

# Dommmages aux constructions

## Etude théorique des influences étrangères à l'action minière et leurs effets présumés

par J. VAN HAM,

Ingénieur Civil des Mines,  
Répétiteur Emérite de l'Université de Liège.

### SAMENVATTING

De ondergrondse werken doen hun invloed gelden op de bovengrond gedurende een gemiddelde periode van tien jaren. De grondbewegingen zetten zich voort in de richting van de oppervlakte volgens bepaalde regels, die men heeft afgeleid uit de onderzinking zowel als uit de logica. Ook de tektoniek en de aard van de ondergrond zijn hierbij van belang.

Sommige beschadigingen van gebouwen houden geen verband met de mijnontginning, doch met geologische omstandigheden, slechte funderingen, zakking van het metselwerk, gebreken in de constructie, slecht handwerk, ouderdom, gebruik, gebrek aan onderhoud, drukkingen, vervloeiën van de bodem, schommelingen van het waterpeil, trillingen, naburige explosies, enz.

Van sommige verschijnselen kan men de oorzaak bepalen. De omstandigheden van tijd en plaats en het belang van de schade houden dikwijls aanwijzingen in bij het opzoeken van de oorzaak.

Wanneer er meerdere oorzaken blijken te bestaan, moet dikwijls het aandeel van de mijnschade worden bepaald. In dit geval bestaat er geen vaste regel. Wanneer mijnschade van verschillende zijden is opgetreden, kunnen wel sommige regels worden toegepast.

### INHALTSANGABE

Bergmännische Arbeiten wirken sich im Durchschnitt etwa 10 Jahre lang auf die Erdoberfläche aus. Diese Einwirkung erfolgt allmählich aufgrund bestimmter Regeln, die man aus der Erfahrung und theoretischen Ueberlegungen ableiten kann. Die Tektonik und die Natur des Gebirges können Abweichungen von diesen Regeln verursachen.

Schäden an Gebäuden treten auch aus Gründen auf, die mit dem Bergbau nichts zu tun haben: Geologische Verhältnisse, fehlerhafte Fundamentierung, Sacken des Mauerwerks, Konstruktionsfehler.

### RESUME

Les travaux miniers influencent la surface du sol pendant dix années en moyenne. L'influence se transmet de proche en proche suivant certaines règles déduites de l'expérience et du raisonnement. Elles peuvent être modifiées par la tectonique et la nature du sous-sol.

Il existe des causes de dégradations aux immeubles étrangères à l'action minière: circonstances géologiques, défauts d'assise, tassement des maçonneries, vices de construction, malfaçons, vétusté, usage, manque d'entretien, poussées, solifluxion, oscillations de la nappe aquifère, trépidations, explosions extérieures, etc.

On peut déterminer la cause de certaines dégradations constatées. Les circonstances de temps et de lieu et l'importance des dégradations constituent des critères d'appréciation dans la recherche des causes.

Quand plusieurs causes interviennent, il faut souvent rechercher la part des influences minières. Il n'y a pas de règle à ce sujet. Quand plusieurs influences minières sont en jeu, certaines règles sont appliquées.

### SUMMARY

Underground working can affect the ground surface for about ten years on an average. The influence extends by degrees in accordance with certain rules deduced from experience and reasoning. They may be modified by tectonics and the nature of the sub-surface.

Some damage to buildings is due to other causes than mining action: geological circumstances, defective foundations, subsidence of masonry, faulty

Alter, Verschleiss, unzulängliche Wartung, Stösse, Fliessbewegungen im Boden, Schwankungen des Grundwasserspiegels, Erschütterungen, Explosionen usw.

Der Grund festgestellter Schäden lässt sich bestimmen, wobei die zeitlichen und örtlichen Verhältnisse sowie das Ausmass der Schäden wesentliche Merkmale sind, auf die man sich zu stützen hat.

Haben gleichzeitig mehrere Gründe mitgewirkt, so kommt es oft darauf an, den Anteil zu bestimmen, der auf bergmännische Arbeiten zurückzuführen ist. Hierfür gibt es keine Regel. Wirken dagegen verschiedene Einflüsse bergmännischer Art zusammen, so kann man gewisse Regeln anwenden.

construction, bad workmanship, age, wear and tear, lack of maintenance, thrusts, solifluction, oscillations of the underground water level, trepidations, external explosions, etc.

The cause of certain established damage may be determined. The circumstances of time and place and the extent of the damage constitute the criteria of assessment in determining the causes.

When several causes are responsible, it is often necessary to decide to what extent mining influences are responsible. There are no set rules on this subject. When several mining influences are involved, certain rules can be applied.

## AVANT-PROPOS

En 1950, Inichar a publié à tirage réduit l'étude ci-après. Elle a été adressée aux charbonnages belges, aux spécialistes belges en matière de dommages miniers, avocats, architectes, experts habituellement désignés par les tribunaux, etc.

Il s'agit d'un extrait d'un rapport d'expertise établi par M. J. VAN HAM, Ingénieur Civil des Mines, Répétiteur à l'Université de Liège, comme suite à une mission qui lui avait été confiée par le Tribunal. Il devait « faire la discrimination entre les dégradations minières et celles qui ne le sont pas ».

La réserve de ce document est épuisée et, comme il est encore fréquemment demandé, Inichar a jugé opportun de le publier dans les « Annales des Mines de Belgique ».

A part la suppression des noms propres, nous donnons ce texte dans sa forme originelle.

## I. EXPOSE SOMMAIRE DES MANIFESTATIONS DES INFLUENCES MINIERES

La période moyenne pendant laquelle se produisent, à la surface du sol, les affaissements consécutifs au déhouillement, comprend la dizaine d'années qui suivent la date d'exploitation.

Pour savoir si un chantier a pu, théoriquement, agir sur un immeuble déterminé, il est nécessaire d'utiliser certaines règles, bien connues de tous les spécialistes en la matière, qui permettent de définir l'aire de la surface du sol où se manifestent les affaissements consécutifs au tassement du toit des couches exploitées.

Ces règles ont été établies par des considérations théoriques, relatives au mode de rupture des bancs de roches surmontant le vide créé par l'exploitation, et par de nombreuses expériences ayant pour objet de suivre et de mesurer les affaissements du sol superficiel consécutivement à des déhouillements connus.

De par la manière dont elles ont été établies, ces règles sont l'expression moyenne des phénomènes

étudiés et servent toujours à ce titre pour définir, avec une certaine approximation et d'une façon purement théorique et hypothétique, la région de la surface du sol qui est sous l'influence d'une exploitation donnée.

Les règles les plus communément adoptées en la matière dans le Bassin houiller liégeois sont connues sous le nom de règles de Thiriart. Elles ont été éditées par leur auteur dans les « Annales des Mines de Belgique » (1912) et définissent l'inclinaison des cassures qui, partant des limites d'un chantier, se propagent dans le sous-sol jusqu'à la surface; l'inclinaison de ces cassures dépend de l'inclinaison de la couche exploitée et de la position, par rapport à la pente de la couche, de la limite que l'on considère dans le chantier (limite aval, amont ou latérale); la connaissance de l'inclinaison de ces cassures et de la profondeur du chantier étudié permet ainsi, par une simple opération géométrique, de déterminer les positions des lignes suivant lesquelles ces cassures affleurent à la surface du sol; ces lignes

d'affleurement constituent le périmètre de la région de la surface qui est sous l'influence de l'exploitation et où se produisent les affaissements dommageables pour les constructions.

Les affaissements de la surface du sol, consécutifs au tassement du toit des couches exploitées, ont pour résultat de produire des cuvettes dont le pourtour est constitué par les lignes d'affleurement des cassures provenant des chantiers souterrains et dont il a été question ci-avant.

En réalité, le phénomène de la déformation et de la rupture des roches n'est pas simple. On admet, d'après une théorie établie par M. Hause, que la cassure des roches se passe en deux phases : il se produit d'abord une cassure principale ou primaire qui se propage en faisant, avec la normale à la couche, un angle dont la tangente trigonométrique vaut la moitié de la tangente de l'angle d'inclinaison de la couche sur le plan horizontal. Ces cassures primaires sont ainsi comprises entre les normales à la couche et les verticales passant par les limites aval et amont de l'exploitation ; elles s'identifient avec la verticale lorsqu'elles sont menées par les limites latérales du chantier. Ces cassures primaires sont suivies de cassures secondaires dont l'inclinaison dépend de l'inclinaison de la couche et de l'angle du talus naturel des roches et ce sont ces cassures secondaires qui sont établies par les règles de Thiriart.

Les cuvettes d'affaissement, limitées par les lignes d'affleurement des cassures secondaires, se composent d'un fond et de bords en talus (comme une assiette).

Le fond de cuvette est caractérisé par des affaissements égaux de tous les points de la surface du sol et est compris à l'intérieur d'un périmètre formé par les lignes d'affleurement des cassures primaires ; ce fond de cuvette est donc situé très sensiblement dans l'aplomb de la partie exploitée.

Les bords de cuvette, compris entre les lignes d'affleurement des cassures primaires et celles des cassures secondaires, sont caractérisés par des affaissements inégaux des points de la surface du sol ; nuls au pourtour de la zone d'influence, ces affaissements vont en croissant au fur et à mesure que les points de la surface sont plus rapprochés des lignes d'affleurement des cassures primaires qui constituent le périmètre de la zone à affaissements constants formant le fond de la cuvette. Les bords des cuvettes s'inclinent donc vers les fonds de ces cuvettes, c'est-à-dire vers les chantiers créateurs de ces cuvettes.

Un immeuble qui est situé sur un bord de cuvette, c'est-à-dire qui, tout en étant dans la zone d'influence, ne se trouve pas à peu près dans l'aplomb de l'exploitation, doit en conséquence se déverser vers l'exploitation.

Au contraire, un immeuble situé dans l'aplomb d'une exploitation, c'est-à-dire sur un fond de cuvette, doit descendre régulièrement et se retrouver de

niveau à la fin de la période des affaissements. Ceci n'est cependant vrai que si l'ouverture de la couche exploitée est régulière et sa pente pas trop forte ; au cas où l'ouverture est variable, les affaissements le sont eux-mêmes et le fond de cuvette pourra présenter des inégalités de pente, ce qui produira des déversements locaux à la surface du sol ; si la pente de la couche est relativement forte, il peut se produire des glissements des terrains surincombants avec effet d'inclinaison du fond de cuvette dans le sens de la couche.

Le fait, pour un immeuble, de se trouver à l'intérieur du périmètre d'une zone d'influences minières, c'est-à-dire sur une cuvette d'affaissements, implique l'apparition dans la construction de certaines contraintes créant des déformations et même des ruptures.

Lorsqu'une construction se trouve, momentanément ou en permanence, à cheval sur le bord extrême de la cuvette d'affaissement, cette construction a une partie sur le sol ferme et une partie sur le sol en voie d'affaissement. Elle comporte donc, en quelque sorte, une partie en porte-à-faux ; le poids de la construction qui est ainsi en porte-à-faux produit, dans les sections normales au plan d'assise, des efforts tranchants et des couples de flexion qui sont maxima dans la section séparant la partie appuyée de la partie non appuyée. Cette section est la section dangereuse où se produiront éventuellement les ruptures.

Les maçonneries n'étant pas conditionnées pour résister aux efforts d'extension et résistant d'autre part assez mal aux efforts de cisaillement, si la partie construite sur le sol ferme ne peut pas tourner pour suivre le déversement que tend à prendre la partie construite sur le sol qui s'affaisse, des ruptures se produiront inévitablement.

Ces ruptures se marquent, dans les murs implantés en travers du bord de la cuvette, par des fissures, lézardes ou cassures inclinées avec pied vers la partie restée en ferme : tel est le résultat prévu par l'étude des déformations des maçonneries, confirmé d'ailleurs par l'expérience.

Ainsi donc, la rupture type d'une construction édifiée sur un bord de cuvette d'affaissement consiste dans la production de fissures, lézardes ou cassures ayant leur pied dans la direction opposée à celle de la pente du bord de la cuvette.

Exemple : une construction orientée de telle manière que ses murs regardent les points cardinaux et édifiée sur le bord sud-ouest d'une cuvette d'affaissement, c'est-à-dire sur un bord incliné vers nord-est (le chantier étant au nord-est), tend à se déverser vers le nord-est ; il s'y produira, ou il tendra à s'y produire, dans les murs nord et sud ou dans les murs parallèles, des fissures pied ouest et, dans les murs est et ouest, des fissures pied sud ;



les pieds des fissures dans les murs sont donc opposés au chantier considéré.

Ces ruptures orientées dans les murs ne se produisent d'ailleurs pas toujours: pour qu'elles n'apparaissent pas, il suffit que les contraintes internes, définies plus haut et toujours existantes, n'atteignent pas une valeur suffisante pour produire effectivement ces ruptures.

Avant d'ailleurs que ces ruptures orientées se produisent dans les murs, d'autres lésions apparaissent aux points faibles de la construction.

Ce sont d'abord des fissures dans les plafonds; de légères déformations dans la maçonnerie peuvent exister sans ruptures de cette maçonnerie; ces déformations créent à leur tour des déformations des gitages sous-plafonds, c'est-à-dire des tensions internes dans les enduits de plafonnage, lesquels sont beaucoup plus fragiles que la maçonnerie et se fissurent. La fissuration des enduits des plafonds doit évidemment être en relation avec la nature de la déformation de la construction; cette fissuration étant produite en première analyse par l'affaissement de la partie de construction qui est en porte-à-faux, doit être orientée parallèlement au plan de la section dangereuse, c'est-à-dire parallèlement à la limite de la cuvette d'affaissement.

Exemple: la construction édiflée sur un bord sud-ouest de la cuvette (les travaux miniers étant dès lors au nord-est) aura ses plafonds fissurés dans la direction nord-ouest/sud-est.

Après que se sont produites les premières fissures dans les plafonds et avant que n'apparaissent les lésions orientées dans les murs, des disjonctions apparaissent aux raccords des différents murs et surtout aux raccords des cloisons avec les murs, parce que ces raccords sont des régions de la construction où, par suite de la modification brusque de forme, les contraintes internes se localisent d'abord: on dit que ces raccords constituent des points faibles de la construction et cette expression a d'autant plus de valeur que c'est souvent à ces endroits que la liaison des matériaux est le plus mal réalisée.

Si la position la plus dangereuse d'un immeuble par rapport à une cuvette d'affaissement est celle qui vient d'être étudiée, il ne faut cependant pas penser qu'une maison qui se trouve sur un fond de cuvette ne doit pas se dégrader parce que, à cet endroit, le sol s'affaisse régulièrement.

En réalité, quelle que soit la position d'une construction à l'intérieur du périmètre d'une cuvette d'affaissement, cette construction s'est trouvée, à un moment donné, dans la position dangereuse étudiée plus haut. En effet, avant que le chantier ne se développe, la construction se trouvait sur sol ferme puisqu'il n'y avait pas de cuvette d'affaissement; le chantier ne se développant que progressivement, la cuvette se crée à un moment donné et s'étend

à mesure que l'exploitation prend de l'extension; il arrive donc nécessairement qu'à un moment donné, le bord de la cuvette passe sous l'immeuble, le traverse et continue sa progression de telle manière que l'immeuble se trouve finalement dans le fond de la cuvette.

Cette disposition ne se réalise pas lorsque l'exploitation est commencée précisément dans l'aplomb de l'immeuble et progresse dans tous les sens à partir de ce point (méthode d'exploitation conseillée pour protéger des bâtiments importants à la surface, consistant à exploiter à partir de l'aplomb de ces bâtiments qui sont ainsi rapidement hors d'atteinte des lignes de cassures et peuvent descendre lentement et parallèlement à eux-mêmes).

Lorsqu'une construction passe dans l'aplomb d'un chantier qui n'a pas été commencé sous cette construction, elle se trouve donc momentanément sur le bord de la cuvette de ce chantier et risque de subir les dommages qui ont été décrits dans cette circonstance. Ces dommages peuvent être réduits si le bâtiment n'est pas très long et si l'avancement des travaux est rapide, car on peut admettre alors que toutes ses parties se déplacent ensemble dans le même sens; mais si le bâtiment est long (rue, canalisation) dans la direction de l'avancement des travaux, il doit se déformer parce que la partie en porte-à-faux devient à un moment donné trop longue. Il en résulte nécessairement des arrachements (fissures ou cassures orientées) ou des compressions. C'est un fait bien connu, expliqué par la théorie précédente, que dans une rue les maisons jointives sont plus cassées que les maisons isolées ou que les petits blocs de maisons.

Quoi qu'il en soit, du seul fait que l'immeuble s'est trouvé momentanément sur un bord de cuvette, il a subi les contraintes impliquées par cette position et peut s'être fissuré comme indiqué plus haut, même si, après le passage de la cassure secondaire, il se trouve finalement redressé sur le fond de la cuvette.

Les autres positions que peut occuper une construction sur une cuvette d'affaissement laissent prévoir la production des lésions orientées conformément aux sollicitations impliquées par ces positions.

La construction peut notamment se trouver sur le bord en talus de la cuvette, sans être à cheval sur la lisière de la zone d'influence. Dans cette position, elle doit se trouver tout entière déversée vers le fond de la cuvette, c'est-à-dire vers les travaux d'exploitation; cependant, les bords des cuvettes sont le siège de phénomènes de glissements provoquant des déplacements horizontaux qui augmentent avec l'inclinaison de ces bords de cuvettes. Il en résulte que la construction sera, non seulement mise hors-plomb, mais que sa maçonnerie présentera souvent des fissures et disjonctions; celles-ci, orientées comme dans le cas où l'immeuble est à cheval sur la limite

de la cuvette, seront cependant moins graves que dans ce cas.

La construction peut enfin se trouver partie sur le fond de la cuvette et partie sur le bord en talus. Elle est exposée, dans ce cas, à des efforts internes de compression résultant de la poussée du bord sur le fond provenant du glissement dont le bord de cuvette est le siège.

Les dégradations qui viennent d'être exposées constituent ce qu'on pourrait appeler des dégradations principales ou primaires. Elles ont, par rapport au chantier d'exploitation, une orientation déterminée. Cependant, elles se compliquent souvent de lésions secondaires dont l'orientation n'est pas nécessairement concordante avec celle du chantier souterrain. Ce fait provient de ce que la construction n'est pas un corps simple mais un solide complexe dont les différentes parties agissent les unes sur les autres. Lorsqu'une partie se déforme sous des sollicitations données, elle crée dans les autres parties des efforts dont l'orientation peut différer de celle des sollicitations données.

En voici un exemple simple : la lésion caractéristique d'un mur plein établi en travers de la limite d'une cuvette d'affaissement et ayant donc une partie en ferme et une partie en porte-à-faux, est une cassure dont le pied est opposé à la pente du talus de cuvette, c'est-à-dire opposé à la direction du chantier, ainsi qu'il a été exposé plus haut. Si le mur est percé de nombreuses ouvertures (façade), la lésion caractéristique a d'abord une forme différente : elle n'est plus continue mais se compose de différents tronçons qui traversent les allèges des baies, rompant les linteaux ; ces tronçons s'alternent dans les différentes allèges superposées ; ils ont une inclinaison en relation avec l'orientation de la partie du terrain d'assise qui est en voie d'affaissement, comme dans le cas du mur plein ; si les ruptures se produisent sous cette forme, c'est que la section dangereuse doit, dans le cas actuel, traverser le maximum de vides de manière à être celle qui a la plus faible section.

Cela étant, soit  $ab$  (fig. 1) une fissure se produisant dans une allège, consécutivement à un affaissement vers nord d'une partie du sol d'assise ; cette fissure a pied sud : c'est la lésion primaire.

Le décollement ou la rupture qui se produit le long de  $ab$  laisse maintenant en porte-à-faux la partie  $abcd$  de l'allège considérée ; si le poids propre est suffisant pour produire une rupture de cette partie  $abcd$ , cette rupture se produira suivant la ligne  $df$ , qui a pied nord et constitue une lésion secon-

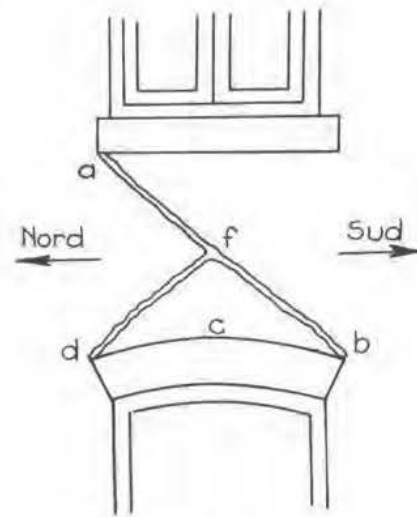


Fig. 1.

daire dont l'orientation n'est pas *directement* compatible avec la sollicitation primaire : affaissement du sol vers nord.

Il faut encore définir les relations chronologiques qui doivent exister entre les travaux souterrains et les dégradations consécutives.

L'expérience a montré que, dans les gisements en veines minces exploitées à une profondeur de 500 à 400 m, il faut de six mois à un an pour que les effets de l'exploitation soient perceptibles à la surface.

Dès la fin de cette première période, dont la durée dépend du temps qu'il a fallu pour que l'ébranlement consécutif à la rupture du toit des couches se soit transmis de proche en proche, apparaissent à la surface des affaissements qui vont en croissant pendant tout le temps que les chantiers se développent en étendue ; la durée de ces affaissements croissants est le plus souvent de deux ou trois ans, parfois davantage.

Quand les travaux sont arrêtés ou très éloignés, les affaissements commencent à ralentir mais continuent néanmoins à se produire pendant encore quelques années ; la durée de cette troisième période, dite d'amortissement, dépend de la profondeur des chantiers et de la nature des roches ; plus le massif ébranlé est considérable et plus il faut de temps pour qu'il reprenne un état d'équilibre stable.

En moyenne dans notre bassin houiller, la période des effets sensibles, celle à laquelle on attribue la plupart des dégâts aux immeubles, a une durée de deux à trois ans, tandis que la durée totale de l'influence est généralement estimée à une dizaine d'années. Ces chiffres n'ont cependant rien d'absolu.

## 2. EXPOSE SOMMAIRE DES MANIPULATIONS DES INFLUENCES ETRANGERES A L'ACTION MINIERE

Les influences étrangères à l'action minière et qui sont de nature à produire des lésions dans une construction sont nombreuses et variées.

Il faudrait donner un véritable cours des lésions dans la construction pour les étudier toutes.

Un exposé sommaire s'impose qui permette de dégager les éléments qui serviront de base au départage entre les dégradations d'origine minière et celles qui ne le sont pas.

### 21. DEF AUT D'ASSISE

Le défaut d'assise est l'insuffisance du sol de fondation à résister au poids de la construction. Lorsque le sol de fondation est dans ce cas, il se produit des phénomènes d'abaissement du plan de pose, résultant de l'écrasement du sol porteur.

Les lésions compatibles avec l'abaissement du plan de pose sont assez semblables à celles qui ont été étudiées dans le cas d'un affaissement du sol d'assise consécutif à l'exploitation souterraine, car le mouvement du sol d'assise est de même nature puisqu'il tend à descendre.

Cependant ces lésions sont plus localisées ; dans les murs à fondations continues et sans ouvertures, elles affectent la forme de fissures paraboliques ; dans les murs percés de nombreuses baies, elles se manifestent à nouveau par des ruptures de linteaux et de seuils et par des fissures obliques dans les allèges des baies. Les critères de différenciation entre ces lésions et celles dues à l'action minière sont assez nombreux.

Tout d'abord, s'il n'y a pas concordance d'orientation avec la position des chantiers d'exploitation ou si la dégradation ne peut pas apparaître comme une lésion secondaire due à la production de lésions convenablement orientées par rapport aux travaux miniers, l'hypothèse de l'action minière peut être a priori écartée.

Dans le cas contraire, l'étude de la construction et de son sol d'assise permettra toujours d'établir si le poids de la construction impose ou non au terrain de fondation des charges unitaires excédant sa limite d'écrasement.

Enfin, dans la majorité des cas, le point de vue chronologique pourra servir à opérer le départage : si les lésions sont apparues avant l'exploitation souterraine, elles ne peuvent pas être imputées à cette dernière ; l'apparition des lésions dues à un tassement du sol de fondation se produit en général peu de temps après la mise en charge, c'est-à-dire après la date de construction ; cependant cette loi n'est pas générale, car le tassement des constructions importantes édifiées sur un sol qui comprend des cou-

ches cohérentes compressibles (argiles) peut ne survenir qu'après un certain nombre d'années et se poursuivre très longtemps (un exemple est fourni par l'immeuble des Postes à Bregenz, Autriche, construit sur un sous-sol constitué de 7 m de sables et remblais surmontant 15 m d'argile ; l'immeuble, dont les tassements font l'objet d'observations continues, n'a pas cessé de descendre ; en 56 ans, le tassement était de 90 cm).

### 22. TASSEMENT DES MAÇONNERIES

Le tassement des maçonneries provient surtout du tassement des mortiers.

Les lésions en relation avec cette cause consistent surtout en disjonctions des murs, déplacements des sièges d'encastrement des poutres, verres et gîtages, désassemblages des voussettes, fendillements et arrachements de l'enduit des plafonds, etc. Ces désordres apparaissent immédiatement après la construction, même dans les bâtiments les mieux construits ; le soin apporté à l'élévation de la maçonnerie peut les réduire dans de notables proportions, au point que les fissures ne sont le plus souvent que capillaires ; elles sont souvent plus sensibles dans les constructions ayant subi des réflexions ou des transformations et s'y manifestent sous forme de disjonctions entre les maçonneries d'âge différent, dues à la variation de volume du mortier au fur et à mesure de sa dessiccation, à l'épaisseur relativement forte des joints de la maçonnerie et souvent à l'encastrement défectueux de la nouvelle maçonnerie dans l'ancienne.

Lorsque de telles lésions ont été aveuglées au mortier de ciment (en milieu humide) ou au plâtre (en milieu sec), elles ne s'aggravent plus d'elles-mêmes.

La forme et l'âge de ces lésions, joints à la connaissance des vicissitudes de la construction, permettent le plus souvent de les déceler et de les distinguer des lésions d'origine minière.

### 23. VIC ES DE CONSTRUCTION OU MALFAÇONS

On groupe sous ce titre toutes les dispositions défectueuses dans l'utilisation ou l'agencement des matériaux mis en œuvre dans une construction, dispositions défectueuses capables de produire certains désordres.

Les désordres liés aux vices de construction se manifestent sans ambiguïté par leur localisation et sont aisément repérables.

Les causes de ces désordres étant très variées, il n'est pas possible de donner une règle générale permettant de les déceler.



Il n'est pas davantage possible de préciser entre la cause et les effets, des relations d'ordre chronologique parce que certains vices de construction sont de nature à produire des dégâts sans cesse renouvelés.

Seule, la connaissance complète des lois de la construction permet de découvrir les dégâts causés par les vices de construction, comme elle permet au constructeur de les éviter ou de les réduire.

Il est cependant possible de signaler les dispositions défectueuses qui se rencontrent le plus souvent et de décrire les lésions typiques qu'elles produisent. En voici quelques-unes :

a) Manque de rigidité des gîtages sous plafonds : la marche sur les planchers supportés par ces gîtages y produit des vibrations qui créent des fissures dans les enduits de plafonnage ; ces fissures ont la direction parallèle aux gîtages et le réseau se complète d'un réseau perpendiculaire ; elles se produisent du seul fait de la mise en charge et sont donc indépendantes du temps. Dans les cas les plus graves (section insuffisante des solives), les planchers et plafonds fléchissent et il se produit un abaissement de la région centrale ; dans les enduits de plafonnage, les fissures rayonnent alors souvent à partir du centre.

Dans les plafonds les mieux conditionnés, il se présente toujours de fines fissures, même en dehors de concession minière.

b) Fondation irrégulière, comprenant différents plans d'assise en gradins. C'est le cas des constructions qui, n'ayant de caves que sous une partie de leur élévation, ont leurs fondations établies à des profondeurs différentes. Cette disposition, par la mise en charge qu'elle impose au terrain dont la résistance n'est pas la même à différentes profondeurs, a souvent pour effet de produire des cassures verticales à l'aplomb du gradin de fondation ; ces lésions surviennent immédiatement après la construction.

c) Fondation pas assez profonde, dont la base n'est pas à l'abri des alternatives de gel et dégel produisant des gonflements du sol d'assise suivis, lors du dégel, d'un tassement de ce sol. Les dégradations résultantes sont de même type que celles qui proviennent de l'affaissement du plan de fondation ; elles sont chroniques et subissent des alternatives d'accentuation et de réduction, simultanées avec celles du déplacement du sol superficiel.

d) Disposition défectueuse de linteaux, soit qu'ils aient une section insuffisante ou qu'ils soient trop chargés, ce qui les fait fléchir et peut entraîner la production de fissures paraboliques (fissures en chapelles) dans la maçonnerie surincombante, soit qu'ils soient mal posés, par exemple trop près d'un parement et sur une surface insuffisante, ce qui produit des écrasements locaux et des fissures dans les piédroits.

e) Emploi de pierres de taille de second choix, gélives ou posées en délit.

f) Usage d'enduits de plafonnage qui se retirent en séchant et où apparaissent des craquelures finement sinueuses et locales.

g) Conditionnement défectueux des blochets où sont fixées les huisseries, favorisant les descellements de ces blochets et produisant par suite un mauvais fonctionnement de la menuiserie mouvante.

Etc. etc...

## 24. VETUSTE

C'est un ensemble de causes qui évoluent en aggravant leurs effets avec le temps.

Dans les maçonneries, les dégradations dues à la vétusté consistent en lésions d'écrasement, le mortier se désagrègeant et devenant pulvérulent sous l'effet de réactions chimiques entre ses constituants, réactions facilitées par l'action de l'humidité. Les lésions d'écrasement de la maçonnerie sont toujours décelées par le son creux que rend cette maçonnerie à la percussion et par la pulvéulence du mortier qui s'effrite entre les doigts. En cas d'écrasement prononcé, on observe un gonflement des parois murales, la production de fissures éparses, nombreuses, sinuées, suivant surtout les joints de la maçonnerie ; ces dégradations sont toujours précédées de ruptures dans les parties faibles : plates-bandes, linteaux, voûtes, etc.

Les symptômes des lésions d'écrasement sont tellement caractéristiques qu'il est impossible de confondre ces lésions avec des lésions d'affaissement.

Les lésions de vétusté sont souvent précoces dans les murs exposés à l'humidité.

## 25. USAGE NORMAL OU ANORMAL MANQUE D'ENTRETIEN

Ces causes produisent éventuellement des lésions locales, donc facilement différenciables des lésions minières, au même titre que les lésions dues à des vices de construction.

On peut également en citer un grand nombre. Parmi celles qui se rencontrent le plus fréquemment, il faut signaler :

a) Les nettoyages abondants à l'eau des pavements et le brossage énergique de ceux-ci ; il en résulte qu'à la longue, les joints entre les éléments des carrelages se vident de leur remplissage de ciment, lequel s'est petit à petit altéré ; les eaux de lavage pénètrent par ces joints, circulent dans l'assise de sable ou de cendrées sous-jacentes, provoquent des modifications dans la répartition des grains de cette assise et finalement des descellements locaux, puis des ruptures locales d'éléments qui ne sont plus uniformément supportés.

b) L'usage anormal qui est parfois fait d'un pavement pour y découper du bois est la cause également de ruptures locales d'éléments.

c) Le manque de précaution dans la manipulation des ouvrants de portes produit des vibrations nuisibles à la stabilité des blochets et est souvent une cause de mauvais fonctionnement des menuiseries, sinon de dégradations dans les cloisons, lesquelles se trouvent parfois fissurées de ce chef.

d) Le manque d'entretien des peintures de menuiserie exposées aux pluies (fenêtres notamment) accélère la production des dislocations aux assemblages des ouvrants, c'est-à-dire le mauvais fonctionnement de ces ouvrants : il s'agit ici d'une dégradation de vétusté créée par le manque d'entretien.

Etc. etc...

## 26. POUSSEES

Une construction peut subir des poussées internes provenant d'un défaut de construction : fermes sans tirant ou avec tirant de section insuffisante, arcs ou voûtes dont les poussées à la clef ne sont pas équilibrées, toitures à deux versants susceptibles de se déformer par suite du manque de rigidité des vermes, etc.

Les poussées sur une partie de construction peuvent être dues à des causes extérieures : c'est le cas des murs de soutènement notamment.

Les poussées produisent des rotations et donc des dévers des murs qui leur sont soumis ; ces déviations se produisent avec plus d'amplitude au sommet du mur déversé et suivant une quantité presque nulle à sa base, c'est-à-dire près de son axe de rotation. Les lésions consécutives consistent en détachements des parois du mur déversé avec les dallages ou planchers intérieurs ; en arrachement aux encastremens du mur déversé et des murs encastres perpendiculairement avec lui, et en fissures dans ces derniers ; les fissures qui se produisent dans les murs encastres perpendiculairement à celui qui reçoit la poussée ont une orientation bien déterminée : leur pied se trouve à la base du mur déversé (au centre de rotation), et ces fissures s'écartent du mur déversé en s'élevant ; elles ne se manifestent d'ailleurs que quand le mur déversé fait complètement corps avec les murs perpendiculaires qui s'y encastrent, c'est-à-dire quand les liaisons des murs sont bien faites et quand le mortier est d'excellente qualité. Les lésions dues à des poussées sont donc bien caractéristiques ; dans les constructions courantes, elles ne peuvent d'ailleurs provenir en général que de la toiture et on doit alors pouvoir reconnaître l'existence de la poussée au fait que les façades sont toutes deux en surplomb.

## 27. GLISSEMENT NATUREL DU PLAN DE POSE : SOLIFLUXION

Le glissement du plan de pose peut se produire lorsqu'il existe, à une certaine profondeur, un plan lubrifié même très peu incliné (plan de glissement constitué, par exemple, par une couche d'argile humide).

Les phénomènes de glissement naturel sont suffisamment connus pour qu'on puisse se dispenser d'en démontrer l'existence. Le plus souvent ces phénomènes se produisent dans les terrains argileux et aquifères, situés à flanc de coteau, et même sur les plateaux à très faible pente.

Ils sont produits surtout par les alternatives de gel et dégel ; lors des gelées, le terrain gonfle et se fendille ; les soulèvements se produisent perpendiculairement au profil du terrain ; lors des pluies ou de la fonte des neiges, les eaux pénètrent dans les fentes créées par le gonflement dû à la gelée, et il se produit des ravines ; en été, le sol superficiel s'assèche jusqu'à une certaine profondeur ; la couche supérieure, sèche et fendillée, se comprime sous le poids des bâtiments ; sa cohésion augmente et son volume diminue, ce qui fait que le bâtiment descend ; mais il descend verticalement alors qu'il a été soulevé perpendiculairement au profil du sol ; le résultat est donc un faible glissement, qui s'exagère lorsque la compression de la couche supérieure s'exerce contre un plan lubrifié et incliné, même faiblement.

Les lésions dues à un glissement naturel sont évidemment de même forme que celles que l'on rencontre dans le glissement artificiel qui se produit sur les bords en talus des cuvettes d'affaissement produites par l'action minière.

Elles se distinguent de ces dernières par le fait qu'elles se produisent souvent beaucoup plus lentement ; leur âge et leur évolution sont évidemment en relation avec la nature de la cause créatrice.

## 28. OSCILLATIONS DE LA NAPPE AQUIFERE

La circulation de l'eau dans la nappe aquifère et les mouvements oscillatoires de la surface libre de cette nappe peuvent causer aux constructions des dommages ayant la même forme que ceux qui sont produits par l'affaissement du plan de pose.

On peut les distinguer de ces derniers par la considération des concordances spatiales et chronologiques entre les lésions et la cause.

Un abaissement du niveau de la nappe produit des affaissements à certaines régions, dont l'étendue n'a aucun rapport avec celle des cuvettes d'affaissement minier par exemple.



## 29. PHENOMENES OSCILLATOIRES

### Trépidations.

La circulation, sur la voirie, de véhicules lourds et rapide est de nature à produire dans les constructions riveraines certains désordres. Sur les revêtements discontinus des voiries urbaines, les véhicules produisent des effets dynamiques qui se propagent dans le sol en ondes d'ébranlement constituant de minuscules séismes.

On a constaté que les véhicules hippomobiles lents, de poids moyen, à bandages métalliques, causent les mêmes trépidations que les camions automobiles les plus lourds, à bons bandages élastiques, roulant à 50 km à l'heure. Les trépidations causées par les véhicules lourds (trolleybus) à bandages pneumatiques, à 45 km à l'heure, sont sensiblement inférieures aux précédentes.

L'accélération ou vitesse de propagation des ondes qui, en séismologie, mesure la puissance destructive d'une secousse à laquelle un bâtiment est appelé à résister, « est assez comparable à celle d'un tremblement de terre, assez destructeur, mais les effets » sont considérablement moins accusés, à cause de « l'étendue très limitée de leur action et de la décroissance rapide des trépidations à partir de l'épicentre, correspondant à la faible énergie mise en jeu. Ces trépidations peuvent cependant être très désagréables et même causer des dégradations appréciables, quoique nullement comparables à celles des tremblements de terre » (F. Campus, Les Effets Dynamiques de la Circulation Routière sur les Immeubles ; Rapport présenté au 3<sup>e</sup> Congrès Belge de la Route, 1955).

Pour étudier la nocivité des ondes de trépidation, on les décompose en deux rectangulaires, horizontale et verticale.

Les expérimentateurs ne sont pas encore d'accord au sujet de la nocivité relative des composantes horizontales et verticales, pas davantage qu'au sujet de la zone de transmission.

Les lésions constatées dans les bâtiments, sous l'effet des trépidations, consistent en fissures, tassements et écrasements des matériaux, provenant soit de la désagrégation des mortiers, soit des tassements dans un sol inégalement résistant ; ces phénomènes entraînent une fissuration assez particulière des plafonds, ayant des directions variées et comportant des éclatements d'enduits ; ils entraînent encore des dénivellations de planchers, des coincements des portes et fenêtres dans les dormants, des fuites dans les réservoirs, dans les cheminées, etc.

Pratiquement, les souffrances des bâtiments dues à ces causes commencent avec la dislocation des diverses parties de leur construction, c'est-à-dire avec l'affaiblissement de leur stabilité ; ceci est surtout le cas pour les anciens immeubles déjà affectés de vétusté.

D'autre part, il n'y a pas de doute, l'observation des vibrations dans les constructions est très difficile et aucun mode opératoire systématique n'a encore été défini avec précision : nature des appareils de mesure, manière de les disposer, etc. Enfin, on n'a pas encore fixé une unité permettant la création d'une échelle des intensités de trépidations.

Dans la définition des dégradations, l'élément subjectif est inévitable et il ne fait pas de doute qu'on soit actuellement porté à l'exagération lorsqu'on étudie la nocivité des trépidations ; on a en effet souvent l'impression qu'il s'agit de trépidations quand ce sont en réalité de simples bruits se transmettant par l'air.

Les expériences ont prouvé que, dans des immeubles bien construits, les trépidations dues au passage des véhicules ne produisent pas de dommage appréciable : les amplitudes des vibrations transmises aux planchers sont moindres que celles qui sont produites par la marche rapide d'un homme.

Dans l'étude déjà citée, le Professeur F. Campus conclut : « En réalité il est peu probable que les trépidations dues à la circulation aient jamais pu entraîner la ruine complète d'un immeuble suffisamment stable par lui-même. Des fissures de murs, cloisons et dallages, des chutes de crépit, carrelage et plafonnage, des dérangements de menuiseries, canalisations, etc., peuvent être éventuellement occasionnés par les trépidations sans que celles-ci en soient généralement les seules causes, mais le plus souvent ont contribué à ces effets avec des causes extrinsèques ».

Les vibrations dues à la circulation ne sont d'ailleurs pas les seules qui doivent être prises en considération. A ce sujet, il y a lieu de faire remarquer que les trépidations dues aux machines fixes et surtout les machines à piston, sont plus dangereuses pour la stabilité des constructions que les précédentes car elles sont entretenues.

### Explosions d'engins de guerre.

Les lésions imputables aux explosions d'engins de guerre sont le résultat de la propagation d'un mouvement ondulatoire.

Ce mouvement ondulatoire peut être de deux espèces différentes, suivant que l'explosion s'est produite à une certaine profondeur dans le sol (torpilles aériennes) ou au contraire au niveau du sol ou au-dessus (bombes volantes, mines) dans le premier cas, l'onde se propage surtout dans le sol ; dans le second cas, elle se propage surtout dans l'air.

La propagation dans le sol produit des effets semblables à ceux que l'on observe dans les zones concentriques à l'épicentre d'un phénomène sismique ; la gravité de ces effets dépend évidemment de la distance de l'édifice atteint au centre de l'explosion,

ainsi que de la violence de cette dernière. Les parois murales regardant le centre d'ébranlement sont les plus éprouvées ; au maximum, ces parois se détachent des parois transversales et se renversent en dehors, en découvrant ainsi l'intérieur du bâtiment ; dans les parois transversales, c'est-à-dire parallèles à la direction de propagation de l'onde, il se produit des lésions (fissures) inclinées dans le sens de la poussée. En outre, la secousse ondulatoire a pour effet d'ébranler les poutres jusqu'à les faire sortir de leur siège, surtout si elles sont faiblement encastrées, et élargit les lésions existantes dans la direction des ondulations.

Le mouvement ondulatoire exerce plus de dégâts aux étages supérieurs et moins aux étages inférieurs. Les bâtiments encaissés se ressentent moins de l'influence ondulatoire que ceux qui ne le sont pas ; les façades sont plus exposées que les pignons et les constructions isolées sont plus sujettes à être éprouvées que les constructions appartenant à des blocs.

Lorsque la propagation se fait dans l'air, les effets produits ont des formes très variées. Les murs extérieurs exposés directement au « souffle » (vibrations de l'air), c'est-à-dire orientés perpendiculairement à la direction de propagation du mouvement vibratoire, se comportent comme des murs chargés normalement à leur parement ; vu le système de liaison, ces murs se déforment comme une plaque rectangulaire encastrée sur trois côtés et libre sur le quatrième (faîte du mur) ; la mise en charge normale au parement y produit les désordres les plus graves dans la région de l'arête libre, c'est-à-dire à la partie supérieure.

Dans les murs ainsi exposés, on voit fréquemment des lésions en forme de V, affectant surtout la partie supérieure.

Dans les murs et cloisons intérieurs, et parfois à l'extérieur, on rencontre également des lésions en forme de X qui se produisent lorsque le mur peut être considéré comme encastré sur tout son pourtour.

Au maximum il se produit parfois des renversements vers l'intérieur ou vers l'extérieur.

La multiformité des lésions observées provient de ce que, par suite de la propagation dans l'air, les ondes se réfléchissent sur les obstacles qu'elles rencontrent (constructions notamment) ; la multiplicité des obstacles qui fonctionnent ainsi comme des miroirs est telle, dans une agglomération, que de nombreuses ondes réfléchies prennent naissance et se croisent en donnant lieu à des phénomènes d'interférence ; celles-ci ont pour effet d'augmenter l'amplitude des vibrations lorsque les ondes se croisent en phase, de la réduire lorsque, au contraire, ces ondes sont en discordance.

Il arrive ainsi que certaines constructions assez rapprochées du centre d'ébranlement n'ont subi que peu de dégâts, tandis que d'autres, plus éloignées, ont été plus gravement atteintes, ou encore que certaines constructions aient pu subir des dégâts plus importants aux étages inférieurs qu'aux étages supérieurs, quoique ce dernier phénomène exige des dispositions de lieux très spéciales, rarement réalisées, et ne se soit en fait produit que très exceptionnellement.

Le mouvement vibratoire de l'air exerce, ainsi qu'il a été dit, plus de dégâts aux étages supérieurs qu'aux étages inférieurs ; cette propriété avait déjà été citée pour le mouvement ondulatoire du sol.

De la même manière également que dans le cas du mouvement ondulatoire du sol, le mouvement vibratoire de l'air atteint davantage les constructions surélevées que les constructions encaissées, les murs de façade que les pignons, et les murs percés de baies que les murs pleins.

De plus, à chaque incidence d'une onde sur un obstacle, donc à chaque réflexion de l'onde, une partie de l'énergie cinétique est absorbée par l'obstacle. Il en résulte que, dans le mouvement vibratoire de l'air, la multiplication des obstacles a pour effet de créer des amortissements souvent rapides et importants.

En fait, la diversité des dommages relevés dans le voisinage des points de chute des bombes volantes V 1 est due à la diversité de configuration et de relief des zones d'influence du centre vibratoire.

### 3. METHODE D'ETABLISSEMENT DU DIAGNOSTIC

Lorsqu'on examine les lésions affectant un immeuble, il est relativement aisé de séparer une partie de ces lésions en groupes de lésions relevant d'une cause bien déterminée et unique.

La chose est bien évidente même pour un observateur qui n'a que des connaissances élémentaires en la matière quoique, pour cet observateur, le champ d'observation doit être nécessairement plus restreint que celui dans lequel peut se mouvoir le spécialiste.

Des écrasements locaux d'enduits de plafonnage, portant l'empreinte d'angles de meubles, ne laissent par exemple aucun doute sur la cause productrice, qui est le choc produit sur ces enduits lors de manipulations maladroites du mobilier à l'occasion d'un déplacement de celui-ci.

Certaines dislocations de menuiseries extérieures, dans lesquelles on constate le manque de peinture extérieure, souvent la disparition du mastic, le gonflement des chevilles d'assemblage, la dislocation

de ces assemblages, la pourriture des seuils en bois ou des jets d'eau, sont, pour l'œil le plus inexpérimenté, des lésions qui ont la vétusté et le manque d'entretien pour cause.

Certains bris de vitres, en forme d'étoile, portant nettement la marque d'une percussion locale, peuvent être attribués sans hésitation à un accident.

Des bris de pavements, accompagnés d'écrasements et de la production de nombreux petits morceaux, prouvent nettement un usage anormal (souvent découpage de bois à brûler).

L'usage en construction de matériaux de second choix (pierres gélives, briques tendres, carrelage à craquelures, etc.), mal préparés ou mis en œuvre de façon défectueuse (enduits de plâtre ou de ciment qui se gercent), produit des lésions bien caractéristiques sur lesquelles ne se trompe pas l'homme de l'art.

En général, les lésions nettement imputables sans discussion à des causes étrangères à l'action minière ne sont pas décrites dans les relevés de dégradations qu'exécutent les experts chargés de rechercher les dégradations d'origine minière, ou sont expressément dites « non minières » dès la description elle-même, sans qu'il soit nécessaire de justifier cette qualification.

Au surplus, assez souvent — c'est le cas des lésions accidentelles — l'expert obtient confirmation de son opinion par une déclaration de l'occupant de l'immeuble, qu'il a soin d'interroger sur la cause de la lésion.

Il est d'autre part des dégradations dont la cause bien déterminée échapperait au non connaisseur, et pour lesquelles le spécialiste n'éprouve pas de difficulté à formuler un diagnostic.

Ici interviennent et la science théorique et l'expérience pratique du spécialiste, qui permettent à celui-ci d'associer une lésion de nature, forme et âge déterminés à une cause déterminée.

Les relations entre causes de dégradations, d'une part, et nature, forme et âge de ces dégradations, d'autre part, ont été brièvement exposées plus haut.

L'imputation d'une lésion donnée à une cause déterminée implique une discrimination sévère entre toutes les causes de dommage, exécutée au moyen de la recherche des concordances et des discordances qui existent entre la lésion observée et les effets théoriquement attendus de chacune des causes envisagées.

La question n'est pas simple, car si certains effets théoriquement attendus d'une cause déterminée peuvent souvent être exprimés par des lois générales, au moyen des théories de la Résistance des Matériaux d'une part, théories confirmées par l'expérience plus ou moins développée qu'acquière les constructeurs et ceux qui font profession d'étudier les dégâts aux constructions, il n'en reste pas moins que

ces lois ne sont strictement applicables que lorsque toutes les conditions qui ont présidé à leur établissement sont réalisées ; or, en matière de Résistance de Matériaux et en Construction, la forme des solides étudiés a une importance primordiale, et d'ailleurs seul est examiné le comportement de solides de forme simple sous des efforts connus. Lorsqu'il s'agit de solides tels que des immeubles, qui sont parfois fort complexes, les lois générales ne sont pas toujours applicables, parce que les interréactions des solides de forme simple constituant ce corps complexe modifient en chaque point les contraintes qu'y produiraient les efforts extérieurs s'ils n'étaient appliqués qu'à des solides simples, sans dépendance avec d'autres solides simples voisins. Un exemple élémentaire en a été donné à la page 185 à propos des effets d'un affaissement du sol d'assise sur un mur percé de baies, et les cas abondent où un examen trop sommaire ou trop rigide de la question risquerait d'entraîner des erreurs de diagnostic.

Dans un ouvrage dont la première édition remonte à 1915 (le *Lesioni dei Fabbricati*), C. Russo, Chef de Section du Bureau Technique des « Hôpitaux Réunis » de Rome, établit une classification des diverses lésions susceptibles de se manifester dans les constructions dont la stabilité a été compromise ; cette étude est le fruit d'une longue expérience illustrée par l'abondance des exemples cités par l'auteur qui décrit notamment les modes définitifs de consolidation qu'il a réalisés dans de nombreuses constructions, parfois séculaires, et qui consacre un chapitre spécial aux lésions produites par les mouvements sismiques, dont les désastres de Messine et Reggio en 1908, des Abruzzes en 1915 lui ont fourni la triste documentation.

L'introduction de la première édition de cet ouvrage débute par la phrase suivante :

« L'expertise des lésions survenues dans les constructions est une des tâches les plus ardues de l'Ingénieur Civil, attendu que, pour bien l'accomplir les connaissances scientifiques ne suffisent pas ; il faut encore posséder une grande pratique et une longue expérience, acquises en face des difficultés souvent insurmontables que l'on rencontre dans la restauration des édifices ravagés par les années, ébranlés par des transformations ou rendus instables par des mouvements telluriques ».

Plus loin, l'auteur ajoute : « Il n'est donc pas donné à tous de faire un diagnostic, dans un délai très court, d'une construction qui est un organisme *muzi* et d'une étendue considérable ».

Les lésions dont l'auteur de l'ouvrage cité pose le diagnostic répondent assez bien aux caractères de celles qui se rencontrent dans les immeubles de notre région ; ce sont :

1<sup>o</sup>) les lésions de retrait résultant du tassement des maçonneries en œuvre ;



2<sup>o</sup>) les lésions dues au tassement du plan de pose par la mise en charge ;

3<sup>o</sup>) les lésions dues à l'affaissement du plan de pose d'immeubles construits sur d'anciennes carrières souterraines de tir et même sur des carrières encore en exploitation (zone de Monteverde à Rome) ;

4<sup>o</sup>) les lésions d'affaissement dues à une construction défectueuse de la maçonnerie de fondation ;

5<sup>o</sup>) les lésions d'affaissement dues aux infiltrations pénétrant dans le plan de fondation par suite, soit de fuites souterraines invisibles dans les canalisations, soit d'inondations provenant de débordements de rivières ou de canaux traversant les villes ;

6<sup>o</sup>) les lésions d'affaissement dues à un accroissement des charges (addition d'étages à une construction) ;

7<sup>o</sup>) les lésions d'écrasement dues ou à l'excès de charge ou à l'emploi de matériaux de démolition ou à la vétusté de la construction ou à une exécution intempestive des travaux de construction ;

8<sup>o</sup>) les lésions de rotation produites par une poussée de fermes sans tirant ou avec tirant de section insuffisante, ou par une poussée d'arcs ou de voûtes dont les poussées à la clé ne sont pas équilibrées par le poids des culées ou par la section du tirant ;

9<sup>o</sup>) les lésions de rotation sans poussée résultant d'un affaissement du plan de pose d'un mur sans fondation sur une partie de sa longueur ;

10<sup>o</sup>) les lésions dues au glissement du plan de pose, ce phénomène s'observant surtout dans les terrains argileux et aquifères situés à flanc de coteau ;

11<sup>o</sup>) les lésions dues aux phénomènes endogènes : tremblements de terre ; dans ces phénomènes sont étudiés le mouvement sursultatoire à l'épicentre et le mouvement ondulatoire dans les zones concentriques à l'épicentre.

Ces lésions sont étudiées pour les murs pleins ou percés de baies, fondés sur arcs et piliers ou sur massifs continus, en maçonnerie ordinaire, en ciment armé ou monolithiques, pour les arcs, voûtes, plates-bandes, coupes, tours, etc.

D'après l'énumération précédente, on se rend compte que l'auteur a envisagé sensiblement toutes les causes de dégradations qui se rencontrent dans les immeubles de notre région, y compris celles dues à la présence d'excavations souterraines, à l'infiltration de l'eau et aux phénomènes ondulatoires.

Au chapitre relatif à la détermination des causes des perturbations, C. Russo écrit ce qui suit :

« Dans la recherche de la cause d'une perturbation statique, le professionnel doit s'avancer avec circonspection (comme le piéton qui aurait du plomb dans ses chaussures), attentivement, par petits pas et par voie d'élimination (car souvent ce

» n'est que difficilement qu'il acquiert une certitude, » laquelle est parfois impossible) ; il se rappellera » les considérations suivantes, fruit d'une expérience » personnelle.

» Les perturbations statiques sont toujours partielles, elles ne sont jamais totales. Et, comme il a été dit que ces phénomènes sont toujours accouplés, il en résulte que jamais on ne peut attribuer les lésions d'un bâtiment à une cause unique (et surtout s'il s'agit d'un groupe de bâtiments).

» Un bâtiment et encore plus un groupe de bâtiments, ayant perdu l'équilibre statique, présentent une quantité de perturbations partielles, ayant chacune une cause différente, par suite produisant des effets différents...

» Pour reconnaître le plus ou moins de gravité d'une perturbation statique, il faut s'assurer avant tout si les lésions sont neuves ou vieilles, récentes ou anciennes.

» Si l'on examine les interstices des vieilles lésions, on voit qu'ils présentent une couleur foncée à cause des insectes, des toiles d'araignée, de la moisissure, du terreau qui s'y sont accumulés.

» Si l'on regarde, au contraire, dans les fentes des lésions récentes, on aperçoit immédiatement la rupture récente de l'enduit et des pierres. Une vieille lésion peut, elle aussi (comme la récente), concerner l'enduit, être superficielle ou profonde...

» En ce qui concerne la largeur, tandis que les lésions d'enduit varient de 1 à 3 millimètres et les superficielles de 3 à 5 millimètres, celles profondes dépassent toujours 8 millimètres...

» Les lésions doivent être étudiées dans leur allure générale et non dans leurs allures partielles ; c'est ainsi que, si l'on étudiait une lésion millimètre par millimètre par exemple, il serait impossible de reconnaître l'inclinaison caractérisant tel ou tel phénomène, de sorte que les directions les plus diverses s'opposeraient au diagnostic du phénomène.

» D'ailleurs, sauf le cas d'un bâtiment qui menace de s'écrouler d'un moment à l'autre, dans lequel toute la maçonnerie se désagrège et se dissocie au point qu'aucun examen n'est possible, même sur les débris les plus divers, dans tous les autres cas où l'apparition du phénomène précède de beaucoup l'écroulement du bâtiment, les lésions, bien que se manifestant dans les directions caractéristiques qui ont été étudiées dans la première partie, suivent assez fidèlement les joints de pierres qui, comme on le sait, étant altérées, déterminent des lignes brisées. C'est pourquoi les lésions doivent être examinées d'après leur allure d'ensemble ou prédominante, mais jamais dans leurs variations multifformes.

» Certains ingénieurs, pour déterminer les causes d'une perturbation statique, appliquent rigoureuse-

» ment aux lésions les théories de la mécanique et de  
» la statique graphique.

» Mais ils oublient que les bâtiments et surtout  
» ceux d'ancienne date, ne sont pas des solides ho-  
» mogènes, encore moins monolithiques et que, par  
» suite, la force perturbatrice qui les sollicite, étant  
» de nature complexe, ne peut déterminer des phéno-  
» mènes correspondant rigoureusement aux postulats  
» scientifiques.

» C'est ainsi que l'on n'observera jamais une lé-  
» sion parfaitement perpendiculaire à la résultante  
» des forces composantes, mais seulement presque  
» perpendiculaire.

» De même la lésion parabolique qui se manifeste  
» dans un mur sans ouverture, sous l'influence de  
» l'affaissement du plan de pose, ne sera jamais une  
» parabole parfaite, bien qu'elle s'en rapproche.

» Pour la même raison, une lésion préexistante ne  
» peut changer de direction comme le mouvement  
» d'une aiguille d'horloge même si une nouvelle  
» poussée intervient pour l'y contraindre.

» La perfection ne peut être réalisée dans les bâti-  
» ments gênés par la contiguïté, dans un conglomé-  
» rat de matériaux divers, dont le mode de liaison  
» encore plus important a une influence prépondé-  
» rante sur l'établissement de la configuration de la  
» lésion ».

Il n'y a pas lieu de voir entre les extraits précé-  
dents et ce que j'ai moi-même écrit plus haut une  
contradiction quelconque relativement à la com-  
plexité des causes intervenant dans la production  
d'une dégradation. L'affirmation de C. Russo  
d'après laquelle « jamais on ne peut attribuer les  
lésions d'un bâtiment à une cause unique » ne doit  
pas être prise à la lettre ; il est en effet évident que  
l'auteur n'avait en vue que les grandes dégradations  
affectant les œuvres vives du bâtiment et n'a donc  
pas porté d'avis sur certaines lésions locales telles  
que, par exemple, bris de matériaux par chocs acci-  
dentels dont la cause est parfaitement unique et bien  
discernable.

Cette précision étant donnée, il est parfaitement  
logique d'admettre que la plupart des dégradations  
que l'on peut constater dans les bâtiments procèdent  
de plusieurs causes.

L'éventualité d'un départage de responsabilité en-  
tre ces diverses causes ne se présente d'ailleurs que  
dans le cas où ces causes ont été *déterminantes*  
d'une partie du dommage.

Le choix de la qualification d'une cause en cause  
déterminante ou non déterminante constitue le pre-  
mier domaine de l'expertise en matière de dégâts mi-  
niers.

Certaines causes sont en effet *déterminantes*, tan-  
dis que d'autres ne sont qu'*aggravantes* : les pre-  
mières sont actives dans la production du dommage,  
les autres n'étant que passives. Il convient de préci-

ser ces définitions, car l'expression « cause aggra-  
vante » est souvent employée dans un sens incor-  
rect.

Une cause doit être jugée déterminante dans la  
production d'un dommage chaque fois qu'il est re-  
connu qu'elle a participé à la *production*, ne fût-ce  
que d'une partie de ce dommage, et qu'il peut être  
admis qu'elle aurait produit un certain dommage,  
même au cas où elle se serait trouvée être seule à  
intervenir.

Elle ne peut être qualifiée de déterminante si elle  
est incapable de produire seule un certain dommage,  
même lorsque, par suite de son existence, les pertur-  
bations produites par d'autres causes deviennent  
plus graves qu'elles ne le seraient si elle n'existait  
pas ; dans ce cas, la cause envisagée est simplement  
cause aggravante et elle ne porte dans la création  
du dommage aucune responsabilité.

Tel est le cas par exemple d'un mode de fonda-  
tion ou de construction dont on pourrait démontrer  
que, en l'absence d'une cause étrangère, il serait in-  
capable de produire des dégradations.

Nous avons rencontré le cas d'une petite maison  
rurale très légère, assise sur un terrain argileux qua-  
ternaire de plusieurs mètres d'épaisseur ; sous cette  
couverture argileuse se trouvait le terrain créacé de  
la Hesbaye ; la maison se situait à la limite d'une  
poche de dissolution dans la craie et cette poche  
était remplie de sable tertiaire. Des exploitations  
souterraines avaient été conduites dans la région  
par une société concessionnaire. Le dommage relevé  
dans l'immeuble litigieux était nettement discord-  
ant avec celui que l'on aurait attendu normalement  
des affaissements résultant de l'exploitation du sous-  
sol : au lieu de se déverser vers les travaux miniers,  
comme c'est la règle générale, l'immeuble se déver-  
sait en sens contraire. La découverte par une fouille  
de la poche de dissolution expliquait le déversement  
anormal constaté. Dans ce cas précis nous avons  
conclu à la responsabilité entière de l'exploitant, en  
justifiant cette conclusion comme suit :

« Nous estimons que la couche de limon reposant  
» sur des silex ou du sable, le tout supporté par la  
» masse de la craie, constitue un sol d'assise de résis-  
» tance amplement suffisante pour supporter un im-  
» meuble de type léger tel que celui qui fait l'objet  
» du litige. Nous allons même plus loin : la présence  
» de la poche de sable sous une partie de cette mai-  
» son légère ne modifie pas notre façon de juger le  
» sol d'assise, pour autant que l'on ne considère  
» que les effets produits par la mise en charge...

» Sans l'existence des travaux miniers, cette mai-  
» son n'eût pas subi les dommages qui y sont rele-  
» vés. Les travaux miniers sont donc la cause déter-  
» minante des importantes dégradations litigieuses.

» Le propriétaire n'a commis aucune faute en bâ-  
» tissant sa maison à l'endroit litigieux. La Société  
» défenderesse qui a conduit ses exploitations vers

» un sol de composition hétérogène, apte cependant  
 » à recevoir des constructions légères, a provoqué  
 » dans ce sol des perturbations capables de produire  
 » des effets anormalement graves sur ces construc-  
 » tions ; elle a donc, de ce chef, couru un risque dont  
 » il est clair qu'elle doit subir les conséquences pré-  
 » vues par les lois coordonnées sur les mines, mi-  
 » nières et carrières ».

Les causes aggravantes *sensu strictu* sont en réalité peu fréquentes et l'expérience montre que, le plus souvent, les causes dites en général aggravantes sont en fait de véritables causes déterminantes *qui ajoutent leurs effets* à ceux d'autres causes ; elles portent alors une part de responsabilité dans le dommage créé.

Une lésion se fractionne ainsi en lésions partielles ayant chacune leur cause déterminée ; évidemment, chaque partie de la lésion peut constituer chronologiquement une aggravation d'une lésion antérieure ; c'est à tort cependant que l'on dirait de la cause ayant agi chronologiquement en deuxième lieu qu'elle n'a fait qu'aggraver le dommage antérieur, laissant ainsi croire que le dommage n'admet comme cause déterminante que celle qui est intervenue la première dans l'ordre chronologique.

La coïncidence de plusieurs causes déterminantes dans la production d'une lésion est un phénomène très général, comme le dit excellemment C. Russo dans l'ouvrage déjà cité.

Nul ne se hasarderait à nier que l'exploitation minière ne produise aucun dégât à l'intérieur d'un certain périmètre encadrant les limites d'un chantier de dépouillement, pas davantage qu'à mettre en doute la création d'un dommage dans un certain rayon autour du point où s'est produite l'explosion d'une bombe. Si un immeuble se trouve dans les deux zones d'influences qui viennent d'être citées, il est bien certain qu'on y relèvera des dégradations imputables à l'une ou à l'autre des deux causes envisagées ; il est non moins certain que nombre de lésions qui seront relevées auront été produites en partie par les deux causes à la fois. Il tombe en effet sous le sens que, en général, une lésion créée par l'une des causes s'agrandira sous l'influence de la seconde cause, parce que l'existence de la lésion implique celle d'une région de moindre résistance où les contraintes ultérieures ont le plus de chance de produire de nouvelles déformations.

Les causes déterminantes de lésions, que l'on rencontre le plus fréquemment dans les expertises en matière de dégâts miniers, sont celles qui ont été citées au début de la présente étude.

Pour rappel, il s'agit des suivantes :

- influence de l'exploitation souterraine,
- défaut d'assise,
- tassement des maçonneries,
- vices de construction ou malfaçons,

- vétusté,
- usage normal ou anormal : manque d'entretien,
- poussées,
- glissement naturel du plan de pose ; solifluxion,
- oscillations de la nappe aquifère,
- phénomènes oscillatoires : trépidation ; explosions d'engins de guerre.

La mise en évidence de l'influence d'une ou de plusieurs de ces causes dans un dommage déterminé est relativement aisée.

Bien entendu, il s'agit d'abord de démontrer l'existence de la cause : il ne peut être question d'influences minières s'il n'y a pas d'exploitation souterraine dans un certain rayon autour de l'immeuble ; de la même manière, le phénomène de solifluxion ne peut exister si l'immeuble n'est pas bâti sur un terrain en pente et les trépidations ne pourront être mises en cause que si l'immeuble est établi le long d'une voirie où se produit un trafic plus ou moins important ; de même encore, les explosions d'engins de guerre ne pourront être mises en cause que si de telles explosions se sont produites effectivement à une distance pas trop grande de l'immeuble considéré et les oscillations de la nappe aquifère ne mériteront de retenir l'attention que si tout d'abord la nappe aquifère existe.

En second lieu, il faut rechercher si la cause prise en considération a effectivement produit un dommage réel. La science théorique et l'expérience ont permis de définir, dans des circonstances déterminées, la forme et l'importance des lésions qu'une cause déterminée peut produire dans une construction.

Il en résulte que l'expert possède un acquis lui permettant de prévoir, dans une situation déterminée, les lésions compatibles avec une cause de perturbation donnée.

Les différentes causes de perturbation qui se rencontrent le plus fréquemment ont été examinées et l'exposé général des lésions compatibles avec ces causes a été fait aux pages 180 à 187 du présent rapport.

Cependant, seules ont été développées les grandes lignes de cette matière, parce qu'il est impossible d'envisager tous les cas qui peuvent se produire et d'entrer en des détails qui transformeraient ce rapport en véritable traité sur les lésions dans les constructions (l'ouvrage de C. Russo comprend 255 pages et n'épuise pas le sujet).

En la matière envisagée, les phénomènes étudiés ne sont pas régis par des lois mathématiques simples. Si, par des études théoriques et expérimentales, on peut dégager certaines lois générales, les exceptions sont fréquentes. En effet, la loi générale est établie au moyen de multiples observations et n'exprime alors que l'allure moyenne du phénomène étudié, allure moyenne dont s'écartent plus ou moins les al-



lures particulières de chacun des phénomènes observés ; ou bien, cette loi générale est établie par expérimentation, ce moyen d'étude consistant à simplifier les conditions dans lesquelles se déroule le phénomène et donnant par suite des résultats différents de ceux que l'on obtient par l'observation directe ; ou bien encore, cette loi générale est établie par déduction et elle a les mêmes caractères que dans les cas précédents puisque, dès que le phénomène est complexe, un facteur insignifiant peut devenir essentiel dans des circonstances particulières.

Dans le domaine des sciences de la nature, on ne saurait être assez prudent pour manipuler les lois et on risquerait de graves erreurs en prétendant les utiliser à tort et à travers sans connaître la matière dont elles ont été établies, les limites dans lesquelles elles sont applicables et le degré d'approximation qu'elles donnent.

Un exemple simple fera très bien comprendre ce qui précède.

Il s'agit d'établir une loi de la chute libre des corps sur plan incliné.

En regardant rouler des pierres au flanc des montagnes, on reconnaît dans leur chute un point commun : elles progressent d'abord lentement puis plus vite, accélèrent leur mouvement, rencontrent des obstacles et bondissent par dessus ces obstacles, jusqu'au moment où, arrivées à un endroit où la pente est trop faible, elles ralentissent leur course pour finir par s'arrêter.

Les observations faites en grand nombre ne permettent jamais d'énoncer d'autres résultats et on pourrait en suite de ces observations formuler la loi suivante : en général, la chute libre des corps sur un plan incliné consiste en un mouvement d'abord lent puis plus rapide, accompagné de sauts au-dessus des obstacles et se terminant par un ralentissement suivi de l'arrêt complet.

Telle quelle, cette loi souffre de très nombreuses exceptions : d'abord, sur les faibles pentes, les pierres ne roulent pas en chute libre, mais il faut les lancer pour leur imprimer un mouvement qui ne s'accélère pas toujours mais bien plus souvent ralentit rapidement, pour cesser avant que la pierre n'arrive au bas de la pente ; en second lieu, les petites pierres se mettent plus difficilement en mouvement que les grosses et sont aussi plus facilement arrêtées que ces dernières par les obstacles rencontrés (souches, racines, etc.) ; en troisième lieu, si certains obstacles sont franchissables par bonds, d'autres sont infranchissables (quartiers de rocs, troncs d'arbres, etc.) ; en quatrième lieu, les pierres arrondies roulent mieux que les pierres anguleuses, etc.

L'observateur qui a constaté ces exceptions et remarqué qu'elles se produisent toujours dans des circonstances données formulera dès lors une loi plus précise, apportant des restrictions que ne comporte pas le premier énoncé.

Le nouvel énoncé pourrait par exemple être le suivant : en général, la chute libre de corps assez pesants et peu anguleux sur un plan incliné de pente suffisante, pas trop raboteux ni semé de gros obstacles, consiste en un mouvement d'abord lent, puis plus rapide, accompagné de sauts au-dessus des petits obstacles ; le mouvement ne s'arrête que lorsque le mobile rencontre un gros obstacle ou s'engage dans une région où la pente est suffisamment faible.

Cette loi est très générale mais peu satisfaisante parce qu'elle n'apporte aucun renseignement sur la mesure du mouvement et que les conditions à réaliser pour qu'elle soit valable ne sont pas assez précises.

Si on désire connaître la mesure du mouvement, il faut que la loi exprime par exemple quel est l'espace parcouru pendant la première, la deuxième, la troisième ... seconde du phénomène.

Un nombre suffisant d'observations amènerait facilement à remarquer que, pendant la première seconde, toutes les pierres ne parcourent pas la même distance sur une même pente, que la même pierre ne parcourra pas non plus la même distance sur des pentes différentes et qu'il en sera de même des distances parcourues pendant les deuxième, troisième ... secondes.

En voulant préciser la loi de la chute, on devra donc nécessairement en restreindre le champ d'utilisation.

Ainsi, pourrait-on formuler une loi de la manière suivante : à tel endroit, sur tel flanc de telle montagne, par telle saison, les pierres d'un poids minimum de 5 kg franchissent en moyenne autant de mètres pendant la première seconde, autant pendant la deuxième, etc. Elles sont en général arrêtées après un parcours de autant de mètres réalisé en autant de secondes.

Cette loi ne serait utilisable qu'à l'endroit déterminé.

En voici une autre qui restreindrait moins le champ d'application : sur des pentes comprises entre 40 et 50°, pas trop rocailleuses, non plantées d'arbres et couvertes d'une végétation pas trop dense, les pierres dont le poids dépasse tel minimum roulent à telle période de l'année en moyenne à telle vitesse pendant la première seconde, à telle autre pendant la deuxième, etc. ; encore faudrait-il, pour réduire les chances d'erreurs, préciser dans cet énoncé la signification des expressions « pas trop rocailleuse » et « pas trop dense ».

Quel que soit l'énoncé adopté pour finir, il ne sera utilisable que dans les situations respectant les conditions formulées. Cela étant, il est évident que même alors nul ne se hasardera à émettre l'avis que toutes les chutes de pierres qui se produisent dans les conditions formulées par la loi répondent à cette dernière. Tout le monde en effet a vu rouler des

pierres sur le flanc des montagnes, a observé que la chute de ces pierres est un phénomène capricieux, *s'est rendu compte* plus ou moins nettement des raisons de la complication du phénomène et *comprend* sans effort qu'une loi établie uniquement par des statistiques ne peut dans un tel phénomène qu'indiquer l'ordre de grandeur moyen des résultats laissant chacun de ceux-ci s'écarter individuellement plus ou moins de celui que formule la loi.

Cette loi sera d'autant meilleure que le nombre des écarts individuels sera plus petit et que ces écarts seront plus faibles ; mais alors son champ d'utilisation sera d'autant plus restreint.

Toute loi naturelle établie uniquement à la suite d'observations est sujette aux faiblesses signalées.

Pour faire un progrès dans l'étude du phénomène, il ne suffit pas d'en contempler les aspects variables ; il faut réfléchir à ces aspects, les comparer, apprendre à discerner ce qu'ils ont de semblable dans leurs détails, de manière à pouvoir deviner par les mêmes effets l'existence des mêmes causes.

En un mot, l'intelligence doit intervenir par le procédé de *l'induction*, en classant les effets pour les imputer à une cause déterminée.

Il faut ici opérer avec prudence car le même effet peut être produit par bien des causes différentes et le savant peut s'y tromper comme tout le monde, quoique moins grossièrement.

Dans l'exemple proposé, l'observateur aura vite fait de remarquer que ce qui trouble la régularité dans le déroulement du phénomène, ce sont les différents obstacles que rencontrent les pierres dans leur chute ainsi que l'irrégularité de forme des matériaux soumis à l'observation.

Il va dès lors *éliminer* ces facteurs dont il comprend qu'ils produisent des actions particulières et n'interviennent pas dans tous les cas.

C'est dans l'élimination de ces facteurs agissant fortuitement que réside l'opération voisine de l'observation, qui est l'expérimentation.

En remplaçant le versant de la montagne par une planche bien unie et la pierre par une boule aussi parfaite que possible, il suffira de laisser rouler la boule sur la planche préalablement inclinée pour pouvoir décrire à très peu de chose près et le chemin que toutes les boules bien faites suivront sur des planches rabotées de même inclinaison et les longueurs parcourues pendant les première, deuxième, troisième ... secondes et les instants où chaque boule passe en chaque point de la planche. La loi de cette chute deviendra de plus en plus rigoureuse, c'est-à-dire exprimera plus rigoureusement toutes les circonstances accompagnant la chute, que la planche sera plus parfaitement droite et la boule plus parfaitement ronde.

La rigueur absolue ne sera cependant jamais obtenue, mais le phénomène du mouvement d'une

boule ronde sur une planche inclinée s'écartera moins souvent de la loi obtenue et les écarts relevés entre les résultats des expériences particulières et le résultat prévu par la loi seront bien plus faibles maintenant que les conditions d'étude du phénomène sont simplifiées que lorsque l'on considérait des pierres roulant au flanc des montagnes.

Il suffit que les écarts particuliers ne dépassent pas une valeur maximum que l'on s'impose d'après les exigences des problèmes à résoudre à l'aide de la loi, pour que celle-ci soit jugée suffisante dans une application déterminée ; on dira alors que la loi décrit le phénomène étudié avec une *approximation* donnée.

Ainsi dira-t-on que la trajectoire de la boule qui descend un plan incliné est une ligne droite : il faut entendre qu'il s'agit *approximativement* d'une ligne droite ; à examiner la trace que laisse la boule sur la planche préalablement noircie, on ne sera en effet pas loin de la vérité en déclarant que cette trace est une ligne droite, quoiqu'un examen minutieux de cette trace y laisse apparaître de légères ondulations.

Mais si on désire savoir s'il est possible de réaliser une trajectoire parfaitement droite, il faudra se demander quelles sont les causes de perturbation qui font de cette trajectoire une ligne ondulée presque droite dans les expériences précédentes. On constatera immédiatement que les causes de perturbations ne se découvrent maintenant plus aussi facilement que dans le cas de la pierre qui roule à flanc de coteau, parce que les écarts sont moins visibles et exigent des mesures plus précises, les perturbations devenant de plus en plus faibles à mesure que la loi devient plus rigoureuse.

Et en effet, on commettrait une grosse erreur en imputant les perturbations au seul fait que la planche ne serait pas assez plane et la boule pas assez ronde ; cette cause de perturbation est en effet à prendre en considération dès que l'on a constaté que, plus la planche est plane et plus la boule est ronde, mieux la trajectoire se rapproche de la ligne droite ; cependant la perturbation pourrait aussi être due au fait que l'expérience a été réalisée dans un immeuble secoué par les trépidations dues au passage des véhicules dans la rue ou au mouvement de machines dans le voisinage, on se rend compte des dangers du raisonnement par induction.

Et effectivement, en opérant dans un endroit tranquille, sur des planches de plus en plus planes et avec des boules de plus en plus parfaitement rondes, on constatera que la trajectoire devient de plus en plus droite.

S'il est impossible de réaliser une trajectoire parfaitement droite, on connaîtra maintenant les raisons qui s'y opposent : manque de tranquillité absolue, impossibilité d'exécuter une planche qui soit par-

faitement plane et une boule qui soit parfaitement ronde.

Un résultat sera cependant acquis : en simplifiant convenablement les conditions dans lesquelles se déroule expérimentalement un phénomène, on parvient à obtenir des résultats très peu différents les uns des autres au cours des diverses expériences réalisées, dans les conditions de simplicité les plus proches de la perfection ; ces résultats sont ensuite interprétés par une opération intellectuelle qui consiste à les dépouiller mentalement des petites perturbations expérimentales dont l'induction a fait connaître les causes ; le raisonnement ayant de la sorte rejeté toutes les causes capables de produire des perturbations dans l'action de la cause prépondérante, l'expérimentateur sera en état d'énoncer une loi naturelle rigoureuse.

Cette loi sera la suivante : le mouvement de chute libre d'une boule parfaitement ronde sur une planche parfaitement plane, inclinée d'un angle  $\alpha$  sur l'horizontale, est un mouvement uniformément accéléré ; sa trajectoire est rectiligne ; l'espace parcouru après un temps  $t$ , mesuré depuis le début de la chute et exprimé en secondes, sera calculé en mètres en faisant le produit de 9,81 par le carré de  $t$ , puis en divisant le résultat obtenu par le double du sinus de l'angle  $\alpha$ .

La loi énoncée a été obtenue en éliminant toutes les complications qui accompagnaient le phénomène principal de la chute.

Chacune de ces complications particulières peut maintenant être reprise et étudiée séparément : dans le mouvement de la boule descendant un plan incliné, l'étude des oscillations de la trajectoire peut présenter de l'intérêt ; elle a déjà révélé les mouvements d'un bâtiment secoué par les trépidations de la voirie ; au sujet du mouvement d'une pierre qui dévale une pente, on pourra étudier les phénomènes de ralentissement, de chocs et rebondissements, d'arrêt, etc. dont on aura facilement reconnu les causes dans l'irrégularité des formes de la pierre, la rugosité de celle-ci et du flanc de la montagne, la présence sur ce flanc de multiples obstacles de forme, volume, masse et consistance variables, etc. etc.

La connaissance de la loi du phénomène principal et de celles de tous les phénomènes perturbateurs devrait, semble-t-il, permettre de décrire aisément a priori le mouvement d'une pierre déterminée roulant librement sur une pente déterminée à partir d'un point déterminé.

Il n'en est pratiquement rien ; pour résoudre cette question, il faudrait en effet connaître dans tous leurs détails  $\text{mm}^2$  par  $\text{mm}^2$  et la forme de la pierre et sa rugosité et le terrain avec lequel la pierre sera en contact, de manière à pouvoir définir toutes les actions auxquelles la pierre obéit. Il n'est pas un homme sensé qui consentirait à perdre un temps

incalculable pour débrouiller des données aussi complexes !

Tout au plus pourra-t-il répondre en fonction de l'intérêt vital que présente une telle question, avec une approximation estimée suffisante pour l'intérêt vital en cause.

S'il s'agissait par exemple de savoir si un accident dû à la chute d'une pierre a pu se produire, indépendamment des circonstances qui ont produit le détachement de la pierre et par suite sa chute, par suite de la présence d'un obstacle déterminé susceptible d'avoir produit une déviation de la trajectoire, une connaissance pas trop détaillée du terrain permettrait, à la suite d'études de bureau, d'affirmer ou de nier l'influence de l'obstacle en cause ; bien entendu, dans la question actuelle, il sera toujours possible de contrôler les conclusions de cette étude par des observations répétées sur place avec l'objet du litige ; ces observations seront particulièrement utiles et parfois indispensables lorsque les études de bureau seront arrivées à une conclusion telle qu'une légère modification des données de la question amènerait une conclusion contraire.

D'ailleurs, même en complétant les études par des observations faites sur place, il ne sera pas toujours possible de conclure dans un sens ou dans l'autre. On conçoit en effet très bien que, entre le champ des données qui permettent de répondre oui et celui des données qui permettent de répondre non, il y a un champ plus ou moins vaste dans lequel les données peuvent varier sans qu'il soit possible de répondre ou par oui ou par non.

Dans le cas de la conclusion douteuse, il sera peut-être encore possible de donner la probabilité de la réponse affirmative et celle de la réponse négative ; cette probabilité pourrait en l'occurrence résulter d'un grand nombre d'observations dans lesquelles il aurait été constaté que tel pourcentage des expériences ont réussi à reproduire les circonstances de l'accident, le restant n'y ayant pas réussi.

Finalement, on se rendra bien compte que, en matière de phénomènes naturels, les lois sont excessivement complexes et que leur interprétation n'est pas à la portée de tout le monde.

L'exemple de la pierre roulant à flanc de coteau a été choisi à dessein parce que tout le monde a pu l'observer ; rares cependant sont les promeneurs qui auront vu dans ce phénomène d'apparence simple matière à tant de complications.

Il aura suffi de montrer cet exemple à portée de toutes les intelligences pour faire comprendre que, en matière de dégâts miniers notamment, où l'on met en cause des phénomènes qui se produisent au sein du sol et des constructions où il est impossible d'aller voir la diversité infinie des compositions et des structures, il s'agit d'être encore plus prudent



*dans l'usage et l'interprétation des lois, en tenant compte des conditions dans lesquelles elles sont établies, des marges d'erreurs qu'elles admettent, des limites dans lesquelles elles sont applicables en se gardant des illusions que peuvent produire des sens imparfaitement éduqués ou des appareils de mesure imparfaits et en évitant les erreurs de jugement qui peuvent facilement s'introduire dans les raisonnements par induction et dont il sera question plus loin.*

En présence d'un dommage déterminé, l'expert qui connaît toutes les causes de perturbations et les effets compatibles avec ces causes est maintenant en état de conclure d'un effet à l'action d'une cause par le procédé de l'induction, le seul possible mais bien dangereux ; ce procédé exige en effet la connaissance complète des causes et de leurs effets et une grande prudence dans le raisonnement car, ainsi qu'il a déjà été dit précédemment, le même effet peut être produit pour des causes différentes.

Démêler ces diverses causes est un art analogue à celui du médecin qui pose un diagnostic, ou du magistrat qui instruit un crime.

Il y a toutefois une différence entre l'art de l'expert et celui du médecin ou du juge d'instruction ; l'expert se trouve en effet devant des organismes muets ; tout au plus peut-il escompter certaines déclarations plus ou moins exactes des occupants d'un immeuble, sur la date d'apparition des dégradations et éventuellement sur l'évolution de ces dégradations ; le médecin est aidé par les observations du patient, pas toujours correctement exécutées, il est

vrai, tandis que le magistrat instructeur doit démêler, dans les aveux d'un inculpé, ce qui est vrai de ce qu'il y mélange pour améliorer son cas.

Un exemple d'erreurs de jugement faites à l'occasion d'un raisonnement par induction a déjà été signalé dans la note précédente ; c'est celle qui consiste à imputer exclusivement, dans tous les cas, à l'imperfection du matériel expérimental les oscillations que présente la trajectoire d'une boule roulant sur un plan incliné, alors que les trépidations de la rue pourraient y avoir une part.

De même commettrait une erreur de jugement l'observateur qui, voyant rouler une grosse pierre sur le flanc d'une montagne, en conclurait que le mouvement de cette pierre se fait conformément à la loi établie pour la chute des grosses pierres sur le flanc de cette montagne, sans se préoccuper de savoir si cette pierre n'a pas été lancée, c'est-à-dire en négligeant une cause capable de perturber complètement le phénomène codifié par la loi.

Pour démêler les causes ayant produit un effet déterminé dans un organisme muet, l'expert doit rechercher les concordances et discordances existant entre l'effet constaté et les effets compatibles avec les causes présumées.

Pour retenir l'action d'une des causes présumées, il importe qu'une concordance suffisante puisse être relevée entre effet réel et effet théoriquement compatible avec cette cause dans le domaine du temps d'abord, dans celui de l'espace ensuite et tant dans la production de l'effet (forme et date) que dans son évolution et sa répartition.

#### 4. LE CRITERE DES CONCORDANCES CHRONOLOGIQUES

Il est évident, par exemple, que des dégradations apparues avant 1940 ne peuvent pas être imputées à des faits de guerre ; de même, ne peuvent être attribuées à l'action minière des lésions qui seraient survenues avant que des chantiers d'exploitation ne s'approchent de la région litigieuse.

Il est toujours intéressant de connaître la date d'apparition des dégradations ; c'est pourquoi il y a lieu de s'enquérir, auprès des occupants de l'immeuble, de leurs connaissances en la matière. Il faut bien avouer cependant que celles-ci ne sont pas toujours précises, ou encore que les déclarations recueillies sont parfois empreintes d'une certaine réticence ; on rencontre même des cas où ces déclarations sont nettement inexactes.

Il est du devoir de l'expert de contrôler l'exactitude de ces déclarations ; de nombreux recouplements peuvent être utilisés à cet effet : recherche de la date de la pose de certains papiers peints, de l'exécution de certaines peintures ou de certains travaux de réparations dont on voit la trace ; il est de plus assez souvent possible à l'expert d'estimer

avec une certaine approximation l'âge d'une fissure et en tout cas de distinguer les récentes des anciennes par l'aspect de fraîcheur des premières et l'accumulation des poussières et débris divers qui donnent une teinte foncée aux secondes.

Si la connaissance de la date d'apparition des lésions est fort utile, elle n'est cependant pas absolument indispensable pour arriver à conclure à l'influence réelle d'une cause déterminée, car il existe d'autres relations de concordance à utiliser.

Une de ces relations se rapporte à l'évolution des lésions dans le temps.

Cette évolution n'est elle-même pas toujours observable étant donné que le délai dans lequel doit se faire une expertise est généralement court.

Cependant, il est parfois possible de connaître à peu près cette évolution en recueillant les déclarations des occupants ou anciens occupants de l'immeuble ; si l'on dispose d'un délai suffisant pour faire des observations continues, on placera des témoins sur les lésions ou bien on relèvera l'ouverture et l'état de celles-ci à des intervalles réguliers.

La connaissance de l'évolution des lésions dans le temps revêt un caractère d'importance égale à celle de la date d'apparition des lésions.

En effet, les différentes causes de lésions produisent des évolutions différentes : les influences minières ont cette propriété de créer un dommage qui se manifeste en général de 6 mois à un an après le déhouillement, qui s'aggrave rapidement pendant les trois ou quatre premières années qui suivent son apparition, ensuite de plus en plus lentement pendant encore quelques années pour tendre enfin à la stabilité au terme d'une période qui n'excède en général pas une dizaine d'années après le passage de l'exploitation ; l'explosion d'un engin de guerre produit au contraire un dommage instantané qui n'évolue pas après sa production ; le glissement naturel du sol d'assise (solifluxion) étant de son côté un phénomène géologique dont la durée se mesure en siècles, produit un dommage qui ne cesse de croître d'une façon lente et progressive ; il en est encore de même des lésions produites par la vétusté ; les fluctuations du niveau de la nappe aquifère sont en relation avec les précipitations atmosphériques et donc saisonnières et il en résulte que l'évolution des dégâts se marque par des alternatives saisonnières d'intensités différentes de ces dégâts, tandis que les autres causes créent un dommage évoluant le plus souvent dans le même sens et en tout cas indépendamment du cycle des saisons.

Après ce qui a été dit de l'établissement des lois naturelles, on comprendra sans peine que la chronologie de l'évolution d'une lésion produite par une cause déterminée ne réponde pas nécessairement aux caractères qui viennent d'être décrits, lesquels cependant se rapportent à la généralité des cas.

L'apparition et l'évolution des influences minières étant fonctions de la profondeur de l'exploitation, de la nature des terrains qui surmontent celle-ci, du mode d'exploitation, de la forme et de la solidité des constructions, les écarts que peuvent présenter les cas d'espèce avec la loi générale peuvent être assez grands.

Dans les gisements en veines minces, exploitées à faible profondeur (300 à 400 m), on a constaté que les effets de l'exploitation sont perceptibles après 6 mois, mais on connaît des cas de transmission beaucoup plus lente (12 à 15 mois dans le bassin de Sarrebrück) ; pour les exploitations à grande profondeur (1.000 m), la transmission de l'affaissement exige un minimum de un an.

La transmission est d'autant plus rapide que les terrains surincombants sont moins résistants : une couverture de terrain plastique ou de terrains déjà remués et déconsolidés par des exploitations antérieures cède plus aisément qu'une formation puissante de grès dur.

Cependant, la dureté exceptionnelle des roches surplombant l'exploitation ne joue qu'un rôle res-

treint dans le cas d'exploitations réalisées sur de grandes surfaces et le retard à l'affaissement dans le temps est minime : il a été constaté, en mesurant l'épaisseur des remblais dans des exploitations d'une couche du Bassin de Liège, couche surmontée d'un toit en grès particulièrement dur, que la descente du toit était en un endroit égale aux 5/5 de l'ouverture de la couche, 26 ans après l'exploitation ; en un autre endroit, cette descente était égale à la moitié de la même ouverture, 26 ans également après l'exploitation ; en un troisième endroit, elle était encore égale à la moitié de l'ouverture 17 ans après l'exploitation ; en un quatrième, elle était de 54 % de l'ouverture, deux ans après l'exploitation ; en d'autres endroits, le toit de la couche reposait sur les remblais et comprimait ceux-ci déjà 6 mois après la mise en exploitation (experts Delruelle, Roselier et Paul Thonnart, ingénieurs désignés par jugement du 8-11-1926 de la 5<sup>e</sup> Chambre du Tribunal Civil de 1<sup>re</sup> Instance de Liège, dans une affaire Severyns c/Abhooz ; rapport déposé le 19 novembre 1932).

Par contre, si les vides n'affectent pas une grande surface, la présence d'un toit en grès dur est un élément favorable à la stabilité, ainsi que l'ont constaté les experts précités dans d'anciennes galeries creusées en ferme dans la même couche : dans la voie de fond d'une ancienne vallée creusée en ferme qui fut dénoyée en août 1929, le toit de la couche, dépourvu de boisage sur de grandes surfaces, était resté intact.

La rapidité plus ou moins grande de la propagation des affaissements à la surface dépendant, ainsi qu'on vient de le voir, de la rupture du toit des couches exploitées, il va de soi que le mode d'exploitation constitue un facteur du phénomène. Il est certain que, dans les exploitations à remblayage pneumatique ou hydraulique ou même à remblai ordinaire, dans lesquelles l'étañonnage est laissé en place, la rupture du toit survient moins rapidement que dans les exploitations par foudroyage du toit, dans lesquelles l'étañonnage est récupéré.

Dans les premières, l'ébranlement des roches surincombantes atteindra la surface du sol moins rapidement que dans les secondes.

C'est encore grâce à la stabilité du toit acquise par le mode d'exploitation que d'anciens travaux ont pu être inoffensifs pour les constructions superficielles pendant de très nombreuses années (même plus d'un siècle), qu'il s'agisse d'exploitations par piliers abandonnés ou d'exploitations par chambres, dans la houille, la marne ou les phosphates.

Mais il n'y a pas que la date d'apparition de l'ébranlement à la surface du sol qui soit fonction du mode d'exploitation et de la nature des roches surmontant cette exploitation ; toute l'évolution chronologique du phénomène d'affaissement est en relation avec ces facteurs.

Il serait exagéré de vouloir admettre comme règle absolue de cette évolution celle qui a été énoncée aux pages 180 et 185 du présent rapport, d'après laquelle les affaissements se produiraient pendant la dizaine d'années qui suivent la date de l'exploitation, avec une intensité croissante pendant les 2 ou 3 premières années, décroissante ensuite jusqu'à l'expiration du terme de dix ans après le passage des déhouillements.

Dans les exploitations avec remblayage pneumatique ou hydraulique, la phase des affaissements croissants est peu sensible ; il en est de même quand l'affaissement est dû à une exploitation à grande profondeur (les tassements sont plus uniformes).

Quant au moment où l'affaissement cesse, c'est-à-dire où le tassement des terrains ébranlés n'est plus guère perceptible à la surface, si le plus souvent, il survient environ 10 ans après le passage de l'exploitation, on peut citer de nombreux cas où il n'arrive qu'après 20 ou 25 ans, parfois davantage. Tout d'abord, plus la surface déhouillée est grande, ou bien plus est grande la profondeur, plus le massif ébranlé est considérable et plus il faut du temps pour qu'il reprenne un état d'équilibre stable.

Pendant, une longueur anormale de la période des affaissements à la surface provient le plus souvent d'une composition particulière du sous-sol et peut se rencontrer quelle que soit la profondeur des exploitations ; qu'il s'agisse de terrains traversés par de nombreuses failles par exemple et surmontés de morts-terrains contenant une nappe aquifère, le vide des exploitations peut avoir pour effet d'ouvrir ou de réouvrir les failles, d'épuiser la nappe aquifère par ces failles, lorsque le manteau imperméable sur lequel repose la nappe est susceptible de se fissurer en se déformant et donc de créer dans les morts-terrains des courants d'eau à trajectoires privilégiées, le long desquelles les particules argileuses ou sableuses des morts-terrains sont peu à peu entraînées par le courant produisant des vides qui sont nécessairement localisés et n'ont aucune raison de cesser de se produire. Il en résulte que, dans certaines régions, le sol ne cesse de s'affaisser, créant un dommage qui peut se développer sur une très longue période de temps ; un tel dommage se caractérise d'ailleurs par une forme spéciale et sa répartition dans l'espace a également une forme déterminée dont il sera question plus loin.

J'ai rencontré une autre cause de tassements particulièrement prolongés (plusieurs siècles) et en relation avec des exploitations à très faible profondeur (20 à 25 m sous le niveau du sol) ; c'est encore la texture particulière des morts-terrains qui jouait un rôle dans la durée exceptionnellement longue des affaissements du sol superficiel : des exploitations dans une couche de houille et dans le grès formant le toit de cette couche, exploitations remontant au 15<sup>e</sup> siècle, sont immédiatement surmontées d'une

forte épaisseur de limon argileux qui a commencé à s'infiltrer lentement dans les vides des exploitations par les cassures qui, un jour, se sont produites sur le mince toit protecteur qui avait été laissé ; l'exploitation avait été faite par chambres assez vastes dont le toit était maintenu çà et là par des piliers en platines de grès provenant des chantiers. Les vides ainsi créés restèrent en équilibre pendant longtemps, mais leur vie ne pouvait être éternelle : dès le moment où des fissures apparurent dans la voûte des chambres, la lente infiltration du limon surincombant commença et des dégâts apparurent à la surface ; on en signale déjà au 18<sup>e</sup> siècle (1767) et ils se produisent encore actuellement sans qu'aucun autre facteur ne soit intervenu pour faciliter le déroulement imperturbable du phénomène.

A ces exemples d'action malfaisante de l'eau, on peut d'autre part opposer des cas d'action bienfaisante due à son utilisation comme remblai ; l'eau est évidemment le meilleur remblai qui soit dans les exploitations souterraines : incompressible et remplissant tous les vides, elle s'oppose à la descente des roches exactement comme, dans un cylindre qu'elle remplirait, elle s'oppose à toute descente d'un piston qui, épousant suffisamment la forme intérieure du cylindre, ne permettrait pas la fuite du liquide ou ne la permettrait que moyennant un effort exagéré, capable de vaincre les résistances à l'écoulement par canal capillaire ou très mince. Il s'ensuit que, réserves faites sur la possibilité pour l'eau de remplir tous les vides existants (il peut subsister à certains endroits des cloches d'air, notamment dans les parties supérieures des chantiers inclinés), dès qu'un chantier a été noyé, volontairement ou non, la descente du toit n'est plus possible et les affaissements de la surface du sol dus à ce chantier s'arrêtent ; il est fort possible dans une telle circonstance de voir les influences minières s'arrêter après un laps de temps inférieur à 10 ans.

Il y a encore d'autres facteurs capables de raccourcir la période de temps pendant laquelle durent les affaissements miniers ; par exemple, la faible profondeur des exploitations (à moins de cas exceptionnels de très faible profondeur, immédiatement sous des morts-terrains plastiques, comme on l'a vu plus haut), surtout lorsqu'elle est associée à un mode d'exploitation tel que le foudroyage, produit des affaissements massifs et très rapides dont l'évolution dans le temps est le plus souvent très courte (à Cemmentry, une exploitation à 40 m de profondeur a provoqué en 5 minutes un affaissement de 5 cm et en 24 h de 25 cm).

Au contraire, lorsqu'il s'agit d'exploitations à grande profondeur et surtout lorsque ces exploitations ont déhouillé de grandes surfaces, le massif ébranlé étant très important, il faut plus de temps pour que ce massif reprenne un état d'équilibre stable, c'est-à-dire pour que la surface du sol cesse de



s'affaisser : dans ce cas, d'autre part, la phase des affaissements croissants est peu sensible (les tassements étant plus uniformes), comme cela se passe, on l'a vu plus haut, lorsque les exploitations sont remblayées hydrauliquement ou pneumatiquement.

Tout comme les influences minières, les autres causes de mouvements de la surface du sol peuvent produire des effets dont l'évolution chronologique ne répond pas toujours strictement aux règles générales d'ordre théorique.

On a déjà vu par exemple des massifs de mort-terrains en voie de glissement sur une faible pente (solifluxion), ayant suivi pendant de nombreuses années la loi générale (mouvement lent, voir page 186), accuser à un moment donné, localement le plus souvent, une allure nettement anormale par la rapidité du mouvement. Il est évident que, si d'une part le glissement est lent, tandis que d'autre part il est plus rapide, la différence entre les déroulements du phénomène provient de ce que certains facteurs essentiellement liés à la production de ce phénomène, ou bien n'existent pas dans un cas tandis qu'ils existent dans l'autre, ou bien ont au moins une importance différente d'un cas à l'autre.

Ces différences dans l'importance des facteurs qui jouent un rôle dans l'évolution du phénomène échapperont le plus souvent à l'esprit non averti des subtilités de la nature : elles ne peuvent échapper au spécialiste expérimenté.

Celui-ci qui sait que, entre autres, le glissement est facilité par la présence d'eau en plus ou moins grande quantité dans les dépôts meubles superficiels, s'inquiètera, au cas où le phénomène de glissement deviendrait à un moment donné anormalement rapide, de savoir s'il n'y a pas eu par exemple des ruptures de conduites d'eau dans le voisinage amont immédiat quelque temps avant la mise en mouvement anormale des terres en voie de glissement ; mais, sachant aussi que le mouvement de glissement des terres est facilité par les mouvements propres du substratum rocheux, tels les affaissements consécutifs à la présence de vides souterrains ou les ébranlements provoqués par les trépidations, il recherchera si de tels mouvements du substratum rocheux se sont produits ou ont pu se produire quelque temps avant que ne soit signalée la perturbation dans le déroulement normal du phénomène. Etc. etc.

Si l'évolution chronologique réelle des mouvements de la surface du sol peut donc être, dans certains cas, assez différente de celle que définissent les règles habituellement utilisées pour prévoir ces mouvements, on se rend compte qu'il faut être circonspect dans l'emploi de ces règles ; le manque de concordance entre l'évolution réelle et celle définie par les règles empiriques n'est pas un critère suffisant pour faire rejeter l'action d'une cause déterminée, sauf dans les cas où un examen minutieux des facteurs capables d'agir sur l'évolution du phéno-

mène aura prouvé qu'il n'est pas *raisonnable* d'admettre que l'évolution réelle doive s'écarter notamment de celle que définissent les règles (parce que celles-ci — je me répète — ne sont valables, comme toutes les lois naturelles, que dans un champ de variation déterminé et connu des données de la question). Et c'est à l'expérience, au bon sens et à l'objectivité des spécialistes qu'il faut faire confiance, non seulement pour déterminer en ces matières ce qui est *raisonnable* et ce qui ne l'est pas, mais encore pour définir l'allure théoriquement *la plus probable* d'un phénomène permettant d'obtenir, par l'observation des effets réels, un certain nombre de concordances ou discordances entre ces effets réels et les effets théoriquement attendus : ces concordances ou discordances constituant autant d'indices positifs ou négatifs de l'intervention réelle d'une cause présumée sur l'effet constaté, c'est par la réunion de tous ces indices dont chacun dans son domaine est affecté de la *probabilité maximum* que le spécialiste pourra en fin de compte *estimer* pouvoir conclure avec la probabilité maximum à retenir ou à rejeter l'influence de la cause étudiée ; l'avis qu'il remettra en conséquence sera le meilleur avis scientifiquement acceptable ; si cet avis n'exprime pas une certitude matérielle et encore moins absolue ou mathématique, il sera cependant l'expression d'une *certitude humaine*, c'est-à-dire suffisante pour déclencher des activités, sans laquelle d'ailleurs n'existerait que manque d'action ou hésitations stériles, en dehors de laquelle enfin ne régneraient que l'arbitraire et la fantaisie.

Si l'évolution des lésions dans une construction dépend de l'évolution des mouvements du sol sur lequel cette construction est établie, la structure de la construction elle-même joue à son tour un rôle important dans le phénomène.

Ceci est nettement évident dans le cas de lésions de ruptures (production de disjonctions, fissures, lézards et cassures).

Les ruptures constituent en effet des phénomènes qui, bien que se produisant instantanément, n'en sont pas moins préparées souvent depuis longtemps, au point qu'une construction a fort bien pu, pendant un laps de temps plus ou moins long, se déformer par suite d'un certain mouvement de son sol porteur sans que cette déformation soit apparente à l'œil, sans même qu'on puisse la déceler sauf si on dispose d'instruments de mesures spéciaux et particulièrement sensibles.

Tous les matériaux solides jouissent de la propriété suivante : lorsqu'on leur applique des efforts, ils subissent avant de se rompre des déformations plus ou moins importantes ; les ruptures ne surviennent que, lorsque les efforts dépassent une intensité déterminée, caractéristique du matériau envisagé ou lorsque les déformations dépassent une valeur déterminée, variable elle aussi avec le matériau considéré.

Dans les constructions, la nature des matériaux utilisés, leur agencement, la forme générale de la construction sont des facteurs très importants de la stabilité, c'est-à-dire de la résistance aux déformations et par suite aux ruptures.

On se rend fort bien compte qu'un immeuble construit tout en acier sur un sol en voie d'affaissement pourrait subir sans rupture des déformations importantes, tandis qu'un autre immeuble en maçonnerie ordinaire n'en supporterait que de beaucoup plus faibles avant de se casser.

On dit d'une construction en voie de déformation qu'elle est « sous tension » ; les tensions sont des efforts internes (appelés aussi « contraintes ») qui naissent avec la mise en charge par les efforts extérieurs : ce sont ces tensions internes qui produisent les déformations et toute déformation d'un solide est liée à la présence de ces tensions. Toute modification de la mise en charge (qu'elle provienne d'une modification des efforts extérieurs appliqués à la construction ou d'une modification introduite dans la disposition des appuis ou liaisons qui le maintiennent en équilibre statique) entraîne ipso facto une modification des tensions internes. Lorsque celles-ci dépassent un certain taux, et alors seulement, des ruptures se produisent.

Dès qu'une construction est édiflée, elle est déjà sous tension, puisque chacune de ses parties est mise en charge, soit par le poids propre d'autres parties, soit par des charges extérieures (action du vent, poids de surcharges telles que meubles sur les planchers, neige sur la toiture, etc.).

Construire suivant « les Règles de l'Art », c'est précisément utiliser pour la construction des matériaux appropriés, les agencer d'une certaine façon, donner à l'ensemble une forme déterminée de telle manière que, pour la mise en charge prévue par la destination de ladite construction, les tensions internes en chaque point soient suffisamment faibles pour que, non seulement aucune rupture ne soit à craindre, évidemment, mais encore pour que les déformations soient réduites au point qu'on puisse les considérer comme pratiquement nulles.

Dès lors, une construction réalisée suivant les règles de l'art dispose d'une réserve de résistance suffisante pour subir des tensions internes supplémentaires plus ou moins importantes sans risque de rupture immédiate : cette réserve de résistance dépend naturellement de la valeur de la tension interne originelle en chaque point et de celle de la tension interne maximum admissible en ce point pour qu'une rupture ne s'y produise pas.

La tension qui produit la rupture (« charge de rupture ») est déterminée au moyen d'expériences et peut être connue avec grande précision pour chaque matériau.

Quant aux tensions existant en chaque point, elles peuvent être, soit mesurées au moyen d'appareils

ad hoc (tensomètres), soit calculées avec une approximation convenable au moyen des lois de la mécanique rationnelle (lorsqu'on connaît la mise en charge) ou des lois de la résistance des matériaux (lorsqu'on connaît les déformations), ou de ces deux sciences à la fois.

Nous nous trouvons ici dans un domaine (détermination des tensions et des déformations et non de leurs causes) où peut régner une précision aussi grande que le demanderait la nature d'un problème à résoudre ; dans le domaine considéré, une construction peut, en effet, toujours être auscultée jusque dans ses moindres détails.

En général, les tensions internes dans une construction correctement calculée n'atteignent pas le dixième de la tension qui provoquerait une rupture.

Dans ces conditions, cette construction pourra subir, sans qu'elle nécessairement se casse, certaines déformations accidentelles de son sol d'assise (affaissements ou glissements, quelle qu'en soit la cause). En fait, nombreux sont les cas que l'on pourrait citer de constructions, même en maçonnerie de briques ordinaires, qui ont subi des affaissements sans se rompre exactement, comme, par exemple, les chaudières peuvent supporter sans rupture des pressions supérieures à celles pour lesquelles elles ont été calculées : tout ici est affaire de « limites » à ne pas dépasser, de manière à ne pas compromettre une « sécurité » qui a été largement prévue par les « Règles de l'Art ».

Ces considérations conduisent à deux observations importantes :

a) Toute construction qui subit l'influence d'une déformation de son sol d'assise, que ce soit par affaissement ou glissement et quelle que soit la cause, minime ou non, de cette déformation, est soumise ipso facto à des tensions internes qui dépassent les valeurs normales admises par les règles de l'art de construire, même si aucune fissure n'y est décelable. La présence de ces tensions supérieures aux tensions normales constitue une véritable dégradation de la construction. La cause créatrice du surcroît de tension est une cause déterminante de dégradation, même s'il n'y a pas de fissure. Et si une autre cause survient après coup, ajoutant à son tour des tensions aux précédentes, de manière à amener la tension totale à dépasser la tension de rupture en un point, la responsabilité de la rupture ne paraît pas techniquement devoir être nécessairement imputée à cette seconde cause à l'exclusion de la première.

Mais ceci se rapporte directement à l'exécution de départages éventuels et sera traité plus loin.

b) En ce qui concerne le parallélisme entre l'évolution des lésions et celle des effets théoriques de leurs causes, on peut dire que ce parallélisme n'est pas nécessairement toujours apparent, puisqu'il existe des cas où les lésions ne sont pas apparentes

(parce qu'il n'y a pas de ruptures) quoique l'influence existe et donc que la construction se trouve soumise à des tensions anormales.

Cette remarque, jointe à tout ce qui a précédé relativement à l'interprétation des règles théoriques sur l'évolution chronologique des mouvements de la surface du sol, donne plus de poids encore aux in-

jonctions à la *prudence* dans l'interprétation des règles théoriques par lesquelles s'établissent les concordances ou les discordances entre des *phénomènes dont l'œil et nos moyens d'investigation, à vrai dire rudimentaires, ne perçoivent que la partie spectaculaire* (déversements, fissuration) et les causes présumées de ces phénomènes.

## 5. LE CRITERE DES CONCORDANCES SPATIALES

Ici également, la recherche des concordances entre les effets réels et les effets théoriquement compatibles avec une cause présumée doit être menée avec une grande circonspection.

Il est évident que des dégradations apparues dans des maisons à Saint-Hubert ne peuvent être imputées aux exploitations minières de la région liégeoise ; de même, n'ira-t-on pas imputer à des explosions d'engins de guerre des lésions apparues à 200 km de tout point où une telle explosion s'est produite ; pas davantage n'attribuera-t-on à la vétusté des dégradations relevées dans un immeuble neuf ou aux trépidations de la voirie, les fissures qui se manifestent dans une ferme isolée à plusieurs kilomètres d'une grande voie de communication.

Si les affirmations précédentes ne font qu'exprimer une évidence à la portée de tout observateur même superficiel, elles n'ont été formulées que parce qu'elles permettent la généralisation suivante qui ne souffre pas d'exception : « *toute déformation du sol d'assise d'une construction, imputable à une cause déterminée, s'arrête quelque part* » ; au-delà d'un certain périmètre, à l'intérieur duquel se produit la déformation due à la cause envisagée, il n'y a plus de déformation imputable à cette cause.

Ainsi, les affaissements de la surface du sol consécutifs au déhouillement d'une couche ne se produisent que dans la région appelée « zone d'influence » du chantier ouvert dans cette couche ; à l'extérieur de cette zone, ne fût-ce qu'à 0,25 m au-delà de son périmètre extérieur, il n'existe plus d'affaissement imputable à l'affaissement du toit du chantier considéré. Cependant, ceci ne signifie pas qu'une maison située en dehors de la zone des affaissements ne doive pas comporter de dégradations, car la zone des lésions peut localement être plus étendue que la zone des affaissements : ceci se passe à peu près chaque fois qu'une construction, se trouvant à la limite de la zone des affaissements, est reliée à d'autres constructions situées au-delà (maisons d'une rue par exemple) ; la construction édifée à la lisière de la zone des affaissements transmet aux constructions qui forment bloc avec elle des efforts éventuellement capables de déformer et dégrader ces dernières.

La détermination du périmètre de la zone d'influence d'un chantier d'exploitation est faite, dans

le bassin de Liège, le plus souvent au moyen des Règles de Thiriart dont un rapide exposé a été fait déjà aux pages 180 et 181.

Pour comprendre la formation des cuvettes d'affaissements (zones d'influences), on pourra utilement consulter la figure 2 qui est une représentation schématique et sommaire du phénomène.

La couche est en pente vers le sud ; l'amont-pendage est donc au nord et l'aval-pendage au sud. Les pentes des talus (ou bords) de la cuvette sont indiquées par des flèches. Le périmètre de la zone d'influence est noté RSTUVXYZ. L'affaissement maximum (fond de la cuvette) est représenté par  $AM = BN = CP = DQ$ .

On y voit un chantier d'exploitation auquel on a supposé la forme rectangulaire EFGH, dans une couche en pente vers le sud. La limite nord EF de ce chantier se trouve, vu la pente, à un niveau supérieur à la limite sud GH, et constitue donc la limite-amont du chantier, tandis que GH en est la limite-aval ; les limites latérales est (FG) et ouest (HE) sont dites limites latérales.

La descente du toit de la couche, dans la partie exploitée, entraîne finalement la descente du massif surincombant compris entre les cassures secondaires dont il a été question page 181 ; ces cassures secondaires, qui partent des limites de l'exploitation, comprennent 4 plans raccordés par des surfaces courbes (coniques) ; des cassures planes, seules ont été figurées : celle qui part de la limite-aval GH du chantier et qui est dite « cassure d'aval-pendage » ( $GH \times V$ ), et celle qui part de la limite latérale est FG, appelée de ce chef « cassure latérale » ; les cassures de raccordement HXY, GVU, entre la cassure d'aval-pendage et les cassures latérales, sont également représentées.

L'affleurement à la surface du sol des cassures secondaires se fait suivant la ligne RSTUVXYZ qui constitue le périmètre extérieur de la zone d'influence (cuvette d'affaissement) ; c'est à l'intérieur de ce périmètre que le terrain superficiel s'affaisse.

L'affaissement maximum (dont l'importance est figurée par  $AM = BN = CP = DQ$ ) se produit à l'intérieur du périmètre ABCD qui limite extérieurement ce qu'on appelle le fond de la cuvette, où tous les affaissements sont théoriquement égaux. Le



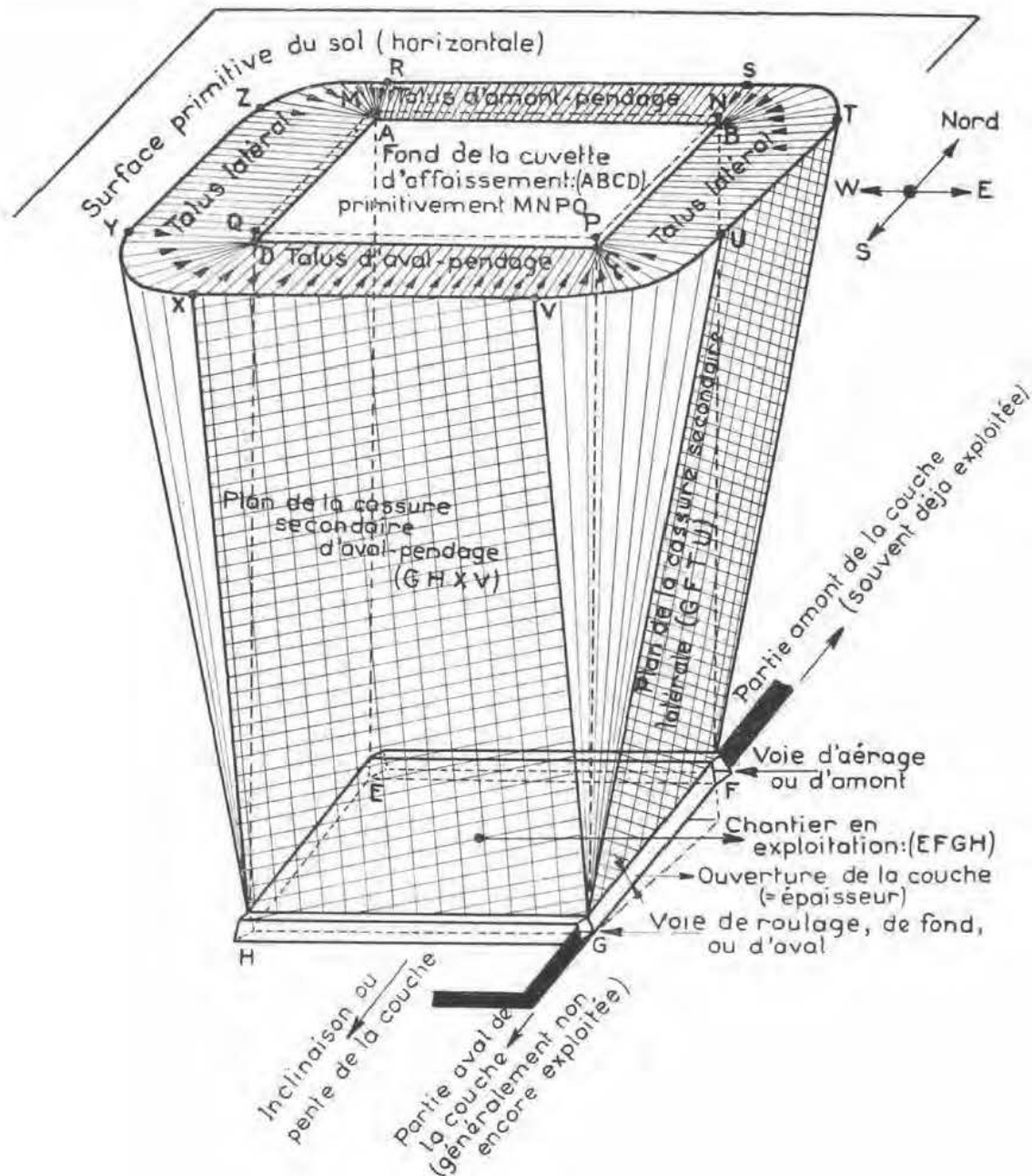


Fig. 2.

fond de la cuvette se trouve, sinon tout à fait exactement dans l'aplomb de la surface exploitée  $EFGH$ , tout au moins très près de cet aplomb : notamment  $BC$  est dans l'aplomb de  $FG$ ,  $AD$  dans l'aplomb de  $EH$ , tandis que  $AB$  et  $CD$  sont au sud de  $EF$  et  $GH$  respectivement (donc hors de l'aplomb et du côté de la pente de la couche) ; ces différentes positions résultent en effet de la position des cassures primaires (non figurées), dont il a été question à la page 181 et dont les latérales  $BCGF$  et  $ADHE$  sont verticales, tandis que celles d'amont  $ABFE$  et d'aval  $CDHG$  sont comprises entre les normales à la couche et les verticales passant par les limites amont et aval de l'exploitation (p. 181), c'est-à-dire ont pied nord dans le cas de la figure.

Enfin, le fond de cuvette est raccordé au périmètre extérieur par des talus inclinés qui indiquent, par leur pente, comment les affaissements sont ici variables en grandeur et précisément décroissants entre le fond de la cuvette où ils sont maxima et le périmètre extérieur, où ils sont nuls. Le talus  $ARSB$  est celui « d'amont-pendage »,  $CUXD$  celui « d'aval-pendage » et les deux autres,  $BTUC$  et  $DYZA$  sont les « talus latéraux » ; on comprend aisément ces dénominations après ce qui a été dit ci-avant : les talus plans qui viennent d'être cités sont enfin raccordés par des talus courbes  $BST$ ,  $CUV$ ,  $DXY$  et  $AZR$ .

Les règles de Thiriart ont pour objet de faire connaître les inclinaisons des plans des cassures secon-

dares, c'est-à-dire de permettre, dès que la profondeur du chantier est connue, la détermination des dimensions du périmètre extérieur de la cuvette.

Or, il faut savoir qu'il existe d'autres règles tendant au même but :

a) la règle de la verticale, appliquée par les anciens et d'après laquelle la zone d'affaissement serait dans l'aplomb du vide de l'exploitation ; cette règle est abandonnée depuis que les observations ont démontré que cette zone s'étend en dehors de l'aplomb des limites de l'exploitation ;

b) la règle de la normale, aujourd'hui abandonnée aussi, qui admet que les affaissements se propagent normalement (perpendiculairement) au vide de l'exploitation ;

c) la règle de la tangente, qui est encore applicable aujourd'hui pour déterminer les plans des cassures primaires (voir page 181) ;

d) la règle Westphalienne ou de Dortmund, qui a été adoptée pour déterminer les massifs de protection à laisser sous le canal du Rhin à l'Elbe et s'est vérifiée pour des couches peu inclinées en Belgique et dans le Pas-de-Calais ;

e) la règle Silésienne, utilisée dans le Bassin de Silésie où l'exploitation se fait par foudroyage ;

f) la règle du Lancashire appliquée dans les houillères anglaises.

Pourquoi tant de règles différentes ? Tout simplement parce que d'abord la théorie de la rupture des massifs cohérents surmontant un vide a évolué en se perfectionnant ; ensuite parce que les observations de plus en plus nombreuses des affaissements miniers ont prouvé l'insuffisance des conceptions que l'on se faisait jadis de ces phénomènes ; enfin, parce que ces règles se rapportent à un phénomène naturel excessivement complexe dont tous les facteurs ont une existence connue, mais dont certains de ces facteurs (composition du sous-sol traversé par les cassures, propriétés mécaniques de ce sous-sol en tenant compte de la profondeur, c'est-à-dire de la pression exercée par les roches surincombantes) ne peuvent pas être mesurés avec une précision suffisante, étant donné l'indigence actuelle des méthodes d'investigation scientifique en ce domaine.

L'exemple donné aux pages 192 à 195 a précisé-ment eu pour but de montrer les difficultés de l'étude d'un phénomène naturel et la valeur qu'on peut attribuer aux règles ou lois qui expriment l'allure du phénomène.

Il permettra de comprendre que, en matière d'affaissements miniers, comme en matière d'affaissements ou de glissements du sol superficiel sous toute autre cause, le phénomène se déroule d'une manière ici et pas nécessairement de la même là.

A la vérité, ainsi que je l'ai écrit dans un récent rapport, on ne pourra jamais trouver de règle parfaite capable d'exprimer l'infinie variété des nuances que comportent les phénomènes en cause.

Tout au plus sera-t-il possible un jour de « voir » ce qui se passe dans chaque cas d'espèce, au moyen d'instruments ultra-perfectionnés qui, non seulement décèleront les cassures s'élevant depuis un chantier d'exploitation jusqu'à la surface, mais aussi analyseront tous les mouvements qui se produisent au sein du sous-sol, que ce soit depuis une nappe aquifère où circulent des eaux souterraines, depuis une source d'oscillations superficielle (trépidations) ou souterraine (phénomènes sismiques), depuis un accident géologique en voie d'évolution, ou depuis toute autre cause de perturbation.

En attendant, seuls des spécialistes objectifs et perspicaces pourront démêler l'écheveau que constituent les phénomènes en cause, en manipulant sans fausse interprétation les seules méthodes de recherches mises à leur disposition par l'état actuel de la science.

En matière d'influences minières, la méthode a déjà été décrite et il n'y en a pas d'autre, qu'on le veuille ou non ; l'usage de cette méthode exige la détermination préalable d'un contour approché de la zone d'influence. Cette détermination se fait au moyen de l'une des règles citées plus haut et il n'y a lieu de voir, dans le fait qu'un immeuble se trouve dans ladite zone d'influence, qu'un simple indice de la probabilité de l'action minière sur cet immeuble, exactement comme on ne pourrait voir, dans le fait qu'un immeuble a subi des dégradations pendant une période considérée par une certaine règle théorique comme étant la période moyenne pendant laquelle se développent normalement les influences minières, qu'un autre indice simple de la probabilité de l'action minière sur cet immeuble.

En comprenant ainsi les règles de Thiriart, il n'y a pas d'excès à redouter dans leur utilisation, excès qui sont probablement à l'origine de la position qu'adoptent à leur sujet d'éminentes personnalités scientifiques et notamment M. H. Labasse, Professeur d'Exploitation des Mines à l'Université de Liège, en s'inscrivant en faux contre leur valeur de « règles » ou « lois ».

C'est du manque de souplesse dans l'usage de ces règles que peuvent naître de véritables erreurs grossières, tout comme il peut s'en produire dans l'interprétation trop rigide des lois naturelles exprimées le plus souvent par un énoncé réduit dans lequel ne sont pas toujours citées toutes les conditions d'établissement et pour lesquelles ledit énoncé ne laisse pas non plus toujours percevoir la possibilité de restrictions, d'extensions et même, dans certains cas, la carence.

Si précise qu'elle soit, une règle relative en mouvement de chute d'une pierre sur le flanc d'une montagne se trouvera souvent prise en défaut. Personne ici n'aura l'idée d'admettre que la loi s'applique sine varietur à tous les cas, parce que l'observation même élémentaire du phénomène a fait immé-

diatement deviner la portée de la loi, ce qui n'est malheureusement pas le cas lorsqu'il s'agit de phénomènes difficilement observables dans leur développement complet et dont de nombreux facteurs ne tombent pas sous les sens.

Quoi qu'il en soit, aucune règle meilleure que celles de Thiriart n'a été proposée à ce jour, qui ait pour objet de faire connaître la zone d'influence en surface d'un chantier d'exploitation souterraine.

La zone d'influence *réelle* d'un chantier souterrain n'étant pas nécessairement la même que celle que prévoient les règles de Thiriart, mais pouvant être ou plus petite ou plus grande que cette dernière, il y a lieu d'être au courant des facteurs capables de produire des réductions ou des extensions de l'aire influencée.

Tout d'abord, il faut savoir que, en réalité, les cassures qui partent de l'exploitation souterraine ne sont pas planes mais constituent des surfaces courbes ayant la forme de cloches, ainsi que le représente la figure 3.

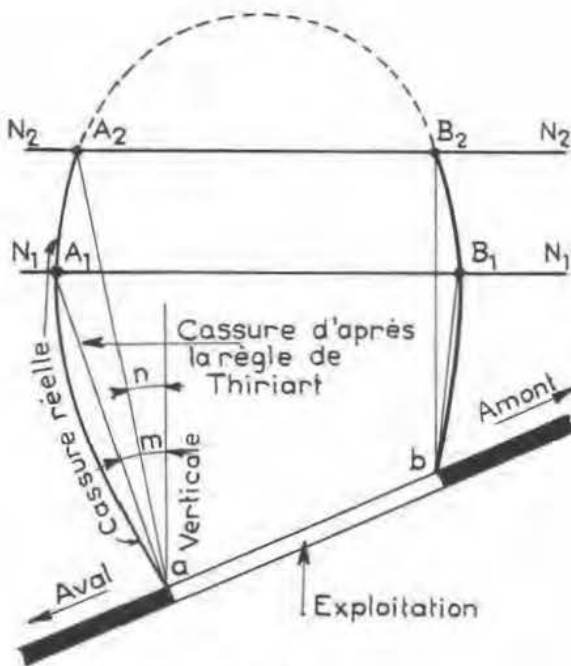


Fig. 3.

(A remarquer que ces surfaces courbes, obtenues par expériences sur modèles réduits — les expériences ont été faites par Fayol — ont la même allure parabolique que les fissures qui apparaissent dans les murs fondés sur un sol en voie d'affaissement - cf C. Russo, op. cit. page 191 et seq. et fig. 4).

Si, sur la figure 3, on suppose que la surface du sol est en  $N_1$  (exploitation à moyenne profondeur), l'affleurement  $A_1$  de la cassure d'aval-pendage occupe une position telle que, si on remplace la cassure courbe  $aA_1$  par une cassure droite  $aA_2$ , celle-ci fait avec la verticale passant par  $a$  un angle  $m$ ; si

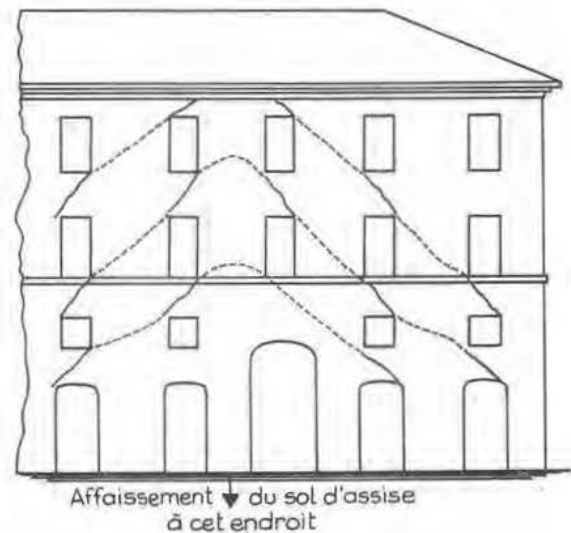


Fig. 4

la surface du sol est en  $N_2$  (exploitation plus profonde) l'affleurement  $A_2$  de la même cassure courbe d'aval-pendage est tel que, si on considère la droite  $aA_2$ , celle-ci fait avec la verticale un angle  $n$  plus petit que  $m$ . Le même phénomène se produit à l'amont-pendage.

On se rend aisément compte de ce que la simplification introduite par la considération de cassures planes n'est valable que pour autant que les chantiers souterrains se trouvent à une profondeur donnée.

Les règles de Thiriart sont établies pour des exploitations à moyenne profondeur (400-600 m); plus les travaux sont à grande profondeur, plus les cassures secondaires planes théoriques se rapprochent de la verticale, ce qui amène à réduire les dimensions de la cuvette d'affaissement calculée au moyen de ces règles; dans le cas contraire (travaux à faible profondeur), les cassures planes théoriques s'écartent souvent davantage de la verticale et les cuvettes d'affaissements sont par suite souvent plus importantes que ne le laissent prévoir les règles de Thiriart.

Il faut savoir en outre que, plus les terrains surincombants sont solides, plus les cassures secondaires se rapprochent de la verticale, ce qui amène à réduire les dimensions de la cuvette d'affaissement calculée au moyen des règles de Thiriart.

Par contre, plus les terrains surincombants sont meubles (soit qu'ils aient déjà été disloqués par de nombreuses exploitations précédentes, soit qu'il s'agisse de morts-terrains tels que marnes, graviers, sables recouvrant le terrain houiller), plus les cassures secondaires s'écartent de la verticale et plus les règles de Thiriart donnent des cuvettes d'affaissements trop petites.

Ainsi, l'inclinaison la plus grande que fasse une cassure secondaire avec la verticale est, d'après une



des règles de Thiriart (exploitation à moyenne profondeur), égale à  $29^{\circ} 45'$  (cassure d'aval-pendage d'une exploitation dans une couche inclinée à  $50^{\circ}$  sur l'horizontale), tandis que l'inclinaison la plus faible est de  $10^{\circ} 15'$  (cassure d'amont-pendage de la même exploitation) ; toutes les cassures secondaires se propagent donc en moyenne (pour des chantiers

à moyenne profondeur) dans le terrain houiller en faisant avec la verticale des angles compris entre  $10^{\circ} 15'$  et  $29^{\circ} 45'$  ; lorsque ces cassures traversent des marnes, elles le font sous un angle de  $22^{\circ}$  avec la verticale ; cet angle est porté à  $45^{\circ}$  lorsque les cassures se propagent dans des graviers et à  $60^{\circ}$  lorsqu'elles se propagent dans le sable (fig. 5).

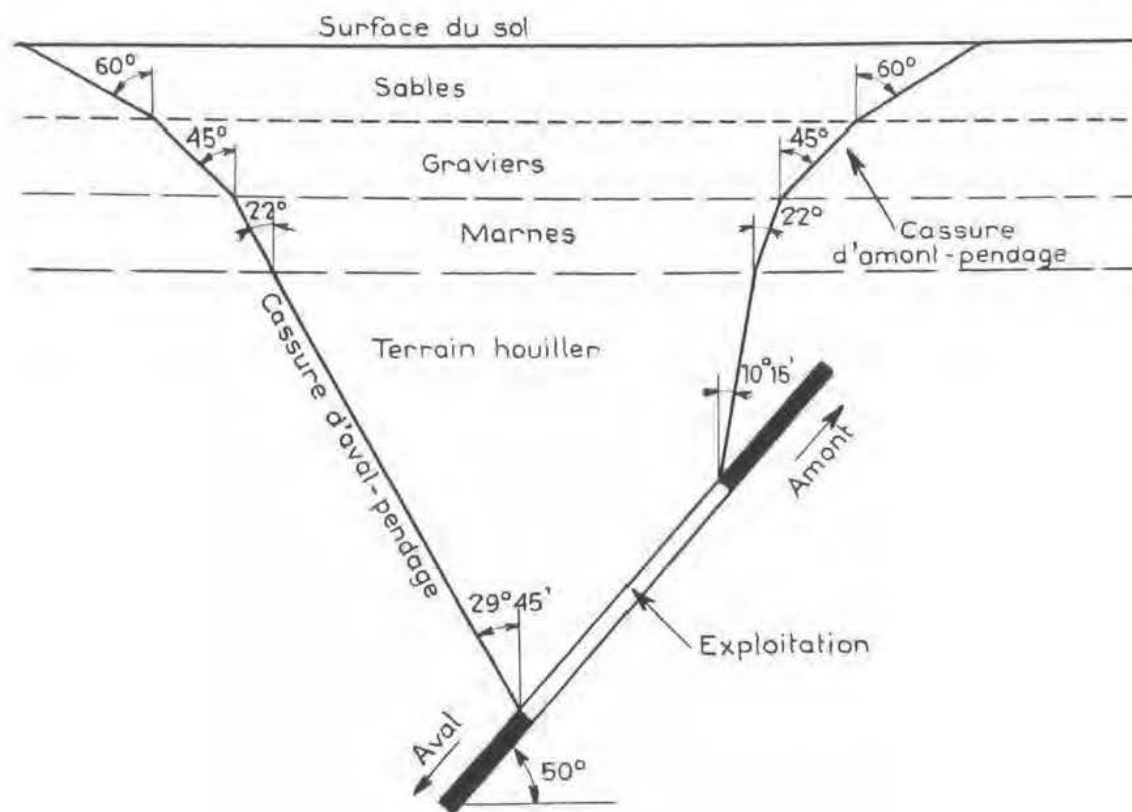


Fig. 5.

Dans les sables bouillants, les cassures se rapprochent encore davantage de l'horizontale, au point que les effets des exploitations souterraines se font sentir à de très grandes distances et que les règles de Thiriart n'ont plus aucune signification.

En écrivant ce qui précède, je n'ignore pas les acquisitions récentes sur le mode de propagation des cassures minières dans les schistes et dans les grès du terrain houiller, mais je tiens à déclarer que ces acquisitions (Philips, D.W., 1938 : Les Roches houillères, leurs propriétés et leur influence dans le problème du soutènement. Annales des Mines de Belgique, t. IX, pp. 581-616. — Baudart, P., 1945 : Réflexions sur les pressions de terrain. Revue Universelle des Mines, Mémoire, n° 111, pp. 102-106), si elles ont pu aider l'exploitant, n'ont jusqu'à présent fait faire aucun progrès à l'étude des affaissements. Ainsi que je l'ai dit plus haut, aucun rapport positif n'a été réalisé qui permette d'énoncer des règles nouvelles capables de remplacer avantageuse-

ment les règles de Thiriart dans notre bassin houiller liégeois.

Les règles théoriques peuvent être mises en défaut par d'autres phénomènes tels que rencontre de failles, stratification discordante, épuisement des eaux, présence d'anciennes exploitations à niveau supérieur, non encore affaissées par suite d'un mode d'exploitation rencontré souvent dans les travaux anciens et qui consiste à laisser des piliers ou massifs destinés au soutènement.

Les failles sont des cassures naturelles des roches, produites par des phénomènes géologiques. Lorsqu'une cassure provenant d'une exploitation souterraine rencontre une faille, elle peut, dans certains cas, être déviée le long de celle-ci et la zone d'affaissement peut dès lors s'étendre jusqu'à l'affleurement de la faille, soit au-delà de l'affleurement normal de la cassure minière ; l'effet en est un agrandissement de la zone d'influence théorique (fig. 6, déviation

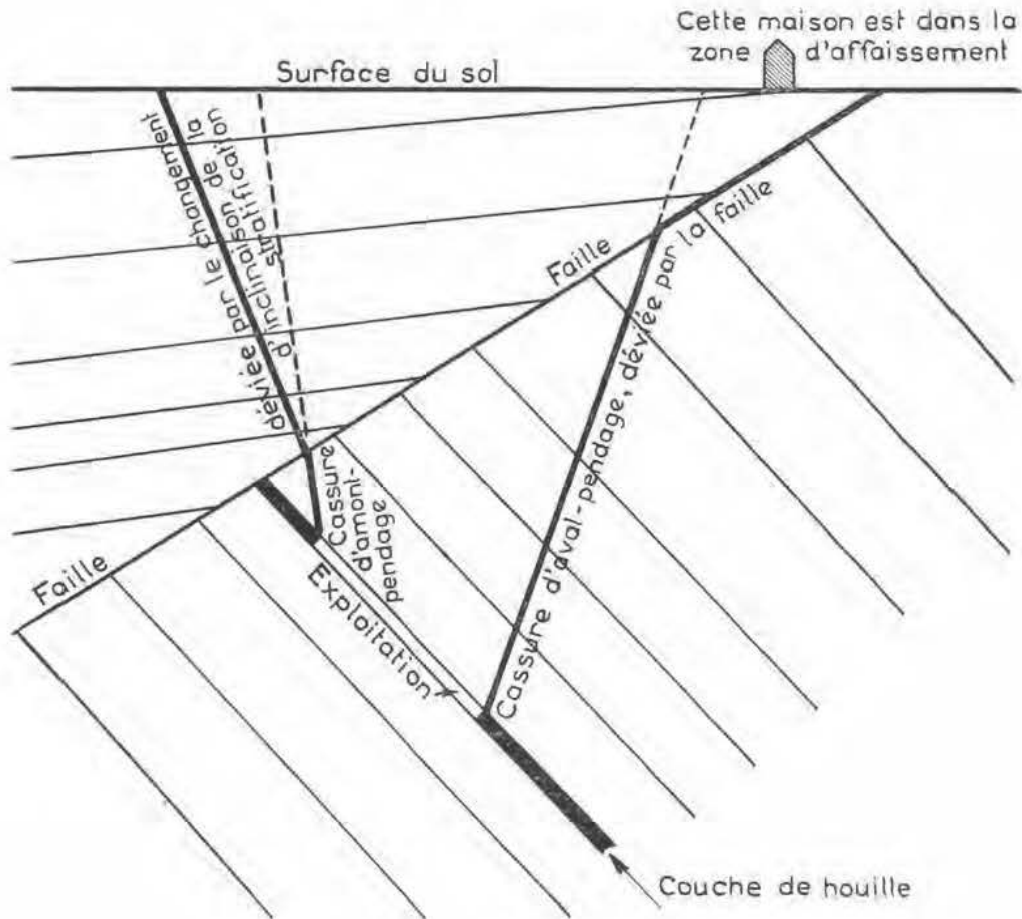


Fig. 6.

de la cassure d'aval-pendage, avec extension de la zone d'influence de ce côté).

Mais certaines failles ont pour effet de superposer des stratifications de pentes différentes : les cassures secondaires étant inclinées de façon différente suivant que les bancs de roches qu'elles traversent ont des inclinaisons différentes, au passage d'une faille les cassures peuvent changer d'inclinaison ainsi que cela se voit sur la figure 6 au sujet de la cassure d'amont-pendage, qui d'abord traverse des bancs fort inclinés et n'a qu'une faible inclinaison sur la verticale (Règles de Thiriart), puis traverse au-delà de la faille des bancs moins inclinés dans lesquels elle prend une inclinaison plus forte sur la verticale.

Dans le cas de la figure, la zone d'influence est ainsi étendue du côté de l'amont-pendage ; le phénomène contraire se produirait si les pentes des roches traversées étaient interverties. Des discordances de stratification se rencontrent d'ailleurs sans présences de failles ; ce sont des formations géologiques naturelles qui proviennent du dépôt horizontal de sédiment sur des roches inclinées ; on en a vu un exemple à la figure 5 où les terrains supérieurs (marnes, graviers, sables) reposent horizontalement sur

un socle rocheux (terrain houiller) où les bancs sont très souvent inclinés.

Les changements de pentes dans la stratification plissée du terrain houiller peuvent à leur tour jouer un rôle dans la déviation des cassures ; le phénomène se produit (fig. 7) lorsque des cassures qui ont d'abord traversé des plateaux rencontrent des dressants, puis encore des plateaux, puis des dressants, etc. ; les déviations des cassures peuvent alors être telles que, finalement, la zone d'influence soit plus grande ou plus petite que celle que donnent les règles de Thiriart utilisées sans tenir compte du plissement des terrains surmontant l'exploitation.

Les cassures d'exploitation et les failles naturelles amènent d'autre part dans les travaux souterrains une certaine quantité d'eau que les mines doivent épuiser (voir p. 198). C'est pour se prémunir autant que possible contre les inconvénients et dangers des venues d'eau que l'on ménage des « stots » (massifs inexploités) immédiatement sous les morts-terrains. Ce sont les failles naturelles qui constituent les drains les plus dangereux, car leur débit est souvent bien supérieur à celui des cassures d'exploitation. La dissolution des sels calcaires et l'entraînement

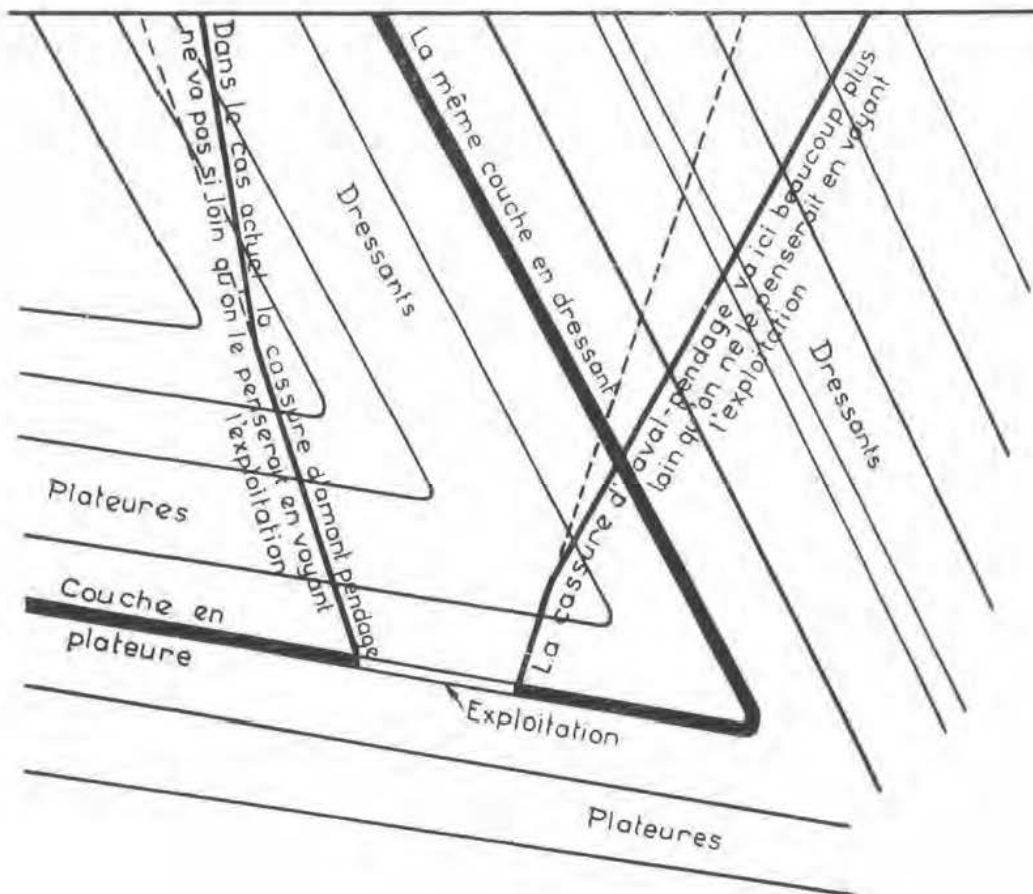


Fig. 7.

par l'eau de boues ou sables tenus sont de nature à créer à la longue un certain vide ; il est connu que l'épuisement d'eaux contenant un gramme de terre par litre crée des vides suffisants pour provoquer des tassements, surtout si l'épuisement n'agit que sur une zone assez limitée. Cette circonstance peut donc étendre les effets nocifs d'une exploitation jusqu'à une certaine distance au-delà du périmètre d'influence donné par les règles de Thiriart.

Cependant, s'il n'y a pas d'entraînement de matières solides (boues, sables) ni de dissolution (calcaires), ce qui arrive lorsque la vitesse de circulation de l'eau dans les drains est insuffisante et lorsqu'il n'y a pas de calcaire à dissoudre, l'épuisement des eaux imprégnant les terrains perméables et meubles n'occasionne aucun tassement de terrain.

Par contre, l'épuisement d'eau pure peut amener des éboulements lorsque cette eau servait de soutènement à des cavités préexistantes (voir pages 198 et 199) ; dans les grottes, l'eau soutient les bancs ; il en est de même dans les anciens travaux, exploités généralement par piliers abandonnés ; quand on épuise ces eaux, les travaux s'éboulent.

Même au cas où ces anciens travaux auraient été dénoyés sans éboulement, les effets de l'affaissement

dû à des exploitations à plus grande profondeur peuvent compromettre leur stabilité ; il suffit qu'un pilier cède pour que les suivants le fassent et que tout le toit de l'ancienne exploitation s'affaisse, créant par suite à la surface du sol une cuvette propre qui s'ajoute à celle que produit l'exploitation plus récente et profonde ; la zone totale influencée en surface lors de la production d'un tel phénomène peut être notablement plus grande que celle que l'on obtiendrait si les anciens travaux n'existaient pas ou si leur surface ne débordait pas celle des travaux récents.

Il importe encore de connaître un facteur qui peut avoir une influence sur le tracé théorique des cuvettes d'affaissements, à savoir les petites erreurs dont peuvent être affectés, soit les plans d'avancement, soit les plans de surface. Ces erreurs ne sont jamais importantes et on constate, en examinant les vérifications faites régulièrement par les officiers des mines, qu'elles n'atteignent pas la dizaine de mètres.

Si l'exactitude rigoureuse n'est pas possible dans l'établissement des plans de mines, elle doit être suffisante pour éviter les risques de ruptures d'espontes (massifs de 10 m d'épaisseur à réserver, d'après le



cahier des charges des concessions, le long et à l'intérieur des limites de concessions).

Il est évident, en effet, que l'intérêt du concessionnaire lui commande de ne pas rompre une esponge ; indépendamment des accidents qu'il risque de causer par cette faute (irruptions d'eaux de la concession voisine par exemple), il commettrait en effet une infraction au cahier des charges, capable de lui valoir de graves sanctions administratives et judiciaires.

Le concessionnaire ne peut donc pas se payer le luxe de commettre, au voisinage de la limite de concession, des erreurs de plans de l'ordre de 10 m, erreurs qui, si les travaux s'approchent jusqu'à l'esponge, pourraient avoir pour conséquence la rupture de cette esponge.

Les obligations imposées par l'Administration des Mines relativement à l'exactitude des plans miniers n'ont été précisées qu'en 1885 dans leur forme actuelle ; le plus souvent, les plans des travaux anciens sont affectés d'erreurs notables provenant le plus souvent d'une mauvaise orientation, au point que, si ces travaux anciens n'ont pas été reconnus par des reconnaissances ou des travaux plus récents, on ne puisse pas les situer toujours avec une précision suffisante.

Tout ce qui vient d'être dit au sujet des règles théoriques permettant de calculer les dimensions et la position des cuvettes d'affaissements est excellemment résumé dans le texte suivant, extrait d'un rapport d'expertise déposé le 18 février 1929 par les Experts, MM. Thonnart, Darchis et Lohest, dans un litige intéressant un immeuble appartenant à M. Burnelle, rue du Calvaire, n<sup>o</sup> 11 :

« Nous estimons que les conclusions que l'on peut tirer de toutes les théories pures doivent céder le pas aux conclusions déduites de ces théories complétées par des constatations faites sur les lieux litigieux ; car toute théorie pure comporte toujours un certain nombre d'hypothèses difficilement vérifiables et une expertise a précisément dans ses attributions de corriger autant que possible les hypothèses, afin de serrer la vérité de plus près. Nous rappelons à ce sujet que les angles d'élongation qui résultent de la théorie de M. Thiriart sont obtenus en supposant que l'angle du talus naturel des terrains situés au-dessus de l'exploitation considérée est de 50°. Ces angles d'élongation doivent donc servir de directives pour guider les recherches des experts, mais c'est à eux, par leurs observations sur les lieux, à vérifier l'opportunité de leur application.

» D'autre part, si, en admettant l'angle théorique de 21°, nous traçons sur le plan de surface de la région considérée la limite de la zone influencée par l'exploitation de la couche Deuxième Cinq Pieds, nous trouvons que cette limite passe à 15 m

» au nord-ouest de l'angle nord-ouest de la maison » et à 19 m au nord-ouest de son centre de figure » c'est-à-dire en deçà de la maison, note de l'expert » soussigné). Nous estimons que ces longueurs » sont de l'ordre de grandeur des erreurs normales » possibles inhérentes aux instruments de mesure » utilisés et aux conditions dans lesquelles les opérateurs se trouvent pour établir les relevés typographiques des travaux miniers.

» Nous ajouterons que des erreurs du même ordre » peuvent parfaitement exister dans les relevés ayant » servi à l'établissement des plans de surface.

» Ces différences rentrent dans l'ordre normal des » probabilités.

» De plus encore, il faut noter que la région influencée par les travaux dans la couche Deuxième Cinq Pieds avait déjà été disloquée auparavant par des exploitations antérieures dans d'autres couches, circonstance qui est de nature à agrandir la zone d'influence théorique ».

Si les règles théoriques relatives à l'aire superficielle influencée par les exploitations minières peuvent admettre, dans les conditions citées plus haut, des restrictions ou des extensions, il en va de même de celles qui ont été énoncées à la page 184 relativement à la répartition dans l'espace des influences des autres causes de dégradations aux constructions de la surface.

L'étude présente ne serait pas complète si quelques précisions n'étaient pas apportées à ce sujet.

#### Défaut d'assise.

Il est bon d'insister sur le fait que les connaissances actuelles de la mécanique des sols (géotechnique) amènent à n'employer qu'avec prudence et même à n'utiliser que sous caution l'expression « bon sol de fondation », au sens où l'utilise la terminologie architectonique courante.

Les acquisitions de la science à ce sujet sont relativement récentes et les publications les plus autorisées en la matière ne se rencontrent qu'à partir de 1925.

L'ouvrage intitulé « Sols et Fondations », paru en 1939 sous la signature de Armand Mayer, Ingénieur en Chef des Mines, Membre du Comité Technique du laboratoire d'étude du Sol et des Fondations, dans la collection Armand Colin (Paris), cite en références une cinquantaine de publications diverses sur la question.

En se référant à ces travaux, on pourra apprendre que le soin de baptiser les terrains compressibles (sablés, argiles, marnes, limons) ne peut pas être confié à n'importe qui et que même les procédés classiques de reconnaissance du sol, employés pour déterminer ce qu'il est convenu d'appeler la charge admissible d'un terrain, s'ils donnent d'excellents

résultats dans certains cas, risquent dans d'autres de faire commettre de grossières erreurs.

Si ces erreurs se font dans un sens tel que les tassements réels produits par la construction soient inférieurs à ceux que l'on aurait déduits des essais, le dommage ne regardera que l'économie et la stabilité de la construction ne sera que renforcée.

Mais si elles se produisent dans l'autre sens, elles peuvent compromettre la stabilité de la construction.

Or les essais classiques n'intéressent que les couches superficielles, tandis que la zone d'influence réelle de la mise en charge par la construction comprend aussi les couches profondes. Toutes les fois que ces couches profondes, sur lesquelles les essais classiques n'ont apporté aucune précision, auront des caractéristiques mécaniques insuffisantes, il se produira des tassements capables de créer dans la construction des dégradations.

On cite de nombreux cas.

Des constructions à San Francisco, qui ont produit des tassements de 30 mm pour une charge de 2 kg/cm<sup>2</sup>, alors qu'aux essais, une pression de 2,4 kg/cm<sup>2</sup> n'avait produit qu'un tassement de 2,5 mm. Un des bâtiments, construit à la suite d'essais ayant donné 250 g/cm<sup>2</sup> pour charge admissible, s'est enfoncé de plusieurs décimètres sous une charge de 150 g/cm<sup>2</sup>.

L'immeuble des Postes à Brégenz déjà cité a été construit sur 7 m de sables après des essais directs ayant donné d'excellents résultats. Les tassements considérables qu'il a subis proviennent de la compression de la couche de 15 m d'argile sous-jacente.

L'existence d'une pile de pont de chemin de fer ayant été utilisée comme essai direct à grande échelle (la pile avait 112 m<sup>2</sup> de surface et reposait sur des pieux chargés entre 7 et 15 tonnes), on entreprit de construire des bâtiments industriels d'une superficie de 3.400 m<sup>2</sup> ; la présence d'une couche d'argile molle à 30 m de profondeur se révéla à ce moment, le bâtiment s'étant enfoncé de 60 cm alors que ses pieux n'étaient chargés qu'à 25 t et avaient aux essais directs résisté à 100 t.

Si les tassements sont fort spectaculaires dans les cas cités parce qu'il s'agit de constructions importantes, il ne faut pas croire que les petites constructions échappent au phénomène.

J'ai fait en 1942, avec l'Architecte M..., l'expertise d'un immeuble construit en 1933-34 et appartenant à M. G. Vonnèche, à Liège, (rapport déposé le 25 février 1942 au Greffe de la Justice de Paix du second Canton de Liège). Notre attention ayant été attirée sur certaines dégradations anormales, nous avons découvert, en faisant des recherches par puits, que les piliers de fondation de l'immeuble après avoir traversé des remblais étaient enfoncés de 0,70 m dans du limon argileux en place, qualifié de « bon terrain » ; cette couche de

« bon terrain » devenait malheureusement très humide au point qu'elle était fluente à 1,10 m sous le pied des piliers. Nous avons dû imputer au tassement de cette couche imprégnée d'eau une partie des lésions affectant l'immeuble litigieux.

La connaissance complète des propriétés mécaniques des sols porteurs ne peut être acquise que par une prospection suffisamment profonde (sondages ou puits), complétée par des travaux de laboratoire ayant pour objet de mesurer certains coefficients caractéristiques tels que les limites de liquidité et de plasticité, l'angle de frottement interne, la compressibilité, la perméabilité, etc.

Les tassements d'un sol d'assise compressible ne sont uniformes que si la mise en charge, d'une part, l'épaisseur et la compressibilité de la masse compressible, d'autre part, le sont elles-mêmes ; dans le cas contraire, on observera des tassements inégaux capables de produire des déversements.

Les lésions imputables à un défaut d'assise sont plus localisées que celles dues à un affaissement consécutif, à l'exploitation souterraine, a-t-il été dit page 184. Cette constatation doit être interprétée à la lumière de ce qui précède, comme il va être maintenant précisé.

Si la mise en charge n'est pas uniforme sur la surface d'implantation de la construction, les lésions seront localisées, sinon dans une partie déterminée de cette construction, au moins dans cette seule construction et dans celles qui lui sont contiguës ; une construction voisine indépendante ne les montrera pas si la mise en charge qu'elle fait subir à son sol de fondation est uniforme.

Si d'autre part le tassement irrégulier du sol d'assise provient d'inégalités dans l'épaisseur et la compressibilité du sol d'assise, la localisation des lésions se constatera à l'échelle régionale, dans la zone où se présentent les inégalités du sol porteur ; il y a bien peu de chances que cette zone coïncide exactement avec une zone d'influences minières.

Les plaines alluviales sont précisément des zones où se présentent des phénomènes localisés de tassements ; elles sont remarquables par la variété des déversements que l'on y constate dans les immeubles, ainsi que par l'extrême localisation des lésions orientées, lesquelles n'ont souvent pas la même orientation dans deux immeubles distants de quelques mètres l'un de l'autre.

Ces phénomènes sont dus à la variation rapide de l'épaisseur et de la compressibilité des roches compressibles, d'un point à un autre ; cette variation provient de la stratification entrecroisée bien connue des dépôts alluviaux (cfr. P. Fourmarier, Professeur à l'Université de Liège : « Principes de Géologie », éd. Vaillant-Carmanne, Liège 1944, pp. 148-154) ; dans les plaines alluviales larges, les alluvions sont en réalité disposées en une série

de lentilles enchevêtrées les unes dans les autres. Dans ces conditions, si une construction édiflée à la limite d'une lentille compressible (argile, limon ou autre) est capable de tasser le sol compressible, les valeurs des tassements iront en augmentant depuis le périmètre de la lentille (où l'épaisseur à comprimer est nulle) jusqu'au point où l'épaisseur de cette lentille est maximum ; en conséquence, la construction se déversera vers le centre de la lentille. Des désordres plus prononcés, sous forme de cassures, pourront même survenir si la construction s'étend sur deux terrains de compressibilité différente (partie sur gravier par exemple et partie sur argiles molles).

Et enfin, si deux constructions sont édifiées à deux extrémités opposées d'une même lentille compressible ou aux deux extrémités voisines de deux lentilles compressibles voisines, et si ces constructions produisent des tassements, elles se déverseront en se rapprochant l'une de l'autre dans le premier cas, en s'écartant l'une de l'autre dans le second cas, ainsi que le montre la figure 8.

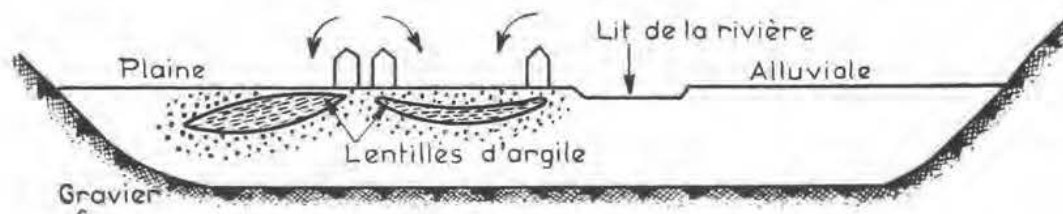


Fig. 8.

Ce qui précède montre qu'il est impossible d'établir des règles applicables sine varietur à la détermination a priori de l'étendue des zones d'influence des phénomènes de tassement et, à plus forte raison, à la détermination de l'étendue des zones où ces phénomènes se produisent dans un sens déterminé.

#### Glissement naturel du plan de pose ; solifluxion.

Il n'a été question, dans l'étude très sommaire faite de ce phénomène à la page 186, que des glissements lents.

Cependant les phénomènes de glissement peuvent avoir des ampleurs très diverses ; entre les véritables glissements, localisés, à vitesse souvent perceptible, et les glissements extrêmement lents qui se produisent sur les très faibles pentes et désignés sous le nom de « creep », tous les glissements intermédiaires peuvent se rencontrer.

Les glissements rapides se produisent surtout sur des pentes assez fortes, le long d'une surface constituée par des terrains tels que argiles, limons aquifères, sables bouillants, qui jouent un rôle analogue à celui d'un lubrifiant lorsqu'ils sont gorgés d'eau. Ces glissements rapides laissent des traces dans la

topographie : dénivellations marquées, brusques, à la partie supérieure, souvent avec traces d'arrachement ; boursoufflures à la partie inférieure, dues à la variabilité locale des glissements ; au pied, gonflement des argiles en forme de loupe.

Dans le creep (appelé aussi improprement solifluxion), on constate le remaniement des matériaux entraînés par le glissement (cailloux plats généralement disposés parallèlement à la pente), la présence au pied de la pente de fragments de roches provenant de plus haut (lorsque le substratum rocheux diffère au bas et au haut du versant), le fauchage des têtes de bancs (celles-ci disloquées par l'altération s'incurvant vers le pied du versant), le déversement vers l'aval des piquets, des poteaux et des arbres (ces derniers se redressant par l'effet du géotropisme et se couplant en conséquence), etc. etc.

Le creep a été étudié par de nombreux géologues (J. Cornet, Annales de la Société Géologique, T. 45, 1921-22 — Sharpe C.F.S., Landslides and

related phenomena : Columbia Geomorphic Studies, 1938 — P. Fourmarier, Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 42, 1918-19 et T. 44 1920-21).

La zone d'influence du creep étant théoriquement limitée aux surfaces en pente, de même d'ailleurs que celle des glissements importants, il n'en reste pas moins que l'allure du phénomène diffère, dans une même zone, suivant les endroits et que, même dans une zone de glissements, on puisse trouver des régions où celui-ci ne se produit pas.

De la sorte, la zone d'influence réelle ne correspond pas nécessairement à celle qui serait définie par la règle théorique générale, mais peut être plus restreinte que celle-ci.

Par exemple, le glissement peut être localement arrêté par des obstacles naturels (seuils rocheux en saillie sur la surface de glissement) ou artificiels (constructions dont les fondations atteignent le substratum rocheux).

#### Oscillations de la nappe aquifère.

De ce phénomène, il n'a pas été dit beaucoup en ce qui concerne la répartition des effets dans l'espace (p. 192), et pour cause.



La connaissance de la surface libre d'une nappe aquifère, des oscillations de celle-ci, de la circulation de l'eau en son sein et notamment des trajectoires privilégiées qui s'y trouvent ainsi que de la vitesse de circulation, ne peut en effet être acquise, au cas où de nombreux puits n'existent pas dans la région, qu'au prix de recherches très laborieuses et coûteuses.

Dans les plaines alluviales, le comportement de la ou des nappes aquifères est très complexe : ceci provient de l'hétérogénéité des dépôts alluviaux, déjà signalée (stratification entrecroisée, lenticulaire). Il en résulte que, si le mouvement de la nappe se fait suivant une trajectoire générale comme dans ses grandes lignes (les filets liquides tendent à se diriger suivant la pente du thalweg, c'est-à-dire à peu près parallèlement au cours d'eau), le manque d'homogénéité des alluvions a pour effet de créer des changements locaux de direction et de vitesse du courant : ce courant peut même se diviser lorsqu'il rencontre des zones de perméabilité moindre (lentilles argileuses par exemple) (c'est ainsi que, dans la traversée de Liège, on parle souvent de l'eau du premier gravier et de l'eau de second gravier de la vallée de la Meuse).

On imagine sans peine la diversité des cheminements locaux de l'eau dans une nappe aquifère de pleine alluviale (voir à ce sujet P. Fourmarier, Professeur à l'Université de Liège, Hydrogéologie ; Vaillant Carmanne 1939 ; pp. 103-112).

D'autre part, les oscillations du niveau des nappes, produites par les variations dans les apports d'eau pluviale alimentant la nappe, se compliquent dans les nappes des plaines alluviales par les influences des crues et décrues de la rivière, car les eaux qui circulent dans les alluvions sont en communication plus ou moins facile avec le cours d'eau.

En conclusion, les phénomènes dont les nappes aquifères sont le siège, et surtout les nappes des plaines alluviales, peuvent être fort différents d'un point à l'autre.

#### *Trépidations.*

La zone d'influence de ces phénomènes oscillatoires est très variable ; plus ou moins étendue, elle s'arrête cependant aussi quelque part.

Il va sans dire d'abord que l'étendue de cette zone dépend en premier lieu de la source : selon les constatations, les trépidations dues aux véhicules se propagent suivant la nature du sol de 10 à 20 m de profondeur, celles dues aux chemins de fer, entre 20 et 70 m et parfois plus profondément, celles dues aux puissantes machines jusqu'à 550 m de profondeur ; dans le sens horizontal, on a pu constater qu'une turbine à vapeur transmettait des trépidations d'une telle violence qu'un immeuble situé à 1.500 m est devenu parfaitement inhabitable (cfr. Katel, I. : « Les bruits dans le bâtiment », Béranger, 1929, p. 72 et « L'influence des trépidations de diverses sources extérieures sur la stabilité des bâtiments », Béranger, 1935).

L'étendue de la zone d'influence des trépidations dépend encore de la nature du sol : la transmission des trépidations est d'autant plus grande que la transformation plastique de l'énergie vibratoire est plus petite ; au sujet de ce qu'on pourrait appeler la « conductibilité vibratoire », c'est-à-dire la propriété de transmettre les vibrations à plus grande distance, on peut classer les sols dans l'ordre suivant par ordre de conductibilité croissante : rocher, gravier et sable sec, gravier et sable humide, argile, glaise, marécage, limon et eau ; plus le niveau de l'eau est élevé, plus la transmission sera facile (Katel, I., *ibid.*).

Ceci suffit pour que l'on admette la proposition énoncée, à savoir que la zone d'influence des trépidations ne peut pas être fixée a priori sans reconnaissances et mesures préalables.

#### *Explosions d'engins de guerre.*

L'expérience qu'ont acquise de ces phénomènes ceux qui ont vécu les bombardements par avions des mois de mai et juin 1944 ou par les bombes volantes V1 et V2 de novembre 1944 à février 1945, est suffisante pour leur avoir appris que la zone d'influence de ces phénomènes est, non seulement très complexe, mais aussi de forme et d'étendue très variables avec l'intensité de la source vibratoire et la configuration du milieu dans lequel se propagent les vibrations.

La diversité des effets produits a par ailleurs déjà été signalée dans l'étude faite aux pages 187 et 188.

(à suivre)