 2 mois et de 100 % après 6 mois (on ne cite pas la profondeur).

Baron (1951) observant des exploitations sous 850 m de morts-terrains n'est pas parvenu à déterminer le facteur temps après dix ans, la zone d'influence totale n'étant pas encore atteinte.

#### 2) *Phénomènes de mouvement à l'intérieur du terrain qui s'affaisse verticalement.*

Ce n'est que depuis une vingtaine d'années qu'on a entrepris des mesures de précision dans les puits et galeries et il n'est pas possible d'établir une théorie de la propagation des mouvements du fond à la surface. Un fait à retenir, c'est que les puits ne sont guère affectés de déplacements horizontaux, mais bien par des extensions et des raccourcissements en verticale.

#### D. *Problèmes restant à résoudre.*

Il paraît nécessaire de vérifier si l'angle limite est indépendant de la puissance des veines, c'est-à-dire si le déhouillement d'une seule couche de forte puissance produit les mêmes angles limites et angles de cassure que l'exploitation successive de plusieurs veines minces de même puissance totale, bien entendu dans les mêmes conditions de gisement.

Il reste à élucider la question des dressants et des grandes failles, à rechercher ensuite s'il existe une relation fonctionnelle entre l'angle limite et l'angle de cassure (hypothèse de Beyer), entre l'affaissement et les déplacements horizontaux, entre ceux-ci et la vitesse d'avancement des tailles. Tous ces points sont intéressants pour le calcul des prévisions qui est traité spécialement par Schleier dans le même recueil.

Le but pratique de toutes ces études est la limitation des dégâts aux constructions de la surface. On tend à y arriver par des artifices de construction et par une organisation des chantiers d'exploitation telle que les tensions se compensent. On a déjà fait beaucoup de progrès, mais il n'y a pas de méthode infaillible.