

Quelques observations sur la relation entre les affaissements miniers et le temps (*)

par K. WARDELL.

Traduit par L. DENOEL,

Professeur émérite de l'Université à Liège.

SAMENVATTING

De auteur bestudeert de waarnemingen verricht over de duur en het verloop van de verzakkingen op een gegeven plaats van de oppervlakte, hun verband met de diepte der werken, hun ligging, hun uitgestrektheid en hun voortschrijdingssnelheid.

Hij herinnert er aan dat de diagramma's van de variatie in functie van de tijd weliswaar een gelijkwaardigheid van vorm vertonen, maar dat de plaatselijke concrete waarden uiterst uiteenlopend zijn, hetgeen de vergelijking ten zeerste bemoeilijkt.

Om die reden stelt de auteur een nieuwe vergelijkingsmethode voor en hij past ze toe op de waarnemingen verricht in de bekken van Yorkshire.

L'auteur étudie les observations faites sur la durée et la marche des affaissements en un point du sol, leur rapport avec la profondeur des travaux, leur situation et leur étendue et avec la vitesse d'avancement. Il rappelle que les diagrammes des variations en fonction du temps, tout en présentant une similitude de forme, accusent des écarts énormes des valeurs concrètes locales, ce qui rend les comparaisons très difficiles. C'est pourquoi l'auteur préconise une nouvelle méthode de comparaison et il en montre l'application aux observations faites dans le bassin du Yorkshire.

Ce mémoire a donné lieu à une discussion assez animée dont nous donnons un résumé.

INTRODUCTION

Des nombreux aspects de la question des affaissements miniers et des dommages à la surface, le rôle du temps est probablement celui qui a donné lieu aux plus grandes controverses. Cette question se pose tout particulièrement quand on veut savoir :

- a) Quand une construction commencera à subir des dégâts.
- b) Quand le péril sera le plus redoutable.

- c) Jusqu'où iront probablement les dommages dont on constate les premiers symptômes.
 - d) Quand la surface sera redevenue assez stable pour permettre les réparations ou l'érection de nouveaux bâtiments.
 - e) Quand le mouvement sera virtuellement amorti.
- A ces questions qui mettent directement le temps en cause, on peut ajouter :
- a) La relation entre les mouvements consécutifs à l'avancement d'un chantier et ceux qu'on observe après un arrêt assez prolongé pour que le tassement soit terminé.
 - b) L'effet de la vitesse d'avancement sur le développement des mouvements du sol et sur la gravité des dégâts.

Le présent mémoire, basé sur des observations précises, est une tentative pour répondre à ces questions.

Nécessité d'une base de comparaison.

Des difficultés d'interprétation et d'analyse ont surgi au sujet de l'influence du temps parce que l'on manquait d'une base commune pour comparer les résultats des observations faites dans des conditions différentes. Les conditions de profondeur, de vitesse d'avancement et d'autres encore ont naturellement pour effet de grandes variations des valeurs de la durée des affaissements observables. C'est ainsi, par exemple, que les limites assignées à cette durée varient entre 6 mois et 20 ans. Une opinion répandue, c'est que cette durée croît directement

(*) « Some observations on the relation between time and mining subsidence » by R. WARDELL, Assistant Technique du Service Topographique du N.C.B., Division N.-E. - Transactions of the Institution of Mining Engineers, février et juin 1954. - Voir aussi, Colliery Guardian, 1953, 10 décembre.

avec la profondeur et inversement avec la rapidité d'avancement des travaux, mais bien que cela soit indubitable, ces deux facteurs ne suffisent pas à expliquer de nombreux écarts et on n'a pas toujours bien compris leur influence.

La méthode usuelle de représentation de l'effet du temps consiste à dessiner, dans un cas donné, les résultats des observations faites périodiquement en un même point en prenant pour abscisses les dates ou les intervalles de temps, jusqu'au moment où le tassement paraît achevé. On obtient ainsi une courbe affaissement-temps. Chacune de ces courbes correspondant à un cas particulier n'a évidemment qu'une valeur restreinte. L'affaissement total dépend de l'épaisseur de la veine exploitée, du mode et de l'efficacité du remblayage, du rapport de l'aire exploitée à l'aire d'influence, tandis que le temps dépend de la profondeur et de la vitesse d'avancement. Ainsi, à chaque cas particulier, correspond une courbe qui, sauf l'allure générale, est différente de toutes les autres. La première chose à faire est donc de trouver une base de comparaison à laquelle on puisse rattacher toutes les observations et trouver ainsi la loi des affaissements en fonction du temps.

Relation entre l'affaissement et l'aire d'influence.

La notion d'aire d'influence, introduite par les Allemands, est fondamentale dans l'étude des affaissements. Si l'on considère un point du sol P (fig. 1), il ne commence à descendre qu'à partir du mo-

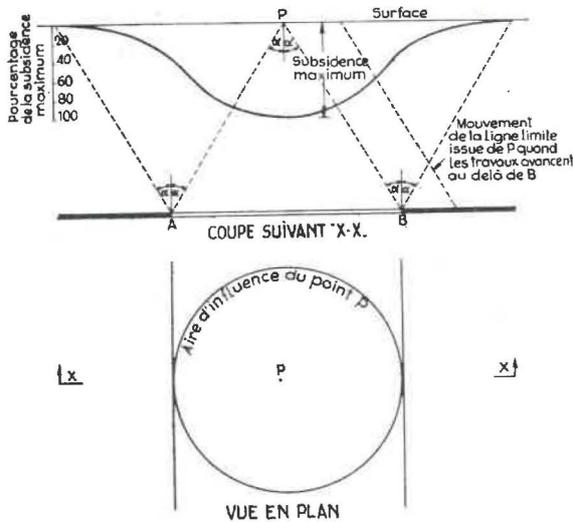


Fig. 1. — Diagramme de l'aire d'influence totale.

ment où les travaux pénètrent dans la zone d'influence, et la descente continuera tant que les travaux n'auront pas dépassé cette zone. L'expérience confirme que la plus grande partie de l'affaissement possible se produit pendant que les travaux traversent cette zone. Il se produit encore un certain affaissement par après, mais il est faible, le taux d'affaissement à ce stade est lent, et le tassement est complètement achevé en un temps relativement court. Si l'on prend pour origine des temps le moment où l'exploitation attaque la zone d'influence,

on peut obtenir une courbe assez simple des affaissements-temps, en reportant les résultats des nivellements périodiques.

Ces courbes seront encore différentes dans chaque cas particulier et il nous faut un mode d'investigation permettant des comparaisons. Divers facteurs affectent le taux des affaissements, mais y a-t-il des raisons de supposer qu'ils affectent aussi le mode de progression? Supposons par exemple que l'ouverture d'une couche soit le double d'une autre, la longueur des fronts doublée, le remblayage pouvant être différent, il est bien évident que l'affaissement du point P' sera notablement plus fort que celui du point P, mais se produira-t-il en un temps notablement différent? En d'autres termes, l'affaissement à un moment donné, exprimé en fonction de l'affaissement définitif = 100, ne sera-t-il pas représenté par le même diagramme dans les deux cas considérés? S'il en est bien ainsi, ce ne sont pas les valeurs absolues des affaissements mais leurs valeurs relatives, qui expriment la variation en fonction du temps et par conséquent elles peuvent être comparées entre elles.

Revenons à l'affaissement du point P. Il dépend, non seulement du temps, mais aussi de l'avancement du front de taille dans sa zone d'influence. Considérons d'abord ce dernier point séparément. La descente commence quand le front aborde la zone d'influence, elle atteint son maximum et cesse lorsque le front a dépassé cette zone d'une certaine longueur. La distance parcourue entre le début et l'achèvement du tassement peut s'exprimer par convention en prenant pour unité le rayon R de la zone d'influence. R varie avec la profondeur et les angles limites propres à chaque cas particulier, mais en exprimant les distances en fonction de ce rayon nous éliminons les diversités de conditions locales et nous ne gardons comme inconnue que le temps. Si nous disposons d'un assez grand nombre d'observations concordantes, il deviendra possible d'exprimer en fonction du temps la progression de l'affaissement (fig. 2).

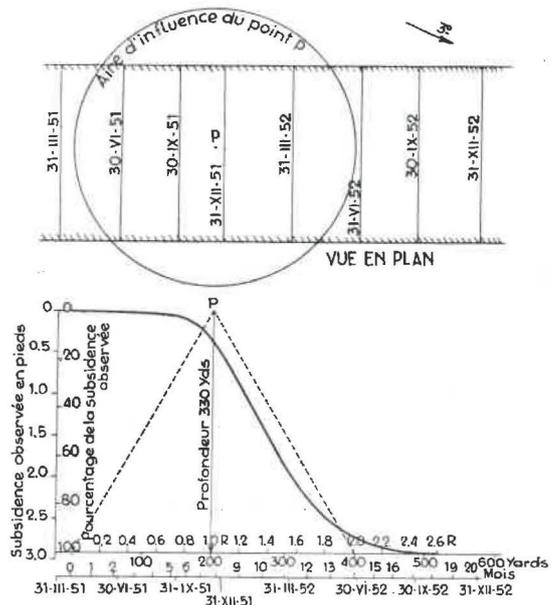


Fig. 2. — Relation entre le temps et l'affaissement.

Comparaison des observations dans le bassin minier du Yorkshire.

Onze cas ont fait l'objet d'observations comparées d'après ces principes et ils sont représentés par les diagrammes fig. 3. Bien que les conditions locales renseignées au tableau soient très différentes, ces courbes sont très voisines. Les abscisses (rapport de l'avancement au rayon R) renferment implicite-

ment la vitesse d'avancement et, vu les grandes variations de ce facteur, la similitude des diagrammes indique que la base de comparaison est valable et que la progression de l'affaissement est plus ou moins indépendante du temps. La raison des écarts individuels entre ces courbes n'est pas apparente. Le nombre de cas examinés n'est pas très grand, mais il est difficile de trouver des chantiers avan-

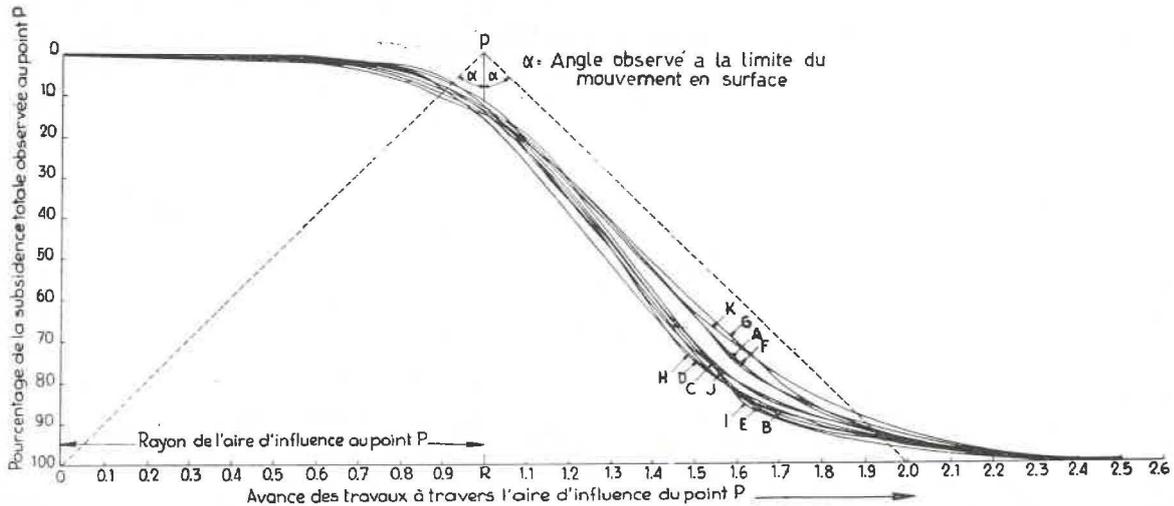


Fig. 3. — Diagramme montrant le pourcentage de l'affaissement en fonction de l'avance du chantier vers la zone d'influence d'un point.

CONDITIONS SPECIALES DES CAS EXAMINES

	Profondeur	Ouverture de la veine	Affaissement mesuré en P	Autres veines exploitées	Pente	Avancement		Terrains
						par an	par rapp. à R	
A	270 m	1,25 m	0,75 m	2 plus bas	1 : 40	243 m	1,500	Houiller
B	630 m	1,80 m	1,25 m	—	1 : 50	261 m	0,690	Permien 45 m Houiller 605
C	630	1,50 m	0,75 m	1 plus bas	1 : 12	300 m	0,775	Trias 162 m Permien 162 Houiller 306
D	675 m	1,65 m	0,90 m	—	1 : 25	225 m	0,592	Trias 144 Permien 126 Houiller 405
E	648 m	1,90 m	1,50 m	—	0	137 m	0,350	Permien 45 Houiller 603
F	540 m	1,50 m	0,45 m	—	1 : 7	345 m	0,952	Houiller
G	783 m	1,75 m	0,72 m	—	1 : 8	234 m	0,536	Trias 40 Permien 117 Houiller 616
H	153 m	0,93 m	0,45 m	2 plus haut 4 plus bas	1 : 15	354 m	3,700	Houiller
I	675 m	1,80 m	1,10 m	—	1 : 30	180 m	0,367	Permien 54 Houiller 621
J	207 m	0,93 m	0,45 m	2 plus bas	1 : 17	423 m	2,000	Houiller
K	300 m	1,33 m	0,90 m	1 plus bas 1 plus haut	1 : 18	306 m	1,700	Houiller

çant d'une façon continue dans la même direction et gardant la même longueur de front. D'autres cas s'écartant de cet idéal, certains situés dans le Nord du Staffordshire, ont été examinés et, dans les grandes lignes, la règle se trouve confirmée.

Si la progression de l'affaissement est indépendante du temps, la courbe moyenne des onze cas relevés peut être prise pour type et représenter, avec une assez grande précision, la relation entre l'avancement du chantier et l'affaissement d'un point de la surface influencée. Cette courbe moyenne est représentée par la figure 4 et elle ne s'écarte pas

Influence du temps révélée par la courbe de la progression de l'affaissement.

Pour faire saisir l'influence de la vitesse d'avancement du chantier sur la progression de l'affaissement, nous avons pris le rapport de l'avancement annuel au rayon du cercle d'influence R. Une série de courbes affaissement-temps a été représentée figure 5 pour différentes valeurs du rapport R/av. L'affaissement est achevé d'autant plus vite que ce rapport est plus élevé. Par exemple, pour une profondeur de 100 m et un angle limite de 35°, R serait de 70 m, et un rapport R/av. = 1/5 signi-

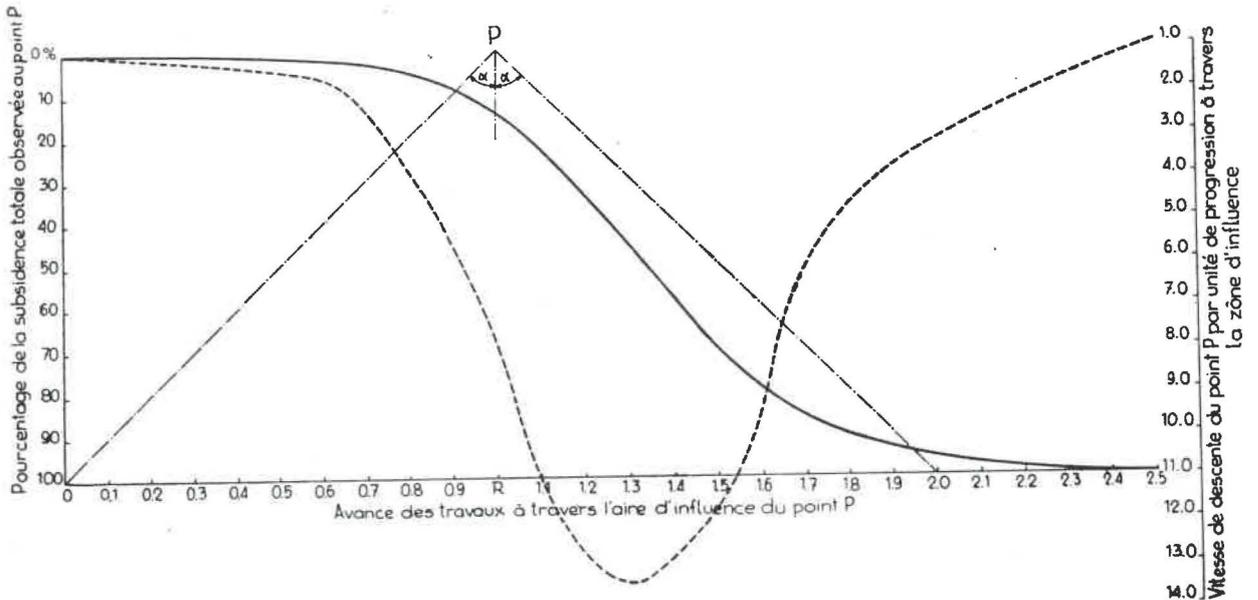


Fig. 4. — Courbe moyenne probable des observations.

de plus de 5 % d'aucune des courbes relevées. La courbe tracée en pointillé sur la même figure représente la vitesse de descente du point P en fonction de l'avancement et elle est remarquable par sa forme presque mathématique.

fierait un avancement de 14 m par an et le tassement serait terminé en treize ans. Supposons que la profondeur soit de 1000 mètres, le rayon $R = 700$ m, un avancement annuel de $140 \text{ m} = R/5$ donnerait exactement la même durée de 13 ans.

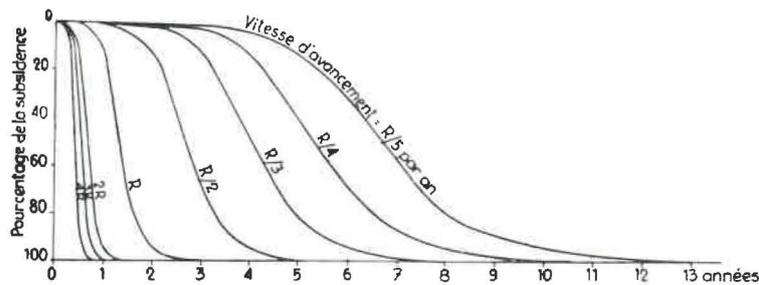


Fig. 5. — Affaissement en fonction de la vitesse d'avancement.

Pour la commodité du langage, nous appellerons la courbe moyenne *courbe type de la progression de l'affaissement*. On peut s'en servir, soit pour faire des comparaisons avec des observations locales allant jusqu'à l'affaissement complet, soit pour établir des prévisions en fonction de la valeur calculée de cet affaissement. Un certain nombre de vérifications dans des cas non rapportés ici ont confirmé la validité de la méthode.

Pour prendre un autre cas extrême, soit un avancement annuel de $4R$, à 100 m de profondeur, 280 m par an, le tassement serait complet en dix mois.

Influence de la profondeur.

Puisque le rayon R augmente proportionnellement à la profondeur pour une vitesse d'avancement

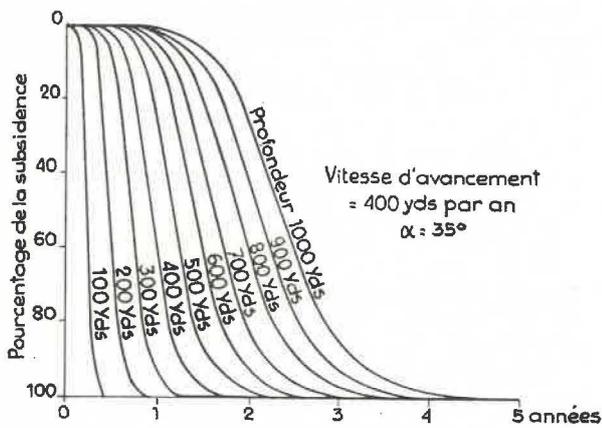


Fig. 6. — Variations de la durée de l'affaissement avec la profondeur.

donnée, la durée du tassement doit augmenter également. C'est ce que montre la figure 6, tracée pour un avancement de 360 m par an, correspondant à un cycle de 24 heures et un angle limite de 35.

Influence de la longueur du front.

Jusqu'à présent, on n'a considéré le facteur temps que dans l'hypothèse d'un front de largeur constante avançant d'une façon continue vers un point déterminé. A petite profondeur, il est possible que la longueur du front dépasse le diamètre de la zone d'influence et alors la loi trouvée est applicable. A grande profondeur, il est rare qu'un seul chantier ait un développement de front égal au diamètre de la zone et il faut considérer l'effet de tailles successives.

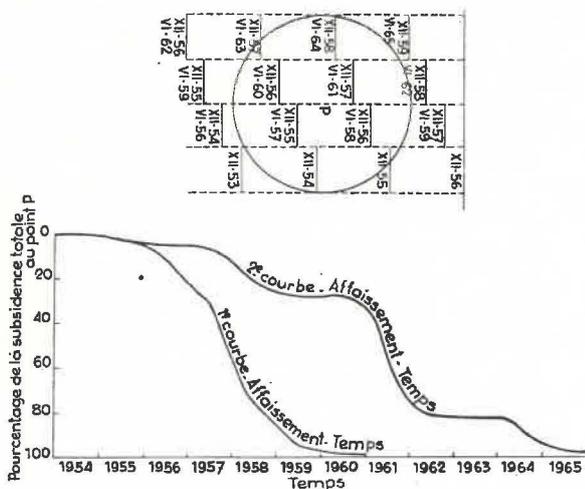


Fig. 7. — Courbes montrant les variations dues aux diverses phases de l'extraction.

Dans l'exemple figure 7, la descente du point P doit être calculée séparément pour chacun des chantiers particuliers. On trace chacune des courbes affaissement-temps, et ensuite on condense celles-ci en une seule, couvrant toute la zone d'influence. Dans ce cas, la progression de l'affaissement dé-

pendra des phases du déhouillement et des deux courbes représentées, la première représente la phase des travaux les plus anciens en date et la seconde l'effet des plus récents. On peut déduire par le même procédé la courbe correspondant à d'autres situations et l'on verra que l'affaissement continuera tant qu'on n'aura pas déhouillé toute la zone d'influence.

Variations du facteur temps avec la position du point par rapport aux chantiers.

Toutes les courbes tracées sur la figure 3 résultent d'observations faites sur un point situé à l'aplomb de l'aire exploitée, mais il convient d'examiner aussi la progression de l'affaissement de points situés en dehors de cette aire et néanmoins influencés.

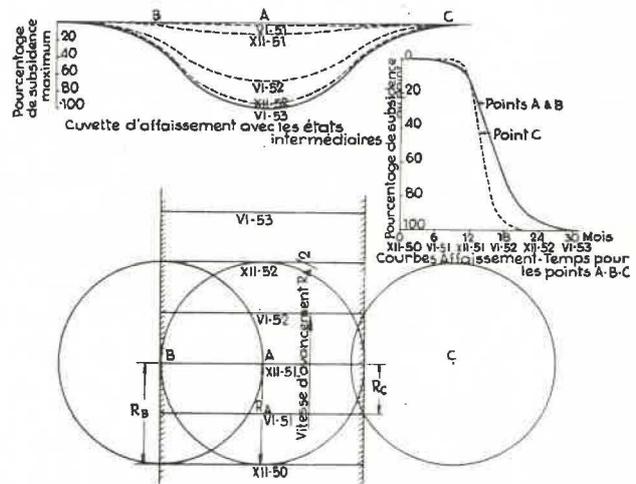


Fig. 8. — Variation de la durée suivant la position du point par rapport aux travaux.

Dans la figure 8, le point A est au centre et son affaissement relatif en fonction du temps est donné par la courbe typique. Il en est de même pour tous les points compris dans les intervalles A-B, puisque l'avancement du front sera le même pendant le même temps, mais la valeur absolue de l'affaissement décroît progressivement de A vers B.

Au point C, le chantier n'exerce son influence que pendant la moitié du temps correspondant aux points entre A et B. Il est évident que C ne bougera pas tant que le chantier reste en dehors de sa zone d'influence et qu'il cessera de s'affaisser peu de temps après que le chantier aura dépassé cette zone. On suppose dans ce cas que la corde Rc est exactement égale au rayon $R_A = R_B$. Malheureusement, il n'est pas facile de vérifier cette assertion parce que, dans cette région, les affaissements sont très petits et, par conséquent, l'influence des erreurs d'observation est considérable. Cependant, des observations ont été faites dans trois cas et on peut en déduire comme vraisemblable que, plus un point est éloigné du bord du chantier, moindre est la durée du tassement complet. La progression de l'affaissement C sera donc représentée par la courbe tracée en pointillé sur la figure 8 et celle des

points intermédiaires entre A et C par une courbe intermédiaire entre les deux courbes limites.

Influence du temps sur les mouvements du sol consécutifs à l'avance du chantier.

La vague d'affaissement qui accompagne l'avancement du chantier est une notion familière (tout au moins dans la littérature anglaise). Il est bien connu par l'observation que les mouvements en question sont moindres que l'affaissement final qui n'est atteint qu'un certain temps après l'arrêt du chantier. La cuvette momentanée a la même allure que la cuvette terminale et peut se construire d'après cette dernière. La figure 9 montre le phénomène généralement observé entre deux phases lorsque la largeur du chantier est égale au diamètre de l'aire d'influence.

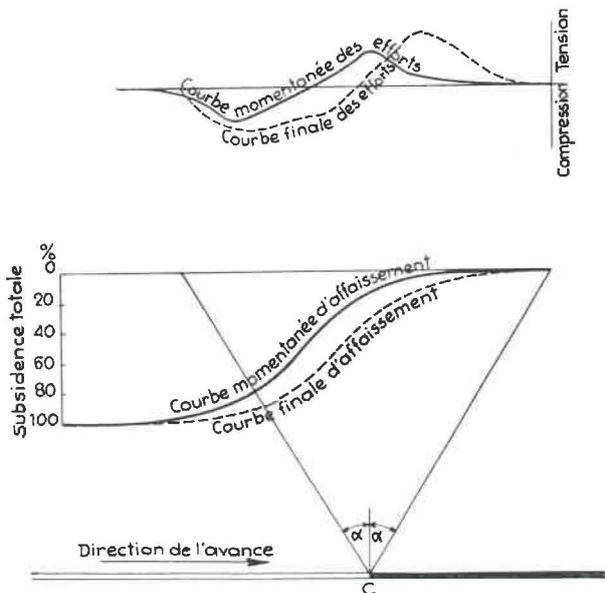


Fig. 9. — Relation entre les mouvements du sol voyageant avec le chantier et la déformation finale.

Par comparaison, la courbe des tensions et compressions, tant qu'elle est en mouvement, accuse des intensités moindres qu'à l'état final et, en plus, elle montre que le maximum de tension se produit immédiatement à l'aplomb du front de taille. On peut démontrer en outre que le taux de cette tension maximum varie en raison inverse de la profondeur. Aux petites profondeurs, où la portion de l'aire d'influence envahie par le chantier est très grande (et par conséquent aussi l'affaissement dû à une seule taille), il est parfaitement possible que les mouvements momentanés du sol atteignent une intensité dommageable. Le danger est d'autant plus grand que l'ouverture de la veine est plus forte et un certain nombre de dégâts importants sont dus à cette cause. Il est donc essentiel de considérer, non seulement les mouvements qui se produisent suivant la verticale, mais aussi les effets possibles de tous les mouvements momentanés pour apprécier les dégâts à la surface.

On aura remarqué que la limite des mouvements momentanés en direction de l'avancement est la

même que celle du tassement final et cela peut paraître étrange. Il est vrai cependant de dire que des observations précises permettent de déceler les affaissements dépassant 5 mm et les changements de longueur dépassant 1 mm pour 30 m, et que les observations faites dans le Yorkshire n'ont montré que de très petites différences entre la limite en marche et la limite finale. La tendance naturelle des affaissements momentanés est de rester en deçà de cette limite, mais, comme ces mouvements sont de très faible amplitude, il n'y a pratiquement pas de différences assez notables pour croire que les deux limites ne soient pas identiques.

Une opinion assez répandue, c'est qu'il vaut mieux pour atténuer les dommages à la surface, avancer le plus rapidement possible, mais il n'y a pas de preuve qu'il en soit ainsi. L'ondulation momentanée est la même que celle de la cuvette qui correspond au plein développement du chantier et qui est donc indépendante du temps et de la vitesse d'avancement. Cela revient à dire que les mouvements momentanés du sol ont toujours la même amplitude, la seule différence c'est qu'ils se déplacent plus vite, proportionnellement à la vitesse d'avancement.

De plus, il est indifférent que les contraintes maxima développées dans un bâtiment le soient en six mois ou en six ans et les effets nuisibles seront les mêmes dans les deux cas. On peut donc dire que la formation de la cuvette d'affaissement variera uniquement dans le temps et que la vitesse d'avancement, pourvu qu'elle soit continue, n'a pas d'importance quant à la gravité des dommages.

CONCLUSIONS

- La relation affaissement-temps ne peut pas se déterminer ou s'exprimer directement, mais bien par l'intermédiaire de la courbe de progression de l'affaissement.
- La durée de l'affaissement est inversement proportionnelle à la vitesse d'avancement.
- Elle dépend en chaque cas de la situation du point par rapport aux chantiers.
- Le temps nécessaire pour que l'affaissement soit complet peut varier entre quelques mois et plusieurs années suivant les circonstances et il peut être prédit avec une approximation suffisante.
- Les déplacements du sol suivant l'avancement du front sont moindres que le déplacement final, mais peuvent néanmoins devenir dangereux, particulièrement à faible profondeur ou avec des couches puissantes.
- L'observation montre que les plus grandes tensions se produisent à l'aplomb du front en marche.
- Pourvu qu'elle soit continue, la vitesse d'avancement ne paraît pas avoir d'influence sur les dommages à la surface.

Tous les principes exposés sont probablement applicables à d'autres conditions que celles du Yorkshire et on a déjà fait certaines recherches concordantes dans le district du Nord du Staffordshire. Il va sans dire que des dérangements, des

pilliers abandonnés dans de vieux travaux, peuvent donner lieu à des écarts de la règle type et que de nouvelles observations sont nécessaires pour se prononcer sur ces cas compliqués.

DISCUSSION

Au meeting du 5 novembre 1953 (*), le mémoire de M. Wardell a fait l'objet d'une série d'observations auxquelles l'auteur a répondu. Tous les critiques ont rendu un juste hommage à l'importance et à l'originalité du travail de M. Wardell. Plusieurs ont émis des observations semblables que l'on peut grouper et résumer comme suit.

1. — Conditions naturelles du gisement.

Le bassin houiller du Yorkshire dans lequel ont été faites les onze observations est remarquable par la régularité d'allure du terrain houiller, les couches y sont très plates et la méthode d'exploitation est partout la même (longues tailles sans remblai extérieur). Ainsi, s'expliquent la concordance des diagrammes et la possibilité de tracer une courbe moyenne probable malgré certaines variations notables de la profondeur d'extraction et de la nature des morts-terrains. La courbe type de la progression de l'affaissement peut servir à établir des prévisions dans tous les cas analogues à ceux du Yorkshire, mais il serait sans doute très aléatoire de s'y référer dans des cas où les conditions de gisement seraient notablement différentes. On peut noter spécialement la forte inclinaison des strates, parce qu'alors la zone d'influence n'est plus un cercle, et aussi la présence de grès en forte épaisseur qui ralentissent la progression de l'affaissement. Il importe donc de procéder à des investigations suivant la méthode Wardell dans le plus grand nombre possible de cas divers.

Ruhr ont donné des diagrammes ayant tous la même allure sinueuse.

La contribution la plus importante à cette question a été apportée par le Professeur Grond, il a produit le diagramme (fig. 10) relatif à quatre cas particuliers très différents pris dans le Limbourg Hollandais. Les quatre courbes, de même allure générale, présentent des écarts individuels beaucoup plus grands que ceux de la planche figure 3 de M. Wardell. Pour cette raison, et vu le petit nombre de cas, il n'est pas possible d'établir la courbe moyenne probable. Les divergences s'expliquent par la grande différence dans l'épaisseur des morts-terrains. Il est probable aussi que la progression de l'affaissement est différente suivant que l'on emploie le foudroyage ou le remblayage. Enfin, les gros bancs de grès retardent l'affaissement dans son début et on en montre un exemple frappant (Point 39, Ham Kerkrad, 5 mm de descente après 3 mois, couche à 92 m de profondeur dont 77 m en terrain houiller). L'inclinaison des strates n'a pas d'importance tant qu'elle ne dépasse pas 15° à 20°. Jusqu'à cette limite, la zone d'influence est circulaire et la courbe type de la progression de l'affaissement est valable. Au-delà, on ne peut rien affirmer sans nouvelles observations.

Angle limite.

On peut dire que cette notion constitue dans la littérature anglaise une nouveauté. On a demandé des précisions sur la manière dont il a été déterminé et sur ses variations avec la nature des terrains.

Quant au premier point, M. Wardell a établi à la surface une base de nivellement longtemps avant le début de l'exploitation et il a répété les mesures à intervalles rapprochés. Lorsque le point considéré descend d'une quantité de l'ordre de l'erreur pro-

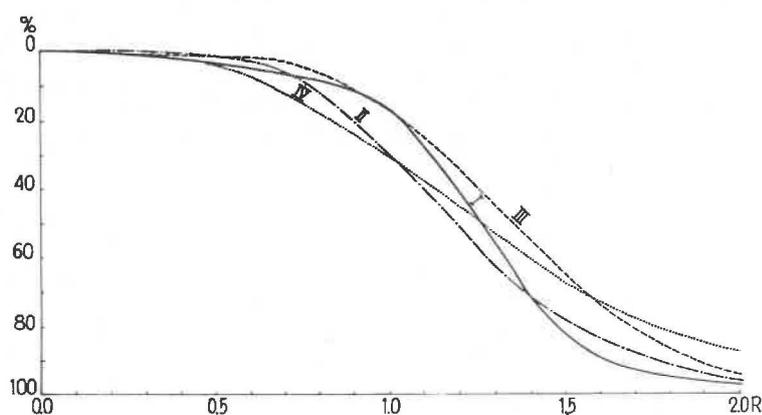


Fig. 10. — Courbes de la progression de l'affaissement dans le Limbourg Hollandais.

M. Wardell reconnaît le bien fondé de l'objection et souhaite aussi que l'on fasse encore beaucoup de vérifications. Jusqu'à présent, les quelques observations faites dans les districts du Nord du Staffordshire, du Limbourg Hollandais et de la

nable d'observation, on note la distance entre sa projection horizontale et le front de taille, ce qui détermine l'angle limite α et partant R.

Cet angle varie effectivement suivant la nature des roches ; dans les onze observations rapportées, il est compris entre 32° et 36°, sauf pour le cas J où il est de 40°. Dans la Ruhr, on trouve 30° à 40° et dans le Limbourg Hollandais 45° (recouvrement

(*) Transactions of the Inst. of Min. Eng. 1954, juin, p. 799/814.

épais de terrains meubles). En ce qui concerne la précision des mesurés d'affaissement, on a cité ± 6 mm, mais M. Wardell affirme que ses levés sont beaucoup plus précis.

La précision dépend de la dimension du front de taille ; lorsqu'elle est petite par rapport à R, les affaissements sont petits en valeur absolue et les erreurs d'observation ont une grande importance. La détermination de α est beaucoup plus sûre dans le cas des chantiers de grandes dimensions. Les variations de l'angle limite sont beaucoup moindres que celles de l'angle d'influence (angle of draw) qui correspond à l'aire des dégâts sensibles. Aussi, bien que cette expression d'angle of draw soit maintenue par les Comités officiels, M. Wardell estime qu'il faut bien faire la distinction et introduire la notion d'angle limite.

Position du départ.

Dans les onze observations du Yorkshire, tous les chantiers ont été mis en activité en dehors de la zone d'influence du point P. Il est donc naturel de dire que, dans ces cas, l'affaissement débute quand le chantier atteint le bord du cercle d'influence. La cuvette d'affaissement à la surface est déjà formée et va en se creusant et en se déplaçant dans la même direction et à la même allure que le front de taille. Mais, dans le cas où le point de départ du chantier est à l'intérieur de la zone d'influence, l'assertion que l'affaissement du point P débute immédiatement est fort discutable ; il faut, en effet, un certain temps avant que l'ébranlement des roches se propage du toit de la couche jusqu'à la surface et par conséquent, dans ce cas, la courbe de progression de l'affaissement pourrait être très différente de la courbe type Wardell. Il en serait de même dans le cas où le chantier serait inactif pendant un temps notable.

M. Wardell estime que, dans le cas cité par M. Grond du point 39, le retard peut être dû, non seulement au banc de grès, mais aussi au fait que le chantier a débuté à l'intérieur de la zone d'influence. D'une façon générale, l'affaissement devient sensible lorsque le chantier avance de $0,2R$, ce qui n'est pas beaucoup comme retard, il progresse lentement jusqu'à $0,8R$ et à partir de ce moment prend une allure accélérée. Un arrêt d'une semaine n'a pas d'importance, vu le degré d'approximation du calcul de la fraction R/v , mais un arrêt de 15 jours ou plus amènerait des perturbations dans la courbe de la progression de l'affaissement.

Prévisions.

La courbe type de la progression de l'affaissement peut être utilisée pour prévoir à l'avance l'effet et l'époque des mouvements du sol pouvant occasionner des dégâts et pour établir en conséquence les plans d'exploitation. Cette courbe type s'exprime en pourcentage de l'affaissement final. Or dans un cas concret, ce qui importe, c'est la valeur de l'affaissement en mm. Tel est particulièrement le cas pour les terrains susceptibles d'être inondés. Il faut donc convertir les ordonnées de la courbe en me-

sures concrètes et c'est là un calcul très aléatoire. Il faut donc d'abord connaître la valeur de l'affaissement final, or celui-ci varie dans les onze cas cités, entre 23 et 79 % de l'ouverture de la couche et la moyenne de 56 % n'a aucune signification pratique. De plus, l'expérience prouve que tous les points d'une même base ne descendent pas exactement suivant la même loi et qu'il y a des anomalies locales, dont il est souvent fort difficile de trouver l'explication.

M. Wardell a expliqué que les différences dans le taux de l'affaissement par rapport à l'ouverture de la veine sont dues aux grandes différences des aires exploitées à l'intérieur de la zone d'influence. Ses levés ne peuvent faire apparaître que la marche générale du phénomène, il n'existe aucun procédé sûr pour déterminer à l'avance l'affaissement d'un point déterminé. C'est par la connaissance des conditions locales qu'on peut se faire une idée de la grandeur des écarts possibles et cela suppose un grand nombre d'observations.

Affaissement résiduel.

On désigne par là, la partie de l'affaissement qui se constate après que le chantier est sorti de la zone d'influence $2R$. Cette partie est toujours petite, 3,5 à 8 % de l'affaissement final, et celui-ci est atteint lorsque le chantier a progressé jusqu'à $2,5R$ maximum. Puisque la progression du chantier, et partant la vitesse, n'ont plus aucune influence à partir de $2R$, on ne peut pas conclure que cet affaissement résiduel dure d'autant moins que la vitesse d'avancement est plus grande, et à la limite, qu'il se prolongerait indéfiniment quand le chantier est arrêté exactement à $2R$. Les opinions les plus diverses ont été émises sur la durée du tassement définitif ; les uns l'estiment à quelques mois, les autres à deux ou trois ans, les autres à une dizaine d'années après l'arrêt du chantier. Ce tassement est dû à la recompression du remblai et à l'écoulement plastique des terrains supérieurs tendant à combler complètement le vide créé par l'exploitation. Il s'opère différemment suivant qu'on exploite par foudroyage ou par remblayage plus ou moins compact. La dernière partie de la courbe type, au-delà de $2R$, est donc très discutable.

Les diagrammes fournis par M. Grond pour le Limbourg Hollandais ont été judicieusement arrêtés à $2R$. A noter que les différences dans le taux de l'affaissement résiduel y sont beaucoup plus fortes (allant jusqu'à 20 %) que celles indiquées par les courbes Wardell pour le Yorkshire.

En fait, dans cette dernière phase comme tout au début, les valeurs absolues des mesures étant petites, les erreurs d'observation prennent une grande importance.

Pour expliquer cet affaissement résiduel, on a suggéré l'hypothèse que le bord de la cuvette d'affaissement qui se déplace comme le front de taille correspondrait à une ligne d'influence d'angle moindre que l'angle limite. Ce dernier est l'angle d'équilibre statique, stable et définitif, tandis que l'autre serait un angle variable correspondant aux conditions dynamiques. M. Wardell, d'accord en cela

avec les auteurs du Continent européen, considère que les cuvettes intermédiaires ont la même forme et correspondent aux mêmes angles que la cuvette d'affaissement finale. Il se peut qu'au cours des observations, on note une certaine différence entre l'angle « dynamique » et l'angle « limite » mais, d'après les levés, elle doit être au maximum de 5° .

Lorsqu'on arrête un chantier, il subsiste derrière le front un vide d'une certaine longueur non entièrement comblé ou rempli de matériaux non tassés. Certains auteurs allemands attribuent à la recompression de cette zone le retard au tassement final. Mais, si l'exploitation continue à progresser au-delà de $2R$, le tassement sera fini plus tôt et c'est pourquoi M. Wardell estime que la vitesse d'avancement a une influence sur cette dernière phase, et que la courbe type s'étend au-delà de $2R$.

Vitesse d'avancement et dégâts.

L'assertion que la vitesse d'avancement n'a aucune importance quant à la gravité des dégâts aux bâtiments a donné lieu à des observations contra-

dictoires. Pour les uns, les dégâts sont plus forts quand l'affaissement est rapide. D'autre part, on peut imaginer que l'avancement soit assez rapide pour que le bâtiment descende verticalement.

Sur ce dernier point, M. Wardell répond que cette hypothèse exigerait une vitesse d'avancement pratiquement irréalisable. Jusqu'à présent, le maximum atteint serait de $7R$ par an. Même alors, il y aurait toujours une compression latérale susceptible de causer des lésions aux bâtiments.

Terminologie.

L'expression « *time factor* » (facteur temps) pour désigner les ordonnées de la courbe type n'est pas très adéquate. Elle a l'inconvénient de pouvoir être confondue avec le « *Zeitfaktor* » des auteurs allemands qui n'a pas la même signification, puisqu'il représente uniquement le pourcentage de l'affaissement en fonction du temps du calendrier. Il est par suite essentiellement sous la dépendance des conditions locales dont le *time factor* veut s'affranchir.