

Recherches récentes sur les affaissements miniers

par C. BEEVERS et K. WARDELL.

Traduit de « Colliery Guardian », 8 juillet 1954

par L. DENOEL

Professeur émérite de l'Université à Liège.

SAMENVATTING

Deze studie is gewijd aan de nivelleringen van grote nauwkeurigheid uitgevoerd in het mijnbekken van Yorkshire. De meeste vroegere opmetingen hadden meestal tot doel de vervormingen van de bodemoppervlakte in hun eindstadium te bepalen, terwijl nu vooral getracht werd de bewegingen na te gaan die veroorzaakt worden door een werkplaats in ontginning, evenals de invloed dezer bewegingen.

De ondervinding leerde dat de afstand tussen de merkpunten van een waarnemingsbasis in verband moet staan tot de diepte der werken. Indien deze afstand groot is en de diepte gering, dan vertoont het diagramma het uitzicht van een gebroken lijn en de horizontale bewegingen zijn vervormd. De huidige praktijk bestaat erin de merkpunten op hoogstens 30 m onderlinge afstand te plaatsen, ofwel op $R/12$, R zijnde de straal van de invloedzone bepaald door de grenshoeken.

Bij voorbeeld, indien de grenshoek in het Steenkolengebergte 35° is en de diepte 100 m, dan zou de afstand tussen de merkpunten 6 m moeten bedragen. Voor een diepte van 500 m zou de afstand 30 m bedragen.

De praktijk toont aan dat de nauwkeurigheid der lengtemetingen vermindert indien men de 30 m overschrijdt. Daarom werd deze afstand als maximum behouden voor alle diepten boven de 500 m.

Het programma der waarnemingen had zich tot doel gesteld:

a) na te gaan of de besluiten over de waarnemingen verricht op het vasteland toepasselijk zijn in het bekken van Yorkshire.

b) duidelijke noties te verkrijgen over de grenzen van de bodembewegingen, de mogelijke maximum verzakking en de wet der bewegingen in functie van de tijd.

c) zoveel mogelijk de invloed van de opvulling en van de geologische omstandigheden nagaan.

d) de horizontale bewegingen te meten en hun invloed op de schade aan de gebouwen na te gaan.

Aanvankelijk werden waarnemingen verricht in gebieden die vrij waren van storingen en waar slechts een enkele laag in ontginning was. Men herhaalde de waarnemingen met tussenruimten van 1 à 2 maanden, naar gelang de snelheid van voortschrijding en de diepte der werken. Tegenwoordig vat men de studie aan van meer ingewikkelde gevallen en is het nodig de opmetingen over kortere tijdsruimten te verdelen.

Alle basissen, loodrecht op de voortschrijdingsrichting, worden gemeten vooraleer enige beweging zich kan voordoen en vervolgens een of tweemaal wanneer men veronderstelt dat de beweging uitgedoofd is.

De basissen evenwijdig met de richting van voortschrijding der werken worden eveneens vóór iedere beweging opgemeten en vervolgens op tijdstippen waarop men vermoedt dat de verschillen in de opmetingen duidelijk waarneembaar zullen zijn.

Deze werkwijze heeft toegelaten het aantal observatiebasissen te verhogen, zonder het werk van de opmeters merkkelijk te verzwaren.

PROGRAMME

Ce mémoire est consacré aux nivellements de grande précision effectués dans le bassin houiller

(*) Le mémoire complet et la discussion au meeting du 7 juillet 1954 sont à l'impression dans les « Transactions of the Institution of Mining Engineers ».

du comté d'York. La plupart des observations faites antérieurement avaient surtout pour objet de déterminer les déformations du sol à leur état final, tandis que maintenant on s'est surtout préoccupé de déceler les mouvements accompagnant un chantier en activité et leur influence. L'expérience a démontré que l'écartement entre les repères des bases d'observation doit être en rapport avec la

profondeur des travaux miniers. Si cet écartement est grand et la profondeur petite, le diagramme est une ligne brisée et irrégulière et les mouvements horizontaux en sont déformés. La pratique actuelle est de fixer les repères à 30 m au plus les uns des autres ou à $R/12$, R étant le rayon de la zone d'influence déterminée par les angles limites.

A titre d'exemple, l'angle limite dans le houiller étant de 35° , la profondeur des travaux 100 m, la distance entre repères serait de 6 m. Si la profondeur est de 500 m, cette distance est de 30 m. La pratique fait voir que la précision des mesures de longueur décroît quand on dépasse 30 m, c'est pourquoi on a maintenu cet écartement pour toutes les profondeurs au-delà de 500 m.

Le programme des observations comporte les buts suivants :

- a) Vérifier si les conclusions des observations faites sur le continent sont valables dans le bassin du Yorkshire.
- b) Arriver à des notions claires sur la limite des mouvements du sol ; l'affaissement maximum possible et la loi des mouvements en fonction du temps.
- c) Déterminer autant que possible l'influence du remblai et celle des conditions géologiques.
- d) Mesurer les mouvements horizontaux et établir leur influence sur les dommages aux constructions.

Au début, on a choisi des champs d'observations exempts de failles et où une seule veine était en exploitation, et l'on répétait les observations à intervalles de un à deux mois suivant la vitesse d'avancement et la profondeur. Actuellement, on embrasse des cas plus compliqués et il faut des observations plus fréquentes.

Toutes les bases perpendiculaires à la direction de l'avancement sont mesurées avant qu'aucun mouvement puisse se produire et ensuite une fois ou deux quand on présume par le calcul que le mouvement a cessé. Les bases en direction de l'avancement sont mesurées avant tout mouvement, et ensuite à des intervalles présumés tels que les différences des mesures soient nettement perçues. Ceci a permis d'augmenter le nombre des lignes d'observation sans accroître notablement le travail des opérateurs.

COMPARAISON DES OBSERVATIONS

Il est acquis de façon claire qu'il n'y a, entre les observations du Yorkshire et celles de la Hollande ou de la Ruhr, que des différences de détail et nullement de principe. Il convient donc d'examiner chacun des facteurs séparément.

a) Affaissement maximum possible.

Dans les exploitations avec épis de remblai, on a observé des affaissements de 76 à 85 %, tandis que sur la rive gauche du Rhin, avec remblayage par fausses-voies, on atteint 75 à 85 %. Les plus fortes proportions se rapportent aux cas où le volume du remblai est le moindre et aux grandes profondeurs. A faible profondeur, à volume de remblai égal, l'affaissement tend vers la limite inférieure.

Dans deux cas particuliers, on a augmenté le coefficient de remblayage jusqu'à 75 % et l'affaissement maximum a été réduit à 60 % de l'ouverture de la veine (profondeur : 160 m et 210 m).

Il va sans dire que, dans tous les cas, il s'agit de l'aire d'action complète.

Des observations sont en cours sur une exploitation avec remblai pneumatique et sur une autre avec foudroyage intégral. Une observation a donné à peu près 100 % de l'ouverture de la veine, mais il y avait une couche inférieure exploitée antérieurement et renfermant un pilier de protection trop faible et qui s'est écrasé.

b) Angle limite.

Il est remarquablement constant dans toute l'étendue du bassin et compris entre 32° et 38° , même en présence de Trias ou de Permien. Les vieux travaux, soit au-dessus, soit en dessous de la veine ne paraissent pas avoir d'influence. On n'a pas été à même de vérifier si l'angle limite diminué dans les formations massives de grès.

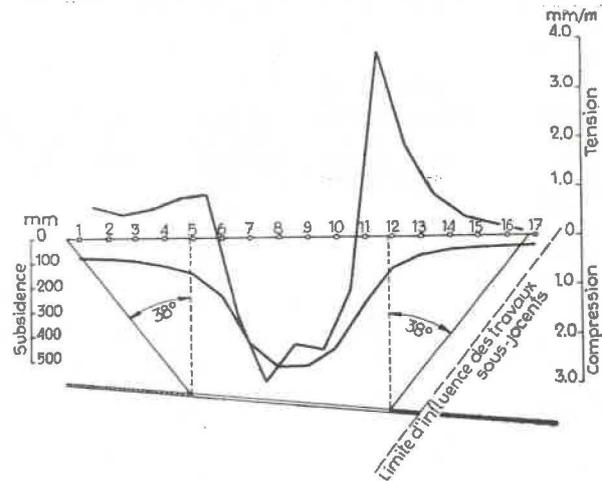


Fig. 1. — Affaissement final, tensions et compressions.

c) Progression de l'affaissement.

La formation de la cuvette correspond bien aux vues des observateurs allemands, c'est-à-dire que le tassement maximum est atteint lorsque l'aire exploitée est l'aire d'action complète. D'après nos observations, l'affaissement à la verticale du périmètre du chantier est de 30 à 35 % du maximum au contact du ferme et, à l'autre extrémité en plein remblai, il atteint 60 à 70 % du maximum. En d'autres termes, la cuvette n'est pas symétrique, sauf si elle est limitée de toutes parts par le ferme ou par d'anciens travaux (comparez à ce sujet les figures 1 et 3).

En Hollande, la courbe est généralement symétrique avec une ordonnée à l'aplomb du périmètre égale à 50 % du maximum. Il en va de même dans une partie de la Ruhr, mais sur la rive gauche du Rhin, on observe aussi une certaine dissymétrie. L'explication qu'on en donne, c'est que le massif en ferme freine la compression du remblai.

Cette déformation de la cuvette crée des difficultés dans le calcul a priori de l'affaissement pro-

bable. Les plus grands écarts avec la réalité se rencontrent à l'aplomb du périmètre du chantier où toutes les méthodes de calcul attribuent à l'ordonnée de la courbe la moitié du maximum. Le professeur Grond a publié récemment sur ces méthodes de prévision une dissertation dont une grande partie est consacrée à la critique des zones différentielles de Bals. Celles-ci peuvent être ajustées et donner des résultats conformes aux observations.

d) Progression des déplacements horizontaux, tensions et compression.

Sur ce point, les principes généraux esquissés sur le Continent se vérifient également. Cela veut dire que le maximum du déplacement horizontal et de la tension est atteint quand le chantier dépasse le rayon de la zone d'influence et que le maximum de la compression correspond à peu près à ce rayon. Il y a cependant des différences du même ordre que dans la forme de la cuvette et la dissymétrie entre le côté ferme et le côté remblai se fait sentir aussi dans les mouvements horizon-

blai, ce maximum est reporté vers l'arrière (fig. 3). On est ainsi de nouveau ramené à cette conclusion que la compression du remblai au voisinage du ferme a une grande importance dans l'étude des dégâts miniers. Les mesures au chantier, de convergence et de la compression du remblai pourraient probablement projeter quelque lumière dans cette question.

e) Déformations itinérantes ou dynamiques.

C'est probablement sur ce point que nos observations apportent une nouvelle mise au point, la correspondance entre la déformation du sol et l'avancement du chantier ayant, en général, attiré trop peu l'attention.

Trois exemples typiques (fig. 4, 5 et 6) montrent que la vague d'affaissement accompagnant le front de taille engendre des tensions et des compressions itinérantes. On constate que l'intensité de ces contraintes est en rapport direct avec la grandeur de l'affaissement, c'est-à-dire qu'elle diminue à mesure qu'on s'écarte du centre du panneau.

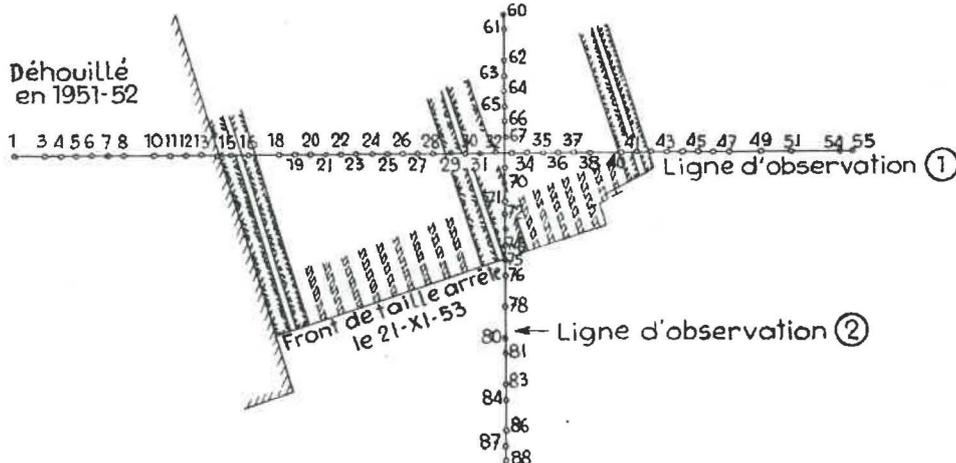


Fig. 2. — Base d'observations, chantier et épis de remblai, cause des mouvements figurés en 2 et 3.

taux. Le point capital, c'est que le maximum du déplacement et le passage de la tension à la compression coïncident avec le point d'inflexion de la courbe des affaissements. Sur ce point, les observations du Yorkshire concordent avec celles du Continent.

Nos observations montrent que le maximum de tension est, vers l'avant, à l'aplomb du front de taille, tandis que vers l'arrière au contact du rem-

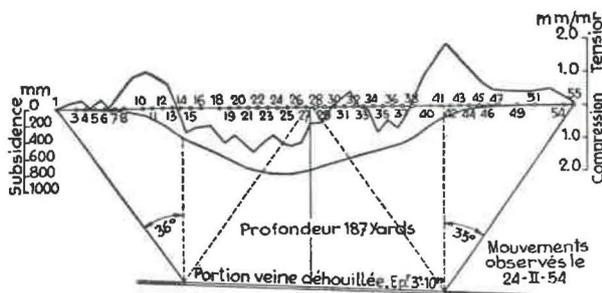


Fig. 3. Affaissement final, tensions et compressions suivant la ligne n° 1 de la figure 2.

Au centre d'une aire partielle, toutes les ordonnées sont moindres que dans l'aire d'action complète. C'est donc au moment où celle-ci va être atteinte que le risque de dégâts est le plus grand et ceci se manifeste surtout aux petites profondeurs.

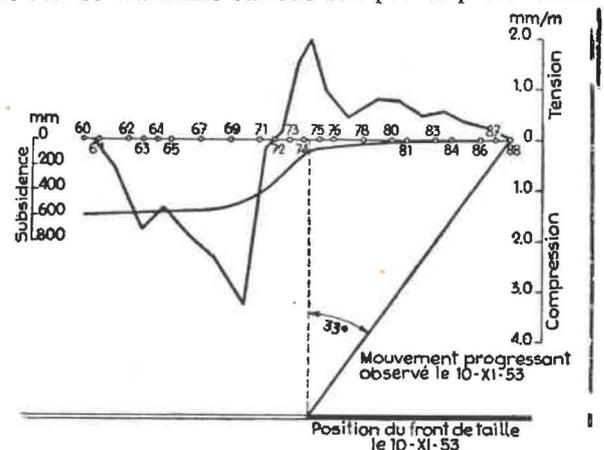


Fig. 4. — Cuvette itinérante, tensions et compressions suivant la base n° 2 de la figure 2.

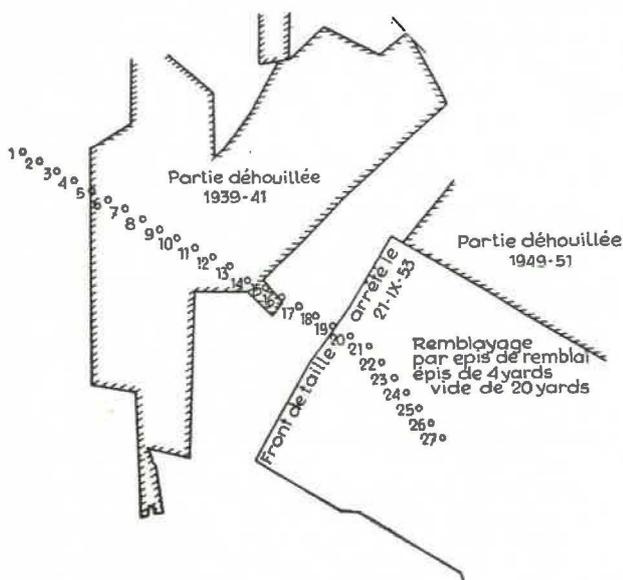


Fig. 5. — Base d'observation et chantier ayant causé l'affaissement figure 6.

Dans le même ordre d'idées, si la largeur du front de taille est moindre que le diamètre de la zone d'influence, les tensions itinérantes diminuent en grandeur absolue et peuvent même devenir négligeables. C'est peut-être la raison pour laquelle, pendant longtemps, on y a prêté peu d'attention sur le Continent, parce que dans les méthodes

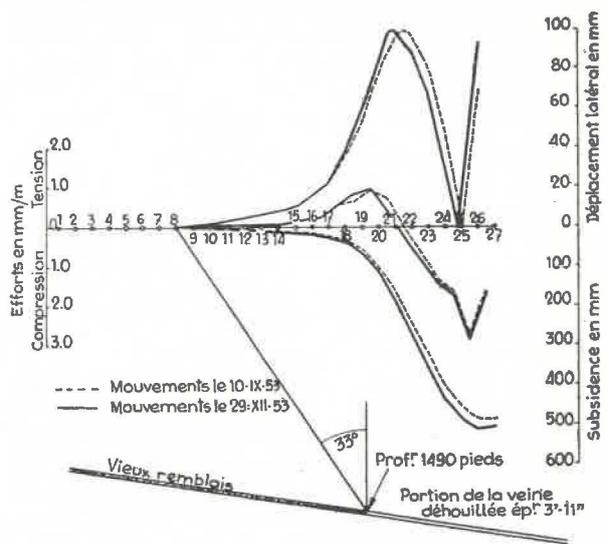


Fig. 6. — Affaissements, déplacements horizontaux, tensions et compressions suivant la base figure 5.

s'arrête, il n'y a plus qu'un très petit accroissement, tant des affaissements que des tensions.

f) Influence du remblayage.

Les figures 3, 9 et 10 font voir qu'en renforçant le remblai au centre du panneau, on modifie l'allure de la courbe d'affaissement. Le fond

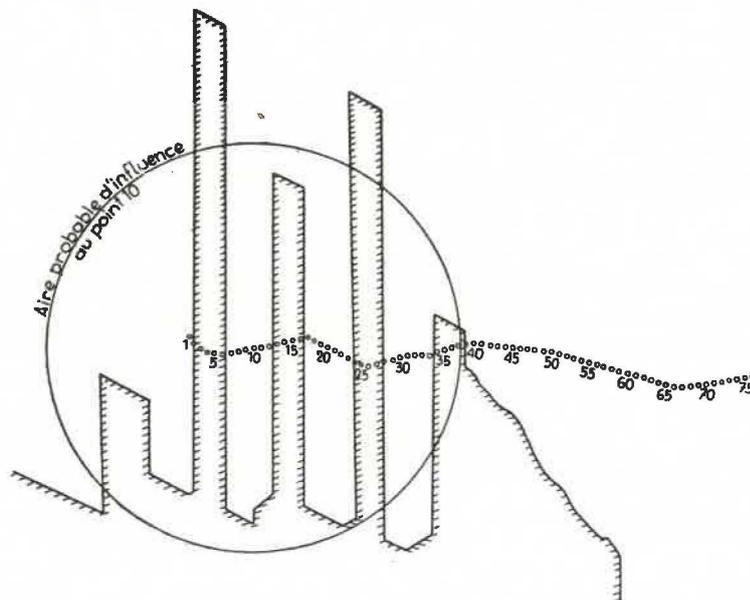


Fig. 7. — Base d'observations au-dessus d'un quartier avec piliers réservés.

d'exploitation usuelles l'extraction se faisait par tailles de petites dimensions.

La figure 6 est particulièrement intéressante parce qu'elle montre le rapport entre l'état momentané et l'état final et fait voir que, si le front est suffisamment étendu, il y a très peu de différence dans les intensités des tensions. Quand le front

en est beaucoup plus aplati. Ces deux chantiers étaient à profondeur modérée, les observations dans des mines profondes n'ont pas montré le même effet. Elles constituent cependant une indication montrant la possibilité de réduire la compression dans la partie centrale ou de changer la position du maximum de tension en élevant un épi de

remblai assez large le long de la paroi en ferme. Ces possibilités, qui restent à démontrer, peuvent avoir d'heureux effets en certaines circonstances.

g) Extraction partielle par abandon de piliers.

Une base d'observation a été tracée par le milieu d'un quartier exploité par trois panneaux de 72 m de largeur entre piliers de 128 m, ce qui représente une extraction de 40 % à la profondeur de 680 m. L'affaissement maximum a été de 100 mm, uniforme sur toute la largeur du quartier et on n'a pas constaté de mouvements horizontaux. Il y a ici sans doute un effet de voûte, mais pas complet.

Pour autant qu'on puisse en juger présentement, le rapport du vide au plein dépend du diamètre de la zone d'influence. On peut admettre, à n'importe quelle profondeur, une largeur de R/6,5 pour les panneaux et de R/4,4 pour les piliers. L'effet sera toujours le même pour une même ouverture de la

0,3 mm). Des compressions de 0,6 mm/m ont été constatées et elles peuvent endommager même des bâtiments bien construits. Bien que les dommages par compression soient moins fréquents que ceux causés par tension, ils sont souvent plus graves.

On peut réduire ces effets à un minimum par un bon aménagement des chantiers d'exploitation.

En Hollande et en Allemagne, on a réussi ainsi à préserver des bâtiments de grande importance. Le principe est de faire en sorte que le bâtiment soit situé dans la zone des tensions minimales, ou bien de combiner les chantiers de telle façon que les effets de tension et de compression se balancent. Cette méthode paraît difficilement applicable dans le Yorkshire, où il est très rare qu'on exploite simultanément deux veines ayant des points d'accès assez écartés.

Dans le passé, on a suggéré l'idée de passer sous le bâtiment rapidement et avec un large front. Ce

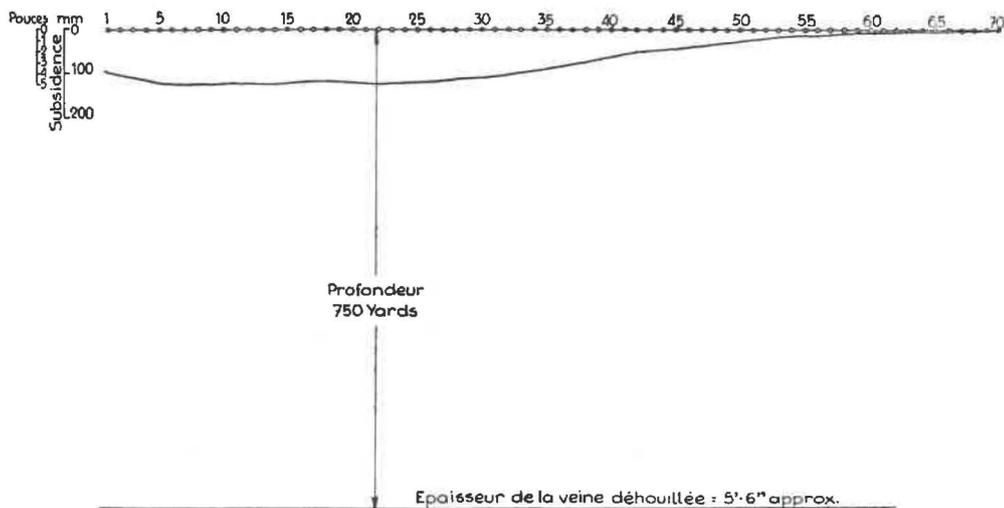


Fig. 8. — Affaissements suivant la base figure 7.

veine. Cette règle conduirait à des piliers de 17 m et des chambres de 11 m pour une profondeur de 100 m. Des chambres plus larges, avec le même pourcentage d'extraction, auraient pour conséquence un plus fort affaissement et peut-être aussi des tensions et des dégâts. On continuera à faire des observations dans les divers districts miniers sur des exploitations à petites profondeurs.

DEGATS MINIERs

Il est établi que les contraintes par tension ou compression sont la cause principale des dégâts. Cela résulte du fait que les plus graves dégâts ne se produisent pas à l'endroit de l'affaissement maximum, mais plutôt aux points d'inflexion de la courbe de la cuvette. Les bâtiments sont affectés différemment suivant leurs dimensions, leurs formes et leur orientation par rapport aux fronts de taille. En ce qui concerne les déformations elles-mêmes, l'expérience prouve que les dégâts notables (fissures des plafonnages intérieurs, des appuis de portes et de fenêtres, etc.) se produisent quand la tension dépasse 0,4 mm/m et la compression

moyen n'est pas infallible. Il faut considérer le rapport de la largeur du chantier au rayon de la zone d'influence. A 200 m de profondeur, un chantier de 350 m de largeur donnerait lieu à la formation d'une cuvette finale dont la partie centrale présenterait un fond plat de 70 m de largeur et un bâtiment situé dans cette zone descendrait verticalement. Mais, il faut tenir compte des étapes intermédiaires et des tensions itinérantes auxquelles succèdent des compressions. Un bâtiment placé au centre du panneau serait très défavorablement influencé, puisque c'est précisément au centre que les mouvements ont la plus grande amplitude. Le même chantier à 800 m de profondeur pourrait n'avoir que des effets très faibles sur le même bâtiment, parce qu'il ne constituerait qu'une aire partielle. A petite profondeur il ne suffit pas de passer sous le bâtiment avec un large front, ni de disposer le périmètre du chantier de telle manière que le bâtiment soit au point neutre parce que la position de ce point est trop incertaine.

Pratiquement, le problème consiste à limiter les tensions de toutes sortes, momentanées ou défini-

tives, à un taux suffisamment faible dans la région où se trouve le bâtiment à protéger. Un exemple montrera comment on peut trouver une solution.

La figure 9 montre un bâtiment de 90 m de longueur sur 72 m de largeur à un étage, avec fondations en béton armé d'un grillage de barres d'acier : il avait de larges baies vitrées et de longs corridors pavés de sorte qu'il était particulièrement vulnérable aux contraintes horizontales.

La veine située à 210 m de profondeur avait 0,93 m d'ouverture et deux autres couches avaient déjà été exploitées complètement, l'une à 270 m, l'autre à 480 m et une troisième partiellement à 500 m. L'aménagement général était terminé et les fronts de taille arrivés à 135 m de distance du bâtiment au N.E. On ne pouvait rien changer ni

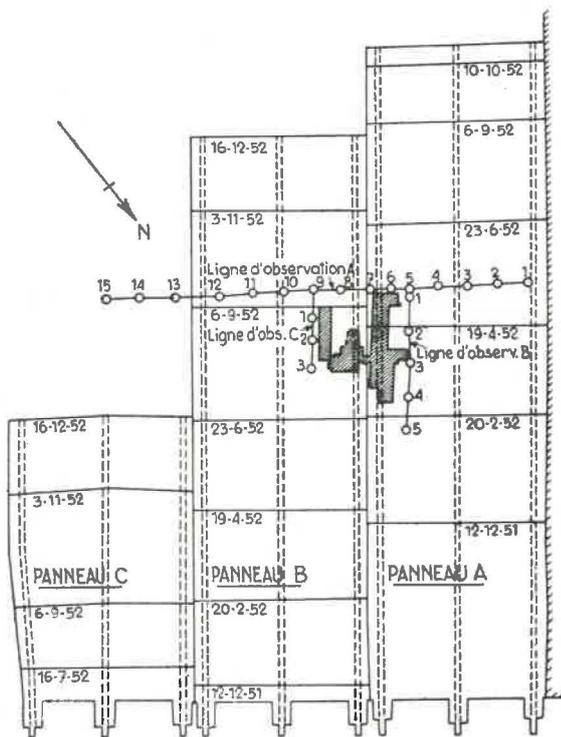


Fig. 9. — Base d'observations et situation d'un bâtiment par rapport aux chantiers combinés pour préserver le bâtiment.

aux tailles ni à la direction de l'avancement. Le problème était de savoir comment on prendrait les panneaux A et B. On abandonna l'idée de les prendre de conserve, parce que la longueur totale du front aurait eu 270 m, c'est-à-dire à peu près le diamètre de la zone d'influence, et que les tensions itinérantes auraient été dangereuses.

Si l'on pousse en avant le seul panneau A, les plus grandes tensions se feront sentir dans la direction SE-NO, avec dommages possibles pour le bâtiment. On a donc décidé de pousser les deux panneaux A et B en décalage, B suivant A à 150 m en arrière. De cette façon, on espérait étirer la cuvette d'affaissement et réduire les tensions horizontales. En effet, une certaine tension accompagnera d'abord le panneau A, puis se transformera en compression ; ces tensions ne seront

que le tiers du maximum correspondant à l'attaque de front A + B. Le front B développera aussi d'abord des tensions qui, à la distance calculée de 150 m, viendront se superposer à la compression due au panneau A et la compenser.

On espérait aussi que la tension, inévitable lorsque le panneau A passera sous le bâtiment et au-delà de celui-ci, n'aurait pas le temps d'agir avant que l'influence du panneau B n'intervienne. On a fait des calculs des mouvements présumés pour déterminer la valeur correcte du décalage et on a tracé des bases d'observation pour vérifier comment les prévisions se réaliseraient.

Les travaux ont été poussés comme il est renseigné au plan. Pour plus de sûreté, le remblai a été renforcé jusqu'à 80 %, à partir du moment où les fronts étaient à 108 m du bâtiment.

De légères fissures ont apparu dans la longue aile ouest lorsque le front A a atteint le coin nord du bâtiment et, à mesure de l'avancement, plusieurs fissures de l'espèce ont apparu dans les murs extérieurs à différents endroits. Les observations ont démontré que ces dégâts étaient dus à la tension voyageant avec le front A. Lorsque celui-ci eut dépassé le bâtiment, le mur sud derrière la base A fut lézardé juste au-dessus de la paroi en ferme, et encore une fois les mesurages ont démontré que ce phénomène était le résultat de la tension développée parallèlement à la ligne d'observations.

Quand le panneau B a passé le bâtiment, les lézards existants se sont d'abord ouverts légèrement et des signes de compression ont été observés dans l'aile sud-est quand le chantier a passé en-dessous. Vers ce même temps, un trottoir en carreaux partant du bâtiment vers le N.E. (point 3 de la base B) a montré des effets de compression bien nets et certains carreaux ont été relevés de 7 cm. Ceci s'est passé au centre du panneau A. Un des murs Nord extérieurs a montré aussi des signes de compression. A l'extrémité Nord de l'aile ouest, une salle de 80 m sur 36, avec plancher en

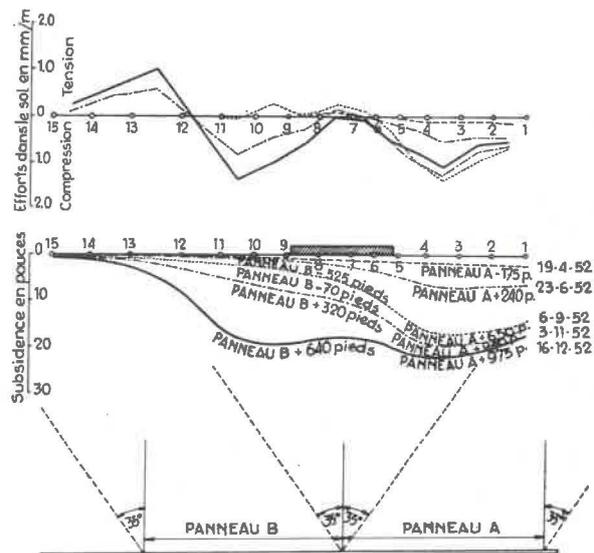


Fig. 10. — Affaissement final, tensions et compressions, suivant la base A,

parquet, n'avait aucune apparence de mouvement. Après le mois d'octobre 1952, on n'a plus constaté de nouveaux dégâts. Ainsi, une couche de 0,95 m à 1 m a été exploitée sous le bâtiment en produisant un affaissement de 0,60 m avec très peu de dégâts.

La figure 10 montre les mouvements mesurés le long de la base A. Le premier panneau a commencé à agir alors qu'il était à 133 m de distance. Lorsqu'il a dépassé la base d'observation, l'affaissement a pris une allure accélérée et des tensions ont apparu au droit et au-delà du ferme. Mais le panneau B n'a pas tardé à intervenir et les effets maximums de tension sont ceux du levé du 6 septembre 1952. Par après, la forte compression du panneau B a fait disparaître toute tension et créé une zone de compression. C'est aussi le 6 septembre qu'on a relevé la plus forte compression du panneau A, et après elle a été légèrement compensée par les tensions du panneau B dans la direction N.O.

Le montant total de l'affaissement a été affecté par le remblai serré le long des voies du panneau A à gauche et du panneau B à droite. En plus, un total de 54 m a été remblayé de part et d'autre de la ligne commune. Ceci a eu pour effet de réduire l'affaissement de la partie centrale et, dans une

certaine mesure aussi, la compression. A part ce détail, les mesurages ont donné assez exactement les résultats escomptés.

Les observations des bases B et C sont également révélatrices. En B, on a constaté une tension en avant du front A avec un maximum un peu en arrière. A cette tension aurait sans aucun doute succédé une compression, si la tension en avant du front B n'était venue la contre-balancer. De plus, le fond de la cuvette est devenu si plat après cette compensation que les mouvements horizontaux ont été négligeables.

Sur la ligne C, l'influence du panneau B est évidemment prépondérante et la compensation de ses effets de tension par la compression due à A n'a été que partielle. La courbure de la cuvette est plus accusée que le long de la ligne B. C'est évidemment la forte compression au-dessus du panneau B qui a causé les dégâts constatés à l'aile Est. En conclusion, on peut affirmer que, si A et B avaient avancé de conserve, le maximum d'affaissement aurait coïncidé avec la ligne médiane, il serait apparu beaucoup plus tôt qu'on ne l'a constaté sur la ligne C et les dégâts auraient été beaucoup plus forts.