

DE LA
FORMATION DES CAVERNES

A PROPOS

DES EFFONDREMENTS D'EISLEBEN

NOTE DE M. OTTO LANG

RELATIVE A LA DISSERTATION DE M. A. FLAMACHE

SUR LA

FORMATION DES GROTTES ET DES VALLÉES SOUTERRAINES

publiée dans les *Mémoires* de la Société belge de géologie.

*Mémoire présenté à la séance du 12 janvier 1897 et traduit du manuscrit original
par M. Gust. Jottrand, ancien Président de la Société.*

Planches VI et VII

I. DISCUSSION DES IDÉES DE M. FLAMACHE.

La discussion des théories sur la formation des cavernes a été récemment remise à l'ordre du jour lors de la dissertation publiée par M. A. Flamache dans les *Mémoires*, tome IX, page 555.

Cette question, pour plus d'un lecteur, semblera peut-être épuisée, mais en fait le sujet est si intéressant qu'il peut attirer encore l'attention des chercheurs; des côtés nouveaux, jusqu'ici négligés, peuvent être mis en lumière et de nouveaux points de vue exigent des éclaircissements supplémentaires. Aussi les défenseurs de la théorie actuellement

dominante doivent savoir gré à M. Flamache, qui la combat, de leur avoir fourni l'occasion de l'exposer une fois de plus, et le fait qu'il a de divers côtés réveillé l'attention prouve, selon moi, non point la faiblesse du système généralement admis, mais l'intérêt qu'inspire encore sa remise en question.

Comme je suis du nombre des membres de la Société de géologie qui désirent prendre part au débat, mais comme j'arrive le dernier, je dois craindre que ceux qui m'ont précédé dans la réfutation des idées de M. Flamache : MM. Van den Broeck et Stainier, n'aient épuisé le sujet. Je serai donc très bref sur ce point. J'ai pu prendre connaissance des épreuves typographiques du beau travail de M. Van den Broeck, ce dont je le remercie vivement, et cette lecture a justifié mes craintes.

Il ne me reste vraiment que bien peu à dire pour compléter la réfutation du travail de M. Flamache, et encore se peut-il que M. Stainier, dont je ne connais pas le travail, l'ait dit avant moi ; mais je pourrai rattacher à ces brèves indications quelques observations sur les déficiences de notre terminologie scientifique en matière de cavités dans les montagnes, et attirer ensuite l'attention sur diverses conséquences de la dissolution et du délavage chimique des roches, qui peuvent avoir une grande influence sur la prospérité des sociétés humaines.

En outre, j'aurai à adresser à M. Flamache, qui, selon moi, a été en certains points traité avec trop de sévérité par M. Van den Broeck, quelques paroles de consolation et même de reconnaissance. Cette reconnaissance lui est due notamment pour avoir signalé, dans son zèle ardent pour la vérité, non point à vrai dire des défauts, mais des vices d'exposition dans la théorie qu'il combat. Tout savant, dans son désir d'éviter les longueurs et de communiquer au plus vite ses idées, passe nécessairement sous silence beaucoup de détails qu'il croit découler naturellement de l'objet principal de sa démonstration, mais que d'autres apprécient différemment. De là des malentendus. Ce sont de pareils malentendus qui servent de base à ce que M. Flamache appelle sa critique inattaquable. Que cet honorable confrère se console d'ailleurs ; il n'est pas seul à soutenir sa thèse : que la formation des cavernes est due exclusivement à l'érosion mécanique.

Le principe formulé par M. Dupont en ces termes : « la grotte est préexistante à la rivière », et qui domine actuellement dans la science géologique, n'est pas nouveau ; il a ses racines dans des notions très anciennes et s'est formé peu à peu par les contributions de nombreux observateurs. Mais il y a également nombre d'années qu'un géologue

allemand a, comme M. Flamache, essayé de présenter « l'eau courante » comme le facteur principal et la force maîtresse de la formation des cavernes. C'est J. Kloos qui, dans son intéressante description de la *Hermannshöhle*, près de Rübeland, dans le Harz (1), nous dit : « C'est l'eau courante qui est partout la cause originaire des cavités de cette espèce, que l'on n'observe pas dans tous les pays, mais qui, par leur étendue et leur fréquence, donnent à certaines régions un attrait particulier. »

Kloos reconnaît néanmoins qu'une circonstance difficile à concilier avec sa théorie, et que M. Flamache avoue également être pour lui tout à fait inexplicable, est que ces cavernes existent presque uniquement dans des roches chimiquement attaquables par l'eau et les solutions aqueuses d'acide carbonique. Les cavités rencontrées dans d'autres roches, que l'on ne peut attribuer à de larges fissures ou à des perturbations tectoniques, sont, Kloos le reconnaît, insignifiantes et de petites dimensions, et, même dans les masses éruptives que les intempéries cependant attaquent, elles manquent totalement, du moins sous forme de véritables cavernes.

Si, à raison de ce que la formation des cavernes est réservée aux roches sensibles aux influences chimiques, alors que l'érosion a pour atelier de son activité la surface tout entière de la terre, il est difficile d'attribuer à ce dernier agent le rôle principal dans cette formation, le manque de preuves positives de cette action augmente encore la difficulté. Les masses rocheuses arrondies sont presque les seules qui offrent la trace incontestable d'une érosion mécanique, mais il n'y est pas évident que l'érosion par l'eau a seule agi; le transport de fragments rocheux a contribué la plupart du temps à l'arrondissement. Mais des parois lisses et arrondies peuvent aussi résulter de la simple action des agents atmosphériques, témoins les blocs qui constituent les « mers de rochers », *Felsen-Meere*, que l'on rencontre en si grande abondance dans les régions granitiques, par exemple dans le Harz, au Broken ou Blocksberg; les blocs, semblables à des sacs de laine, qui les constituent, n'ont subi aucun déplacement notable, et le poli de leur surface passe à bon droit comme le résultat des intempéries, lesquelles agissent chimiquement et non mécaniquement. L'acide carbonique de l'atmosphère, la pluie et la neige sont là les agents, et si les fissures produites par la gelée leur ouvrent la voie, on

(1) J.-H. KLOOS et MAX MÜLLER, *Die Hermannshöhle bei Rübeland*. Weimar, 1889, IV, p. 2.

remarque que les parois de ces fissures, quand elles viennent de s'ouvrir, ne sont point lisses, mais rugueuses. A qui croirait que la pluie battante amène l'arrondissement des blocs, on ferait remarquer que ceux-ci ont leurs angles et leurs coins rabattus aussi bien en dessous qu'au-dessus. Si l'eau glisse avec tant de facilité sur les surfaces des roches gypseuses quand elles sont déclives, c'est à la grande solubilité de ces roches qu'il faut l'attribuer.

Et les eaux provenant de la fonte des glaciers, qui emploient leur chaleur en excès à activer cette fonte même ! Les canaux par où s'écoulaient ces eaux ne sont-ils pas habituellement de forme arrondie ? La voûte qui recouvre les ruisseaux coulant sous le glacier n'a bien certainement pas été formée par l'action mécanique de l'eau ou des pierres qu'elle roule ; elle est uniquement le résultat de l'action dissolvante de l'eau.

Quelle est d'ailleurs la force mécanique d'érosion que possède l'eau considérée isolément ? Nous sommes tous portés à considérer comme vrai et exact le principe empirique déjà admis par les Romains : *Gutta cavat lapidem*. Mais au point de vue scientifique, ce n'est point là une vérité bien établie, et l'attaque mécanique par de l'eau pure qui tomberait sur une roche dure et partout également cohérente, est très douteuse. Il serait d'ailleurs à peu près impossible d'établir l'expérience dans des conditions irréprochables, c'est-à-dire de faire tomber goutte à goutte de l'eau absolument pure dans un milieu où elle ne pourrait se charger d'aucun autre élément capable d'exercer une action chimique, c'est-à-dire dans le vide absolu, et cela sur la surface dépourvue de toute rugosité ou de différence de cohésion d'une espèce minérale insoluble, telle par exemple que la face principale de clivage d'un cristal de barytine sur laquelle la chute s'opérerait verticalement, mais de telle façon que l'accumulation de gouttelettes sur l'objet serait empêchée, afin de laisser à chacune des gouttelettes successives toute sa force mécanique.

Cependant, aussi longtemps qu'il ne sera pas scientifiquement établi qu'une goutte liquide, par conséquent sans rigidité, peut, par son poids, exercer sur la surface dure d'une roche uniformément cohérente, une action mécanique assez puissante, à force d'être répétée, pour créer un creux sensible, il est permis de mettre cette action en doute et de soutenir que l'action érosive mécanique n'est pas capable de créer des cavernes dans les roches dures. A elle seule, elle ne peut agir que sur les matières meubles, sans cohésion, ou à cohésion faible, telles que le gravier, le sable, la boue, c'est-à-dire surtout à la surface de la terre,

car les cavités souterraines qu'elle peut créer dans ces matières manquent, sauf des cas très rares, de stabilité, sont dès lors de courte durée et disparaissent promptement par affaissement des couches supérieures, comme le montrent les effondrements bien connus de Schneidemühl (Posnanie) et de Briansk (Russie), pour ne parler que des plus récents.

Pour éroder les roches dures cohérentes, l'eau, en réalité, a besoin d'instruments spéciaux, notamment de parcelles minérales ou rocheuses, qu'elle transporte avec elle, ou qu'elle trouve détachées aux lieux de son action. La puissance de ces instruments ne dépend pas seulement de leur nombre et de leur grosseur, mais encore de la force d'impulsion de l'eau, c'est-à-dire de sa vitesse et de sa masse. Outre la hauteur de chute, il faut prendre en considération la masse, la pression et aussi la forme sectionnelle de la colonne d'eau en mouvement.

Ce dernier élément est surtout important quand il s'agit d'érosion mécanique et d'élargissement de crevasses. Des diaclases ou des fissures de faible largeur ne se prêtent guère à l'action des instruments que l'eau pourrait mettre en mouvement pour les transformer en cavernes; c'est là que s'applique la formule : « La grotte est préexistante à la rivière ».

Si la théorie de la formation des cavernes par dissolution et délavage chimiques ne satisfait pas M. Flamache, je pense que la faute en est surtout aux malentendus qui sont réellement la base de sa critique dite inattaquable.

Ainsi, M. Flamache semble partir de l'idée qu'une unité donnée de surface prise dans un corps rocheux laisse pénétrer dans les couches intérieures sous-jacentes une quantité donnée d'eau uniforme, alors qu'en réalité les plus grandes divergences se produisent dans la même pierre, suivant les différences existant entre les joints de suintement que l'eau est obligée de suivre.

Les précipitations atmosphériques qui tombent à la surface des roches se répartissent bien, en général, d'une façon uniforme sur chacune des unités de surface, mais il n'en est plus de même des parties qui pénètrent dans le sol par infiltration. En effet, supposons les circonstances les plus favorables, quoique non réalisées dans la nature, c'est-à-dire une surface d'infiltration uniforme, horizontale et nue, fragmentée par des fissures verticales identiques, également espacées en tout sens; même dans ce cas, toutes les fissures ne donneront pas passage à la même quantité d'eau; celles qui sont soumises au soutirage laisseront s'écouler plus rapidement l'eau qui s'engage dans leur ouverture et dès lors en absorberont davantage. Ainsi, par exemple, si la surface

observée constitue un plateau élevé, les fissures situées sur les bords laisseront leurs eaux s'écouler plus rapidement que celles du centre, où la vitesse de translation sera ralentie par l'augmentation de longueur des canaux à parcourir pour arriver au point de décharge : d'où augmentation de frottement et de résistance.

Les fissures, en se vidant, exercent une action de succion sur les fissures voisines encore pleines avec lesquelles elles sont en communication, mais cette action n'est pas égale sur toutes : il en est de favorisées et qui ainsi se vident à leur tour avant les autres. L'opération terminée, la masse d'eau qui a passé par infiltration est bien égale à celle qui est tombée à la surface filtrante, mais il n'en est pas de même des diverses parties de cette surface; celles-ci participent au résultat final pour des tantièmes différents pour chacune d'elles, et qui dépendent de circonstances accidentelles, surtout du degré de remplissage des fissures voisines. En outre, quand la roche affectée est chimiquement attaquable par les eaux météoriques, aux différences de « débit » de chacune des fissures correspondent immédiatement des différences dans leur degré de modification et alors l'identité de forme et de grandeur supposée exister au début entre les diverses fissures, disparaît bientôt pour faire place aux plus grandes variations.

Nous avons dit que les conditions hypothétiques que nous venons d'examiner sont artificielles et n'existent pas dans la nature. En réalité, les fissures sont dès le début très diverses, comme espacement, forme, largeur, direction ou profondeur, et, de plus, elles sont recouvertes d'un manteau plus ou moins épais de détritits, produit de l'altération superficielle ou des forces éoliennes, inégalement répartis et qui retardent l'infiltration. Enfin, la surface n'est jamais uniformément plane, ses protubérances et ses dépressions y créent un ruissellement que le sol n'absorbe qu'à certaines places. Toutes ces circonstances soumettent les diverses fissures à des influences si diverses, quant à l'abondance et à la rapidité des eaux qui les parcourent, que M. Flammache, après les avoir méditées, y trouvera certainement la réponse à sa question : Pourquoi chaque fissure ne donne-t-elle pas naissance à une cavité ?

La puissance et la durée des réactions chimiques (c'est-à-dire, dans notre cas, une quantité dépendante de la rapidité de l'écoulement, mais qui variera constamment aux divers points du parcours et suivant la saison) déterminent ensemble l'intensité de l'action, c'est-à-dire l'étendue de la cavité due à l'érosion chimique. Si la durée de l'action se réduit par suite de l'augmentation de rapidité de l'écoulement, la

durée de la réaction s'accroît et la force conservée va s'exercer à de plus grandes profondeurs.

L'expérience poursuivie par M. Renard, et sur laquelle s'appuie M. Flamache, n'a réellement aucune importance dans la question qui nous occupe. Le tube vertical de 2 mètres de haut rempli de fragments de pierre calcaire mélangés à du sable a rendu, au bout de cinq jours, saturée de bicarbonate de chaux, l'eau acidulée qu'on y laissait tomber à raison d'une goutte par seconde. Cela ne surprendra personne. Après cinq jours de contact avec de la pierre calcaire, toute eau météorique aura perdu son acide carbonique libre, qu'elle agisse en masse ou goutte à goutte. L'application de ces données à un cas géologique donnerait ceci : La pluie qui tombe sur un massif calcaire n'augmentera le débit des sources situées à 50 mètres de la surface qu'après cent vingt-cinq jours, c'est-à-dire quatre mois ; or, chacun sait que dans les régions calcaires les sources, souvent après quelques heures et toujours après peu de jours, ressentent l'influence d'une forte pluie et voient leur débit s'accroître.

M. Flamache donne encore plusieurs autres exemples de saturation en carbonate de chaux, après un faible parcours, d'eaux chargées d'acide carbonique, dont la réalité et l'importance sont incontestables. Mais c'est là enfoncer des portes ouvertes, car il n'est personne qui doute qu'une eau d'infiltration chargée d'acide carbonique à cours très lent ne se sature rapidement de carbonate, de même qu'elle le ferait si elle était en repos.

M. Flamache ajoute que la théorie du lavage exige, pour les cavernes, l'existence d'annexes se terminant en cul-de-sac, et qu'on n'en aurait pas encore observé de pareilles. Je me proposais de discuter l'argument à propos de la grotte de Han et de ne point parler des autres cas restés inconnus à l'auteur. Mais dans l'entretemps, M. Van den Broeck a établi le véritable état des choses, même pour les seules cavernes de Belgique. Il convient dès lors de montrer aussi le contingent de l'Allemagne en fait de cavernes à stalactites avec annexes en cul-de-sac.

Nous avons, par exemple, au Merzenberg, près de Gera, la caverne à légendes dite *kleine Zwerghöhle* (le petit trou des Nutons), que les travaux de carrières ont détruite, et dans laquelle, à côté d'une grande chambre de 25 mètres carrés de superficie, on voyait un cul-de-sac horizontal, d'environ 6 mètres de long et de 1 à 2 mètres de haut, et qui contenait en abondance des concrétions calcaires, alors que la

grande chambre n'en contenait qu'à certaines places et en petit nombre.

M. Flamache fait aussi remarquer que certains plafonds de cavernes, entre autres celui de la grande salle du Dôme de la grotte de Han, ne sont qu'à quelques mètres de distance de la surface du sol et cependant présentent déjà des stalactites.

Cette observation fait supposer que M. Flamache cherche non seulement à établir que la saturation de l'eau d'infiltration se produit après un petit parcours, mais encore à contredire l'idée que la cavité dans laquelle elle pénètre (la salle du Dôme) devrait son existence à l'ablation par dissolution. Évidemment, beaucoup seront portés par cette observation à douter de ce dernier point. Mais il ne faut pas oublier qu'aux effets du lavage sont venus se joindre les écroulements qui en ont été la suite. Les grandes salles ou chambres des cavernes doivent leur hauteur, non pas directement aux ablations par dissolution, mais aux ruptures et chutes de masses rocheuses dont ces ablations ont détruit la cohésion et la stabilité.

Partout les blocs de rochers entassés sur le sol des salles en fournissent la preuve. Il s'ensuit qu'il faut, comme l'a fait Kloos en divers endroits, distinguer dans les cavernes deux régions : celle qui est riche en stalactites et stalagmites, et qu'il appelle région d'incrustation, *Sinterregion*, et celle qu'il nomme région d'effondrement, *Bruchregion*, située plus avant dans la montagne, et où l'œil est surtout frappé des phénomènes souvent grandioses dus à la stabilité détruite.

Dans l'étude de l'origine des différences qui viennent d'être relevées, c'est-à-dire du phénomène de l'incrustation ou de l'abandon par l'eau suintante du carbonate de chaux qu'elle apporte, il ne faut pas négliger de tenir compte de l'effet des courants d'air asséchants, qui, en même temps que l'eau, enlèvent l'acide carbonique qu'elle contient. Dans la plupart des cavernes à stalactites, on voit la région d'incrustation parcourue par un courant d'air puissant ou ayant pu se trouver jadis dans ces conditions, tandis que la région d'effondrement est plus humide et moins ventilée. Cependant, comme je l'ai dit antérieurement (1), je suis porté à admettre que l'abandon par l'eau du carbonate de chaux qu'elle tient en dissolution, peut aussi provenir du changement de la pression capillaire.

(1) Voir *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1881, pp. 255-264.

Ces efforts et d'autres du même genre, pour arriver à une terminologie scientifique dans la question de l'origine des cavernes, doivent être salués avec joie. Mais ils doivent être poussés plus loin encore, et c'est pour cela que je crois nécessaire d'attirer spécialement l'attention sur les cavernes dont le développement est surtout en hauteur. Je veux parler des « cheminées » ou « cloches » (*Schlotten*).

Leur extension suivant la verticale, même là où elles se soutiennent encore, c'est-à-dire où elles sont encore fermées du dessus, ne peut être attribuée qu'à des écroulements successifs de leur plafond. Je sais bien que d'autres naturalistes et de grande autorité, tels par exemple que F. Zirkel, qui a eu connaissance de mon opinion par un rapport sur une expertise minière, n'admettent pas cette manière de voir.

Je suis bien loin de nier l'existence de cavernes formées sans écroulement et par seule dissolution dans le sens vertical; seulement les véritables cheminées ont exigé pour se former le concours de fractures et d'effondrements, d'abord parce que, pour la plupart, elles se terminent au-dessus en forme de voûte ou de cloche, ce qu'on a cherché à expliquer par l'arrivée de l'eau, d'en haut, en forme de douche; ensuite parce qu'il n'y a pas une seule cheminée où fasse défaut le tas créé par les débris de roches effondrées, qui prouve l'écroulement de la voûte. La masse de ce tas, qui par suite du dispositif irrégulier de ses éléments constitutifs pourrait remplir la cavité et la consolider, est continuellement corrodée et réduite par l'eau qui pénètre dans la caverne et y séjourne; c'est ce qui se produit directement dans les roches salines ou gypseuses, et indirectement dans les roches calcaires grâce à l'acide carbonique joint à l'eau; mais ce n'est là qu'un mode très détourné de création des cavernes par lavage.

Tous ces motifs m'amènent à proposer à mes confrères en géologie de réserver le nom de *Schlotten* (« cheminée » ou « cloche ») aux cavités d'extension verticale et produites par effondrement de leur calotte, et de désigner par un autre nom, *Schacht*, « puits », par exemple, les cavités dues uniquement à la corrosion chimique.

L'exposé de la théorie de l'ablation par dissolution m'amène finalement à traiter une autre face de la question, celle des perturbations que, dans certaines circonstances, ce phénomène peut amener dans la stabilité de régions très étendues, et des désastres économiques d'une importance énorme dont il peut ainsi être cause. Il s'agit alors de bien autre chose que de cavités isolées ou de galeries à dimensions limitées et qui, tout au plus, peuvent avoir été la cause originaire de bassins et de vallées.

II. LES MOUVEMENTS DU SOL A EISLEBEN.

Exposé des faits.

Quiconque visite aujourd'hui Eisleben, ville de 25,000 habitants, célèbre par son rôle dans l'histoire de la Réforme, est stupéfait de voir presque la moitié de ses édifices lézardés ou fraîchement réparés, des murs hors d'aplomb et des baies de portes et de fenêtres ébrançonnées et renforcées par des traverses. Parmi ces hautes bâtisses, devenues dangereuses, il en est certes plus d'une dont le délabrement est dû au grand âge, mais, par contre, il y a des rangées entières de maisons à deux et trois étages, bâties depuis moins de dix ans, et dont la stabilité est à ce point compromise que quelques-unes ont dû être abandonnées et que les autres n'ont pu rester habitées qu'à la condition d'assurer un départ rapide à leurs occupants en cas d'imminence de danger. Les crevasses des murailles affectent, dans des séries entières de maisons, des directions parallèles, et ce sont surtout les angles des blocs de bâtisses qui semblent avoir cédé à la pression et s'être affaissés; mais si l'on cherche à appliquer le système que Mallet a mis en œuvre à l'occasion du grand tremblement de terre de la Calabre pour déterminer le point d'origine par la direction des lézardes des maisons, on ne trouve aucun point qui soit le centre des forces dommageables. Évidemment, diverses causes concomitantes ont agi. La circonstance que les dégâts les plus grands ne sont point concentrés en une seule région, mais se montrent à la fois dans la *Zeisingstrasse*, sur le *Rammberg* et la *Rammthorstrasse* (points qu'indique la planche VI jointe à cette note), rend fort difficile la détermination d'une cause unique et même seulement prédominante du mal.

Les dégâts se sont toujours manifestés à la suite d'ébranlements du sol, que plusieurs observateurs ont décrits comme semblables à des secousses de tremblement de terre. Mais le peu d'extension horizontale de la région ébranlée ne permettait pas de songer à des secousses amenées par un tremblement de terre *abyssodynamique*, tel que ceux qui créent les chaînes de montagnes, ou bien d'origine volcanique. Ce n'était pas d'ailleurs une secousse unique qui disloquait les édifices, mais une série de secousses, différentes de force, sans périodicité régulière, et affectant tantôt un point, tantôt un autre. Les premières s'étaient produites à l'automne de 1892; elles devinrent de plus en plus

fréquentes de décembre 1893 à janvier 1896. Le sol lui-même s'affaissa par places, et des crevasses plus ou moins étendues s'y produisirent. L'affaissement le plus considérable se montra dans le milieu de la partie septentrionale de la *Zeisingstrasse*, où s'étaient concentrés, comme de juste, les dégâts de bâtisses les plus graves; en juin 1896, on l'évalua à 2 mètres en profondeur; la crevasse la plus large, marquée VI dans la planche VI, atteignit 3 décimètres de large et 300 mètres de long.

Dès les premiers mouvements du sol un peu graves, on se mit avec ardeur à en rechercher la cause, non seulement pour fixer les responsabilités, mais encore pour savoir ce que l'avenir réservait à la ville.

Les gens compétents furent d'avis bien divers. Tandis qu'une autorité en géologie inclinait à attribuer le mal à la formation de failles dans les bancs sous-jacents du *Zechstein* et du grès bigarré, conséquence de l'activité continue du processus qui forme les montagnes et qui doit de temps à autre rouvrir d'anciennes crevasses, d'autres recherchaient des causes plus voisines de la surface. Il est en effet incontestable que ces causes ont contribué au mal et qu'il faut relever toutes les circonstances superficielles, pour apprécier sainement chacun des cas à résoudre.

Le sous-sol d'Eisleben est en général constitué par l'étage inférieur du grès bigarré (*Buntsandstein*), qui y atteint une épaisseur de 200 mètres environ; ces roches sont principalement de nature argileuse, les fentes qui s'y produisent sont par suite rapidement fermées par compression et restent impénétrables à l'eau.

Néanmoins, la plus grande partie de la ville d'Eisleben ne repose pas immédiatement sur les couches de grès bigarré, mais bien sur un manteau de faible épaisseur, constitué par des graviers diluviens et sous lequel, tant dans la ville qu'au dehors, gisent des dépôts lacustres, tels que : argile plastique (*Kapselthon*, argile à creusets), grès quartzeux (*Knollenstein*), sable quartzeux de la formation des lignites. C'est ainsi que dans la *Zeisingstrasse*, des puits de recherches et des sondages ont rencontré des couches alternantes d'argile, de sable, de gravier et de cailloux roulés, d'épaisseur respective fort variable, mais atteignant ensemble jusqu'à 10 mètres.

C'est dans ce sol que la petite rivière qui traverse Eisleben, la *Böse Sieben*, a creusé son lit, à environ 10 mètres de profondeur, avec des rives très escarpées dans les 5 mètres inférieurs. C'est là; certes, une cause de danger pour les bâtisses qui l'avoisinent; aussi était-il déjà arrivé, il y a quelques années, qu'une partie du terrain sur lequel s'élève l'habitation d'un géomètre au *Rammberg*, avait glissé vers le bas;

depuis la maison elle-même s'est lézardée au point de devenir inhabitable.

Comme le lit profondément encaissé de la rivière imprime une grande rapidité au cours des eaux souterraines qui y aboutissent, aussi bien à celles qui, séparées de l'atmosphère par des dépôts perméables, constituent la nappe phréatique, qu'à celles qui se meuvent plus profondément dans les sables et les graviers lacustres, ces eaux peuvent entraîner avec elles des matières meubles, et il était indispensable de rechercher et de prendre en considération leur distribution, car des dépôts stratifiés ne peuvent être emportés sans qu'il s'ensuive un tassement de la surface du sol chargée de bâtisses.

Ces considérations amènent M. Leuschner, conseiller intime des mines et directeur de l'exploitation des schistes cuprifères de Mansfeld, qui s'est fait un nom par ses efforts pour relever le prix de l'argent, à continuer à soutenir que les dégâts survenus sont uniquement dus aux mauvaises conditions du sol sur lequel on a bâti et au mouvement des eaux souterraines; il a du reste, dit-il, connu la *Zeisingstrasse* à l'état de marécage dans lequel on venait déverser les décombres.

En outre, un changement dans le régime des eaux souterraines était survenu à la suite de fuites dans les conduites d'eau, soit anciennes, soit nouvelles, de la création de plusieurs rues et de la transformation du lit tout entier de la *Böse Sieben* en un aqueduc maçonné étanche. L'architecte Henoch, dans son rapport d'expertise, examina et pesa toutes ces circonstances de la surface, mais n'y put trouver la cause principale du mal et conclut en conséquence à l'admission d'un foyer d'ébranlement caché dans les couches profondes du sous-sol.

Depuis l'origine, on avait incliné à le chercher dans l'effondrement de quelque grande caverne des roches gypseuses. Le gypse et l'anhydrite se rencontrent en effet en grandes masses dans la région d'Eisleben. A la vérité, l'étage du grès bigarré ne contient que quelques lentilles de gypse, éparses et de peu de puissance, mais le *Zechstein*, sur lequel il repose, a plus de la moitié de ses couches constitutives composées de roches calcaires sulfatées, notamment d'anhydrite, que l'action de l'eau transforme fréquemment en gypse. Les travaux miniers rencontrent souvent dans l'étage du *Zechstein* des cavernes non éboulées en forme de cheminée, qui se suivent comme un chapelet le long des joints de stratification, et dont un spécimen, connu depuis plus de cent ans, est la série de cavernes de *Wimmelburg*, existant à plus de 400 mètres de profondeur et depuis un siècle fréquemment visitée par les touristes; ces cavernes ont même été utilisées pour l'évacuation des eaux des

mines; partout où le *Zechstein* affleure, les cavernes effondrées et les entonnoirs ou aiguigeois sont fréquents.

Il faut mentionner ici que beaucoup de gens du métier ne regardent pas les cavernes du gypse comme produites par la corrosion du gypse lui-même, mais bien par celle des amas de sel que le gypse contenait; absolument comme on pourrait prétendre que les cavernes à stalactites ont été jadis remplies de masses gypseuses ou d'autres roches jouant au sein du calcaire le rôle de corps étrangers. Un seul cas m'est connu où cette théorie serait admissible, mais ce n'est pas le chapelet de cavernes de *Wimmelburg*: celui-ci doit évidemment son existence à une série de fissures; on n'y trouve aucune trace d'un banc de sel disparu; la forme des cavités ne se prête pas à cette supposition et les roches voisines ne sont nullement salines.

Partout où l'on observe des effondrements de cavernes d'origine gypseuse, les masses de gypse disparues par dissolution se trouvaient à une faible profondeur, et les masses qui les recouvraient n'ont point suffi, malgré l'entassement irrégulier de leurs débris, à remplir la cavité créée par la dilution du gypse. A *Eisleben*, au contraire, une cavité gypseuse souterraine éventuelle ne pouvait se trouver qu'au-dessous d'une couverture de roches compactes de plus de 200 mètres de puissance. Un écroulement de caverne gypseuse ne pourrait donc réagir sur les conditions de la surface, à moins de mesurer 160 mètres de hauteur. Indépendamment de cette hauteur invraisemblable, il faudrait supposer des dimensions horizontales de la cavité telles qu'elles ne se sont presque jamais rencontrées, pour expliquer l'étendue à la surface de la région sinistrée. En effet, si, comme nous l'avons déjà fait observer, l'aire de cette région est faible, comparée à ce qu'elle est quand il s'agit des tremblements de terre, elle est énorme, ainsi que le montrent les planches annexées à ce travail, comparée aux effondrements connus jusqu'ici comme étant la conséquence de l'écrasement de cavernes gypseuses. On sait que l'angle d'un « talus naturel » dépend de la structure et de la solidité de la roche constitutive. On a supposé que l'effondrement de cavités souterraines entraîne dans les couches surplombantes, non seulement des mouvements verticaux, mais également latéraux. La détermination de la distance à laquelle ces mouvements latéraux peuvent se propager dépend, a-t-on pensé, de l'angle de fracture, qui varie suivant la résistance et aussi suivant la nature des roches.

Mais de telles considérations, appliquées à la disproportion d'aires ci-dessus indiquées, n'ont guère pu expliquer les faits constatés.

Tout cela montre que la question de la cause déterminante des affaissements dommageables ne concerne pas seulement la nature, autrement dit la qualité de cette cause, mais aussi son étendue, c'est-à-dire sa quantité.

La théorie de l'écrasement de cavernes, légèrement modifiée dans quelques détails, fit néanmoins son chemin dans certains cercles, et grâce à deux circonstances accessoires qu'il convient d'indiquer.

D'abord cette théorie indiquait comme responsable des dégâts un débiteur solvable, car il ne s'agissait plus d'un simple processus naturel, fonctionnant sans le concours de l'homme. Quand de pareils dommages se produisent, il est d'usage, Dieu merci, dans les pays civilisés, que le public intervienne, soit par des subsides de l'État, soit par des collectes, soit par des loteries autorisées, afin d'indemniser les victimes, soit en tout, soit en partie. Mais en Prusse cela est cependant difficile, surtout lorsque, comme dans notre cas, il n'est pas certain qu'il s'agisse exclusivement d'un cas de force majeure. S'il y a possibilité de trouver comme auteur responsable une personne réelle ou juridique, dont la situation de fortune est telle qu'elle puisse tout supporter, le cas devient beaucoup plus simple. Ici ce fut à la société qui exploitait les schistes cuprifères de Mansfeld qu'on s'en prit, et de nombreux procès en indemnité s'abattirent sur elle. Au début de ceux-ci, il s'agissait surtout de créer un précédent en la matière. Dans l'opinion des demandeurs, la défenderesse allait s'empresse de reconnaître leur bon droit, car l'année précédente la Société avait, après arbitrage, affecté 500,000 marcs à l'indemnisation de propriétaires d'édifices endommagés, en mettant toutefois comme condition qu'il ne s'ensuivrait pas la reconnaissance qu'elle fût responsable en principe et pour tous les dommages qui pourraient encore survenir.

Une autre circonstance spéciale qui attirait sur ces procès l'attention des profanes, c'est la part considérable qu'y prenait un conseiller des mines, le baron de Morsey-Picard, qui, pendant de longues années, avait eu l'inspection officielle du district de Mansfeld-Eisleben et avait, disait-on, prédit les accidents survenus depuis.

La loi arme les officiers royaux chargés de la surveillance des mines d'un pouvoir tel que pas un coup de pioche ne peut être donné, pas un trou de mine ne peut être foré dans les galeries sans leur consentement. Comment était-il possible dès lors, faisait-on observer, que cet ingénieur n'eût pas arrêté à temps des travaux dangereux, ou du moins prescrit l'emploi de moyens propres à les rendre inoffensifs? La question ne fit que gagner en importance quand on vit M. de Morsey-

Picard donner sa démission de fonctionnaire, afin, disait-on, de pouvoir enfin dire librement et ouvertement son opinion.

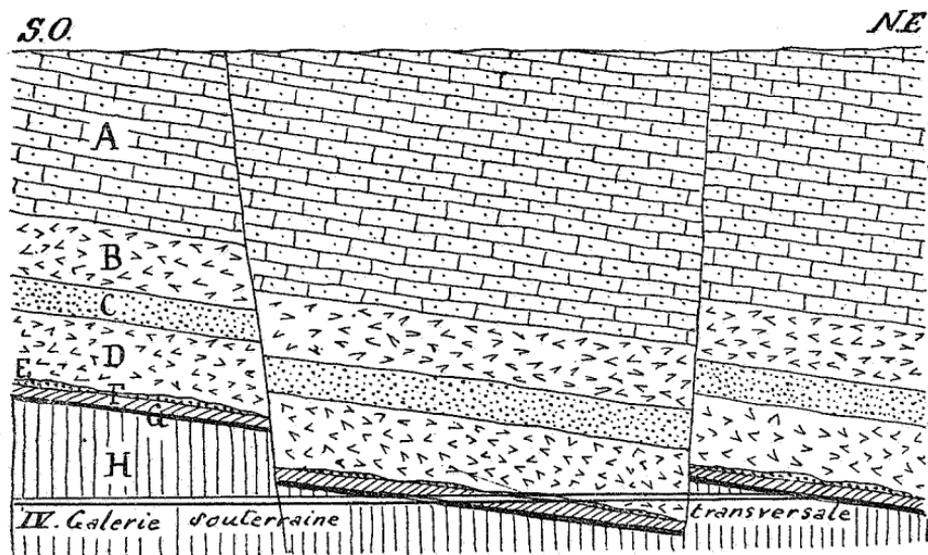
Afin que le rapport de cet ingénieur puisse être bien compris, un exposé sommaire des principaux traits géologiques et miniers d'Eisleben est indispensable.

Constitution géologique de la région minière d'Eisleben.

Le schiste marneux de couleur sombre et chargé de bitume qui doit au sulfure de cuivre qu'il contient le nom de schiste cuprifère (*Kupferschiefer*), repose sur les bancs puissants du *Rothliegende* ou *Todtliegende* rouge, composés d'amas de galets de quartzite et de porphyre, de lits de grès et de glaise, donc d'un mélange d'éléments siliceux et argileux; le *Weissliegende* seul l'en sépare, sur une épaisseur variant de 0^m,20 à 2 mètres et avec une constitution analogue.

Quoique l'épaisseur des couches de schiste cuprifère réunies ne dépasse pas 50 à 55 centimètres, ce qui force le mineur à les travailler couché sur le flanc, elles se subdivisent en cinq ou neuf lits distincts, auxquels des différences de richesse ou de texture ont fait donner des noms particuliers. Au-dessus d'eux, le « toit » est formé d'un banc de calcaire marneux compact, de 15 à 55 centimètres d'épaisseur, puis 0^m,75 à 1 mètre de calchiste (*die Fäule*, le pourri) et enfin des bancs du *Zechstein* proprement dit, chacun de 10 à 50 centimètres d'épaisseur, mais qui réunis atteignent 6 mètres, et constitués par du calcaire grossier allant du jaune au gris de fumée, et dont le nom a été étendu à toute la formation géologique dont il n'est qu'un élément. Ce *Zechstein* proprement dit est d'ailleurs l'élément le plus constant et le plus régulier de toute la formation. Les couches qui le surmontent, c'est-à-dire l'étage moyen et l'étage supérieur du *Zechstein*, consistent principalement en anhydrite, avec des interférences de gypse et de sel. Rarement les bancs d'anhydrite reposent directement sur le *Zechstein*; la plupart du temps, ils en sont séparés soit par un banc de dolomie poreuse (*Rauchwacke*) de peu d'épaisseur, soit, plus souvent, par un lit irrégulier de marne dolomitique sableuse (*Asche*). Cette *Asche*, ou cendre, se présente en masses beaucoup plus considérables, mais assez variables, unies à des schistes puants, noirs, bitumineux, et au *Rauchstein* qui n'est qu'une *Asche* durcie et compacte, dans un niveau qui sépare l'anhydrite en deux étages: l'un, le plus ancien, est le plus épais; l'autre, plus récent, est accompagné ordinairement dans sa partie supérieure de bancs d'argile.

Toutes ces couches stratifiées en concordance et recouvertes de dépôts plus récents également concordants, ont en général une inclinaison partant des montagnes du Harz, et qui pour le Kupferschiefer, au point de départ contre le Harz, va jusqu'à 50°, pour s'atténuer toutefois graduellement, mais rapidement, et jusqu'à 5° ou 7°. Deux rides en forme de selle, *Annarode-Hornburg* et *Hettstedt-Gerbstedt*, partant du Harz et qui ramènent toutes deux le *Rothliegende* à la surface, donnent à la région d'Eisleben l'aspect d'un bassin ouvert vers le sud-est, dont le centre est rempli par des couches plus récentes que le *Rothliegende* (voir planche VII). Par suite de la disposition des couches en fond de bateau, celles qui sont les plus proches du bord arrivent à la surface, mais (par suite des influences atmosphériques) celles de l'étage du



Coupe passant par la galerie d'exploitation n° IV du puits Martin.

- | | |
|--|-------------------------------|
| A. Buntsandstein inférieur. | E. Asche. |
| B. Anhydrite et gypse. | F. Zechstein. |
| C. Asche, Stinkschiefer et Rauchstein. | G. Schiste cuivreux exploité. |
| D. Anhydrite. | H. Rothliegende. |

Zechstein se présentent tellement amoindries, que, à l'échelle de la planche VII, il n'est plus possible de leur donner une place distincte; leur tranche se confond avec la limite du *Rothliegende*, et l'étage du grès bigarré paraît succéder immédiatement au *Rothliegende*. Mais l'érosion météorique et les ablations consécutives ont agi de telle sorte que les couches inférieures du grès bigarré seules se présentent au bord du bassin, tandis que les couches plus récentes et des débris de

Muschelkalk en masses sporadiques ne se montrent qu'à l'est de la vallée de la *Böse Sieben*; recouverts en certains endroits par des dépôts de l'époque des lignites.

La régularité de la formation est toutefois troublée par des failles et des plissements que l'on peut suivre dans le *Rothliegende*. Parmi les failles transversales à la direction des couches et les affaissements semblables à de grands fossés qui en ont été la suite, il en est un qui intéresse spécialement la petite région d'Eisleben : c'est celui que la planche VI indique sous le nom de *Flötzgraben* du puits Martin, où l'on voit les bancs s'enfoncer d'un coup de plus de 50 mètres, ce que la coupe reproduite par la figure ci-contre, transversale au plancher de la galerie n° IV, indique nettement.

Responsabilité attribuée aux exploitations minières.

Voici maintenant les raisons qui ont amené M. Morsey-Picard à conclure à la faute des exploitations minières.

La baisse continue du prix de l'argent et du cuivre a amené l'exploitation Mansfeld à augmenter de plus en plus sa production, afin de conserver son gain annuel, malgré la réduction du profit net de la tonne de minerai. L'extraction, qui jusqu'alors s'était confinée à l'ouest de la ville d'Eisleben, vers le bord du bassin, fut poussée, au commencement de 1880, vers le fond de celui-ci et même dans les bancs situés sous la ville même. Les puits foncés à cet effet (les puits *Segengottes* à l'ouest, le puits « Clotilde » au nord de la ville), arrivés au niveau de l'*Asche*, rencontrèrent de telles masses d'eau, que leur mise en état subit des retards énormes et ne put s'accomplir que lorsque les galeries eurent été reliées par des travaux transversaux et suivant la pente du *Kupferschiefer* à celles des puits « Otto » situés plus à l'ouest. La planche VII montre la pente de ces galeries, avec une dénivellation de 65 mètres comptée à partir du « Schlüssel-Stollen », qui enlève presque toutes les eaux souterraines d'un des côtés du bassin sur une longueur de 54 kilomètres, et les déverse dans la Saale près de Friedeburg. En poussant ces galeries, on était arrivé aux bancs du Puits Martin, sans rencontrer d'eau venant des failles voisines, quoique celles-ci fussent très profondes et très longues; ce qui est un fait remarquable et qu'il ne faut pas perdre de vue. Ces galeries, en traversant l'anhydrite ancienne, n'y avaient rencontré ni cavernes ni cheminées, mais seulement des amas de sel gemme. La galerie n° II

en avait rencontré en deux points éloignés l'un de l'autre de 120 mètres; la galerie n° III, distante de la précédente d'environ 850 mètres au sud-est, en un seul point, et dans la galerie n° IV, de nouveau à 675 mètres plus vers le sud-est, on l'avait rencontré sur une longueur de 177 mètres et, dans son passage suivant la pente « *hulfsflache* », sur une largeur de 58 mètres. En dehors de ces galeries, on n'a rencontré le sel gemme dans la région d'Eisleben que dans le puits *Segengottes I*, et il n'y a que 0^m,5 de puissance.

Après que l'on se fut relié au puits Clotilde, on commença l'extraction du *Kupferschiefer*, bien que, comme le montre Morsey-Picard, on dût s'attendre avec certitude, dans la région des cheminées ou, pour mieux dire — car ce niveau n'est pas encore bien connu — dans les couches de l'*Asche*, à rencontrer des amas d'eau, qui s'écouleraient par les travaux pratiqués en dessous. Cette invasion des eaux de cheminées devait se produire au plus tard lorsque, par suite de l'enlèvement du *Kupferschiefer*, le poids accru des couches surincombantes provoquerait l'affaissement du *Zechstein* et d'une partie du gypse, ou pour mieux dire de l'anhydrite. Que les travaux miniers amènent de pareilles pressions suivies de fendillements et de fissures, cela ne peut faire aucun doute.

A la vérité, l'extraction de *Kupferschiefer* ne laisse pas derrière elle des vides aussi considérables que parfois l'extraction de la houille, lorsque celle-ci, se pratiquant de la périphérie du champ de taille vers la galerie d'accès, on laisse s'écrouler le toit des couches puissantes enlevées sans se préoccuper d'autre chose que d'amener un affaissement aussi uniforme que possible. Afin d'éviter la production de failles susceptibles de fournir passage aux eaux, le *Kupferschiefer* s'extrait, au contraire, en partant du point d'accès et par soutènement, et l'on remblaie, au fur et à mesure de l'avancement les tailles vidées, par des murs de pierres sèches dont les travaux fournissent les matériaux. Mais ces remblais sont insuffisants pour éviter tout affaissement du toit; celui-ci se fend là où il est demeuré suspendu, ces fentes se prolongent en hauteur; d'ailleurs, le mineur de la région d'Eisleben voit sans déplaisir subsister des porte-à-faux d'étendue modérée: ils lui facilitent l'abatage du *Kupferschiefer*; il les crée même systématiquement avant de procéder à l'abatage, et cela en laissant en repos pendant un certain temps les tailles qu'il a préparées pour le travail par l'explosion de petites mines.

L'extraction, commencée en 1888 à l'endroit marqué à la planche VI, fut brusquement interrompue le 26 juillet 1889 par l'invasion de puissantes masses d'eau qui remplirent tous les travaux jusqu'au-dessus

même du plancher de la galerie n° II. Certes, ce fut une faute à la fois technique et administrative, après avoir constaté, lors de l'enfoncement du puits voisin, l'énorme réservoir d'eau que contenaient les couches de l'*Asche*, que de n'avoir modifié en rien le système d'abatage et de n'avoir pas pris les mesures nécessaires pour éviter le fendillement vertical des couches surincombantes, et même de n'avoir pas préparé des moyens d'exhaure suffisants pour éviter l'inondation du fond; mais quant à la surface du sol, elle ne pouvait souffrir de ces coups d'eau que pour autant qu'à leur suite des cavernes, jusqu'alors remplies d'eau stagnante sous une haute pression et en conséquence en équilibre, se vidant subitement, vinssent à perdre leur stabilité et s'écroulassent en entraînant avec elles leur recouvrement; dans ce cas, des effondrements profonds, très fâcheux pour les bâtisses, devaient se produire, comme par exemple ceux de Brûx, en 1895.

Ces hypothèses, possibles, mais non prouvées et non prouvables, ne pouvaient servir de base à la responsabilité de l'entreprise minière, car il n'était pas possible de mettre à sa charge la création des cavernes dont on supposait l'existence, pas même de lui reprocher de ne pas s'être prémunie contre celles-ci, qu'aucun indice extérieur ne fait connaître. Mais Morsey-Picard lui reprochait de créer des cheminées nouvelles, parce que ses travaux avaient mis en contact avec des masses de sel gemme, qui jusque-là lui étaient complètement inaccessibles, de l'eau en mouvement, dont la force les dissolvait. Et le mouvement de cette eau était bien dû à l'exploitation, car il était produit par ses pompes, qui ramenaient sans relâche des masses d'eau nouvelles et activaient ainsi la dissolution du sel.

D'où venait, d'où vient encore cette eau? Cette question n'avait qu'un intérêt accessoire. On avait affirmé au début qu'elle était fournie par l'« étang salé », situé à près de 10 kilomètres; mais on avait dû renoncer à cette thèse en voyant l'eau rester aussi abondante qu'au-paravant, après que cet étang eût été asséché. La profondeur à laquelle est situé le niveau de l'*Asche*, gorgé d'eau, permet de lui attribuer une réserve d'eau presque inépuisable.

Depuis que les pompes travaillent à ramener l'eau à la surface, on constate que sa richesse en sel va en augmentant; mais cela est-il dû aux travaux d'exploitation? C'est ce qu'on ne sait naturellement pas prouver.

Pour que la dissolution d'une masse de sel gemme située à 527 mètres de la surface, puisse engendrer une cheminée telle que son effondrement se répercute sur cette surface, il faut que cette masse

de sel soit très considérable; aussi Morsey-Picard s'efforce-t-il de démontrer qu'elle l'est. Il néglige le sel rencontré dans les galeries profondes n^{os} II et III, à cause de la grande distance et parce que, dans la galerie n^o III, il occupait à peine une surface d'un pied carré, mais il insiste sur le sel révélé par la galerie IV et ses dépendances, qui, suivant lui, constitue un seul et même dépôt, dont les galeries, hautes de 2^m,2, ont mis à découvert déjà d'une part 1,660 mètres carrés et d'autre part 320 mètres carrés, de sorte que l'étendue des surfaces d'érosion, en supposant seulement une extension de 1 mètre de chaque côté, devait atteindre 3,080 mètres carrés et 570 mètres carrés, et aller ainsi en progression ininterrompue.

Quelle peut être la grandeur de cette masse de sel, et surtout quelles peuvent être ses dimensions verticales? C'est ce qu'il se garde de préciser; il insiste surtout sur ce fait que la cavité créée par la dissolution et le départ de cette masse d'au moins 177 mètres de diamètre, doit s'être rapidement effondrée. Au premier affaissement ont dû en succéder d'autres dans les couches surincombantes, au fur et à mesure que la dissolution progressait. Qui oserait mettre en doute que ces affaissements consécutifs puissent se propager jusqu'à la surface du sol, en même temps que des mouvements se produisent dans les failles, dont les bancs ont depuis des temps incalculables perdu toute cohésion avec leur voisinage (tout en s'étant ressoudés de façon à redevenir imperméables, ainsi que l'a montré leur siccité)? Et comme l'emplacement des premiers affaissements superficiels (dans la *Zeisingstrasse*) est précisément dans la verticale qui part du dépôt de sel, et à l'endroit précis où, d'après la théorie, le premier affaissement de la cheminée de création récente avait dû se produire, Morsey-Picard déclare démontré que l'affaissement consécutif des bancs mis en porte à faux a produit les descentes de sol et les dommages aux bâtiments de la ville d'Eisleben. Il ne voulait pas même admettre qu'il fût utile d'attendre, comme le demandait la Société attaquée, pour décider la question, jusqu'à l'époque où l'exhaure des lieux inondés, que la Société espère achever en quelques années, permettrait la visite des parties de l'exploitation situées sous la ville d'Eisleben.

Et cependant, ce peut être par un effet du hasard que les affaissements de la *Zeisingstrasse* se trouvent précisément en verticale au-dessus de la masse de sel qu'on a rencontrée à 527 mètres de profondeur. Cette circonstance n'est certainement pas décisive. La relation entre les masses de sel supposées enlevées et les masses voisines est d'une grande importance et doit être soigneusement examinée, avant

que l'on n'admette que la cavité laissée par l'enlèvement à 527 mètres de la surface ait pu troubler celle-ci, alors que les fragments des divers toits successivement écrasés ont dû, par le foisonnement, faire l'office de remblayage. Pour que la surface dût nécessairement souffrir de l'éroulement souterrain, il faudrait que celui-ci affectât une cavité d'au moins 180 mètres de haut.

Défense de l'Administration minière.

L'exposé qui précède indique qu'il ne devait pas être difficile à MM. Wimmer et Schrader, ingénieurs de la Société attaquée, de montrer combien l'énormité des effets produits était peu en rapport avec les faits constatés. Ils n'avaient qu'à invoquer combien rare était le sel dans le sous-sol d'Eisleben, à rappeler qu'il n'y constituait que des amas insignifiants, en forme de lentilles (*Nester*), mais nullement de grands dépôts de forte épaisseur (*Stöcke*). La longueur, importante cependant, de 177 mètres constatée chez une de ces lentilles, à 527 mètres de profondeur, ne permettait nullement de conclure à une forte épaisseur, ce qui était cependant la question essentielle au débat. Cette objection avait d'autant plus de valeur, que la galerie qui a rencontré le sel suit la direction des couches et peut avoir, par conséquent, traversé celui-ci dans son étendue la plus considérable.

D'ailleurs, l'allure de l'anhydrite dans laquelle le sel se trouve inclus s'oppose à ce que l'on attribue à ce dernier une épaisseur telle que sa disparition dût compromettre la stabilité de toute la formation. Le sel gemme se trouve entrecroisé avec des lits minces d'anhydrite, qu'on appelle les anneaux annuels (*Jahresringe*) et qui divisent le banc en une infinité de couches de faible épaisseur; de la même manière viennent s'interposer dans l'anhydrite des lits, qui ont jusqu'à 5 millimètres d'épaisseur, d'une substance de couleur foncée, analogue au schiste bitumineux. De même que les anneaux annuels du sel gemme, ces lits interposés présentent clairement tous les plis et replis du dépôt, et leur couleur sombre fait ressembler les parois des galeries et chambres pratiquées dans l'anhydrite à une peau de zèbre ou de tigre, alternativement rayée de noir et de blanc. La substance analogue au schiste bitumineux n'est autre chose que le dépôt laissé par les troubles périodiques des cours d'eau qui venaient au temps jadis se déverser dans la crique ou dans la lagune, où pendant la période sèche l'évaporation était assez intense pour que l'anhydrite se formât et se déposât dans

l'eau de mer arrivée à sursaturation. Pour que le processus de concentration et de précipitation chimique fût poussé jusqu'à la formation d'un dépôt puissant de sel marin, il eût fallu une interruption absolue et prolongée de tout afflux d'eau douce, si pas générale, au moins localisée au point observé, circonstance que la continuité et la régularité des traces de troubles fluviaux écartent absolument ici (1).

Dans notre cas, les dimensions du dépôt salin devaient forcément rester faibles, aussi longtemps que durait l'alternance des abondances et des suppressions d'eaux affluentes, tant douces que salées. Or cette alternance dans la région considérée est restée si régulière que même les masses d'anhydrite qui recouvrent le sel présentent, comme celui-ci, le zébrage régulier, produit par les lits interposés de nature argileuse et de couleur foncée; nous avons pu le constater en examinant ce qui remplissait une véritable cheminée due au sel gemme, rencontrée en 1895 dans la galerie n° II, et d'un diamètre d'au moins 28 mètres. Elle était alors asséchée, une partie du sel en roche n'avait pas été dissoute, elle était comblée par des blocs d'anhydrite de toutes dimensions, tombés évidemment du haut de la cavité et entassés en désordre; tous étaient munis des mêmes raies noires que l'anhydrite au milieu de laquelle les galeries avaient été pratiquées.

Mais si les circonstances génétiques des couches salines observées rendent invraisemblable, à raison de leur faible épaisseur, la formation de cavités dont l'effondrement aurait pu se répercuter à la surface, l'examen approfondi des troubles superficiels prouve de son côté que ceux-ci diffèrent profondément de ceux qu'engendrent de pareils effondrements. La loi de ces derniers, alors même que la forme en entonnoir n'est pas parfaite, c'est la disposition des affaissements de la surface en cercle ou en ovale autour d'un centre. Les fissures du sol affectent donc des directions soit tangentielles, soit radiales, et présentent l'aspect d'une toile d'araignée. La disposition des fissures du sol constatées à Eisleben est tout autre (2).

(1) La précipitation de l'anhydrite exige déjà une réduction du volume de l'eau de mer à 11.2 %, et il faut une réduction jusqu'à 5.5 % du volume primitif pour que le sel marin se précipite ou cristallise à son tour. (Voir *Glückauf* d'Essen, 1896, n° 24.)

(2) La figure que le rapport Helmhacker a donnée des affaissements du sol survenus à Brüx, en Bohême, dans la nuit du 20 au 21 juillet 1895, présente d'une façon saisissante les différences signalées. A Brüx, un lit d'environ 50,000 mètres cubes de sable mouvant s'était précipité, sur une épaisseur d'environ 100 mètres, dans une cavité d'environ 30 mètres de haut créée par l'extraction des lignites; les couches superficielles, privées de leur support, s'affaissèrent et il se créa des entonnoirs (*Pingen*) ayant jusqu'à 15 mètres de profondeur, entourés d'une couronne serrée de fissures parallèles à leur bordure.

Il fut objecté qu'il existait, non pas un, mais deux centres d'effondrement (la *Zeisingstrasse* et la *Rammthorstrasse*), et que leur combinaison influait sur les phénomènes superficiels; mais c'était là une pure hypothèse. Il faut donner le pas en ces matières aux fissures et en général aux phénomènes du sol; les bâtisses élevées sont des indices moins sûrs, car leurs lézardes sont fortement sujettes à subir l'effet de circonstances purement accidentelles.

Recherche des causes réelles des mouvements du sol d'Eisleben.

Il est assez légitime, après avoir reconnu le caractère très contestable et l'impossibilité des conclusions de Morsey-Picard, de chercher ailleurs l'origine des mouvements du sol d'Eisleben, en prenant avant tout en considération la disposition qu'y présentent les fissures. Il est certain qu'on ne peut songer à écarter complètement l'influence des circonstances de la surface, déjà mentionnées plus haut, telles que l'escarpement des rives du cours d'eau local et le tassement des dépôts modernes de gravier et d'argile: ainsi la fissure I de la planche VI, qui traverse l'église Sainte-Anne, en dépend et vraisemblablement aussi la fissure II. Mais toutes les autres offrent une régularité incontestable. Elles sont toutes parallèles entre elles et uniformément dirigées du sud-est au nord-ouest. Cette uniformité de direction prouve, suivant des principes dont l'exposé nous entraînerait trop loin, que les secousses auxquelles les fissures sont dues ne proviennent pas d'un point central, mais d'un grand nombre de points, répartis sur un plan de direction unique. Il se peut qu'ils soient répartis sur plusieurs plans, mais qui alors doivent être parallèles, ou du moins de même direction, de telle façon que leurs traces sur un plan horizontal soient parallèles entre elles et avec celles des fissures du sol. Or toutes les couches du sous-sol jusqu'au *Rothliegende* inclus ont la même direction. Des galeries profondes suivent en général la direction des couches; aussi voit-on nettement dans la planche VI le parallélisme existant entre les fissures du sol et la galerie n° IV.

Ces circonstances de grande importance font présumer que les perturbations d'Eisleben ont pour origine des plans tectoniques des couches sous-jacentes, dont la stabilité a été détruite, ce qui a entraîné des fracassements et des affaissements. Mais ces derniers ne peuvent s'être étendus à toute la surface du plan; ils ont été limités à une zone parallèle à la direction des couches et à leur affleurement vers le bord du

bassin qu'elles forment (voir planche VII); c'est dans cette zone qu'est comprise la région sinistrée.

A quelle cause peut être due cette destruction de la stabilité? Évidemment à une perte de substance, soit d'éléments rocheux entièrement disparus, soit d'éléments encore présents, mais ayant subi une réduction. Vraisemblablement, l'eau qui parcourt les couches superposées doit être considérée comme l'instrument et le véhicule de la perte de substance dont l'admission s'impose.

*Recherche de la substance dissoute par l'eau et ayant provoqué
les tassements.*

C'est donc l'eau, non point par érosion mécanique, mais par dissolution et lavage chimique, qui a diminué la substance des couches entassées. Mais quelle substance a-t-elle enlevée? Pour résoudre cette question, il est nécessaire de considérer, à deux points de vue divers, les roches qui constituent le sous-sol : d'abord sous le rapport de leur degré de résistance à l'action chimique des eaux atmosphériques, ensuite sous le rapport de la part plus ou moins grande pour laquelle elles contribuent à la stabilité du système; de plus, il faut rechercher les voies par lesquelles l'eau arrive au contact des roches dans le sous-sol.

Dans le bassin en fond de bateau de la région d'Eisleben, l'eau n'a pas pu arriver immédiatement de la surface aux roches attaquables; celles-ci sont recouvertes par les masses du grès bigarré, où domine l'élément argileux, c'est-à-dire imperméable. La réalité s'est, sous ce rapport, montrée conforme à la vraisemblance, lorsque l'on a eu constaté la parfaite siccité des failles qui environnent la galerie principale du puits Martin. Il faut se rapprocher des bords du bassin pour rencontrer des cavités sur le parcours des failles verticales. C'est donc vers ces bords qu'il faut chercher les points par où l'eau pénètre, et cela en grande abondance, comme le savent bien les mineurs de la région qui en ont rencontré certaines couches absolument gorgées; là où les divers bancs présentent leur tranche, là aussi sont les points de pénétration. La conséquence naturelle de ce fait est une distribution des effets de pénétration et de dissolution, par zones de décroissance parallèles aux bords du bassin; c'est, en effet, ce qui se présente à la région des perturbations d'Eisleben, qui constitue une de ces zones.

Quant au plus ou moins de solubilité des roches, il faut placer au premier rang le sel gemme; mais il est généralement établi — et on se

l'explique facilement — que dans les environs d'Eisleben, aux bords du bassin, le sel ne se présente que bien rarement ; il ne s'y rencontre qu'à l'état de petites lentilles, séparées les unes des autres et incluses dans l'anhydrite. Pour que l'eau puisse exercer sur lui son action dissolvante, il faut que l'anhydrite se fissure abondamment ; or elle n'y est guère disposée : c'est ce que montrent les nombreux plis à flexions sans rupture de ses diverses couches.

Quant à l'anhydrite, elle n'est pas directement soluble dans l'eau ; elle ne le devient que par sa transformation en gypse ; une mince couche de cette substance recouvre toutes les parois d'anhydrite avec lesquelles l'eau a été en contact. Cependant, elle n'est pas très avide d'eau (hygroscopique), comme le voudrait certaine théorie très facile à réfuter, suivant laquelle la transformation de l'anhydrite en gypse s'opérerait en grandes masses, ce qui exigerait un supplément d'espace, qu'elle n'aurait pu se procurer que par le plissement de ses couches et le soulèvement avec rupture de son toit. Au lieu de cela, nous ne voyons la transformation en gypse s'opérer que latéralement à des fissures préexistantes qui ont permis l'accès à l'influence de l'eau, et là le revêtement de gypse protège bientôt le reste de l'anhydrite contre cette influence et arrête ou tout au moins ralentit la transformation.

La lenteur de celle-ci a été confirmée par ce que l'on a pu observer dans la cheminée dont il a été question ci-dessus, et où l'on a constaté que non seulement les blocs écroulés d'anhydrite avaient conservé leur nature originaire, tandis que les vides régnant entre eux étaient en partie remplis d'un sable formé de cristaux de gypse, provenu probablement des « anneaux annuels » d'anhydrite intercalés dans le sel gemme, mais encore qu'il en était de même des parois de la cavité, formées de sel gemme érodé par l'eau et renfermant de nombreux cristaux d'anhydrite en saillie.

Ces roches facilement solubles, sel gemme, gypse et anhydrite, exigent donc, pour être enlevées de la masse rocheuse par délavage, un fissurage préalable de celle-ci qui donne accès à l'eau. Mais ce fissurage est nécessairement un phénomène secondaire, postérieur au dépôt des couches, et l'expérience minière acquise à Eisleben autorise à affirmer que jusqu'ici il n'a pas atteint assez d'ampleur pour permettre l'accès de l'eau par la tranche affleurante des bancs.

Il faut bien cependant trouver des couches *perméables*, la grande quantité d'eau que l'on rencontre dans les travaux souterrains l'exige. Elles ne peuvent se trouver que dans les couches de l'*Asche* et de

la *Rauchwacke*; celles-là sont les seules de toutes celles qui surmontent le *Kupferschiefer* qui présentent la perméabilité nécessaire. L'*Asche* prédomine notablement par sa masse, du moins d'après les constatations faites jusqu'ici. Que sont ces *Aschen*? Une marne sableuse dolomitique à gros grains qui ne se rencontre en masses notables qu'ici et constitue ainsi une roche propre au bassin d'Eisleben. Les mineurs d'Eisleben l'ont dit depuis longtemps : elles sont le résidu d'une roche jadis compacte, dont un des éléments a été enlevé par dissolution et délavage. Tant au point de vue pétrographique qu'au point de vue géologique, on peut affirmer que les *Aschen* n'ont jamais pu être déposées dans leur état actuel. La roche mère d'où elles proviennent par l'effet dissolvant des eaux atmosphériques riches en acide carbonique, tant par elles-mêmes que par l'humus qu'elles ont traversé, est un calcaire dolomitique. Mais pour qu'il eût offert à l'eau des surfaces d'attaque et des moyens d'accès, il fallait qu'il ne fût pas compact, mais au contraire de structure poreuse ou caverneuse, semblable à celle que présente encore aujourd'hui la *Rauchwacke* associée aux *Aschen*. A cette roche mère l'eau a enlevé le carbonate de calcium pur, par le procédé mis en œuvre dans d'autres calcaires où par dissolution et délavage le long des fissures elle a créé des cavernes. On ne peut invoquer contre la réalité de ce processus la circonstance, encore à expliquer du reste, que dans cette région font défaut ces dépôts superficiels de tuf calcaire si fréquents comme dépôts de source dans le *Muschelkalk*, car ceux-ci manquent surtout dans la région du calcaire dolomitique du *Zechstein*, et même là où celui-ci présente des crevasses élargies en forme de grandes cavernes. Mais comme, dans notre cas, l'attaque chimique ne se produisait pas le long de fissures d'une roche compacte, mais bien dans toute la masse d'une roche spongieuse imbibée d'eau, et comme l'eau de dissolution n'a pu pénétrer en profondeur que le long de la surface des couches intercalaires imperméables, elle n'a pu arriver à la création de hautes salles et de galeries isolées, elle n'a pu produire que des érosions larges, mais de faible épaisseur, toutes parallèles à la direction des couches. Là où la perméabilité des couches se modifiait, — ce que la présence du schiste bitumineux associé aux calcaires amenait assez fréquemment, — de pareilles érosions ont pu se superposer par étages. Elles se sont multipliées et arrondies en proportion de la durée et de la force des réactions chimiques. Et comme l'agent chimique agissant uni à l'eau ne pouvait pénétrer que par la tranche des couches affleurant aux bords du bassin, les périodes d'égale puis-

sance du processus dissolutif devaient se manifester par des zones parallèles à ces bords, à condition, bien entendu, que l'eau pénétrât également à tous les points d'affleurement et ne fût pas en certains d'entre eux arrêtée par des circonstances accidentelles.

La perte de substance infligée aux couches dolomitiques a nécessairement altéré leur stabilité et leur force de support. Le temps devait inévitablement amener leur rupture. Leurs débris étaient bien plus faciles à pénétrer par l'eau dissolvante qu'elles ne l'étaient primitivement, et le processus érosif augmentait dès lors en intensité et en rapidité. La continuation de l'érosion et des fractures qu'elle amenait finit nécessairement par agir sur l'ensemble des dépôts, dont la stabilité générale alla s'affaiblissant, non seulement celle des calcaires disposés à se transformer en *Asche*, mais celle du *Zechstein* pris dans son ensemble. L'importance du phénomène ne peut s'évaluer que par le calcul du rapport existant entre la masse de la roche primitive et celle de l'*Asche*, qui est son résidu. Or le puits Ernest II, près d'Helbra, a traversé 55 mètres d'*Asche*, qui ne représentent que le tiers et même le cinquième de la roche qu'ils remplacent; on en peut conclure la puissance de l'effet que pareille substitution a dû exercer sur la stabilité générale du système rocheux dans lequel elle s'est produite. Cet effet est colossal, et comme le phénomène auquel il est dû continue encore de nos jours et continuera aussi longtemps que des eaux chargées d'acide carbonique pénétreront dans les couches et y rencontreront du carbonate de chaux, on peut juger quelles conséquences il peut entraîner. Ce qui vient encore le renforcer et l'aider, c'est ce qui se passe dans les couches que les précédentes soutenaient; dépourvues de soutien, elles aussi s'affaissaient inévitablement, si pas immédiatement, du moins lentement, à mesure que leur propre solidité disparaît, et il en résulte un fracassement général. Des fissures très étendues en hauteur se produisent et suivant les zones d'égale érosion, viennent apparaître à la surface en lignes de même direction. Ce fissurage part des roches que l'eau a affectées les premières, c'est-à-dire du niveau assez insignifiant des *Aschen* superposées au *Zechstein* proprement dit, se propage dans les *Aschen* du niveau supérieur, beaucoup plus puissantes, renfermant du schiste bitumineux, et atteint enfin l'anhydrite, qui souvent contient du sel. Alors l'érosion trouve à sa disposition un champ propice à la création de cavités verticales.

CONCLUSIONS.

D'après l'exposé qui précède, nous avons donc le droit d'admettre que par un phénomène continu de dissolution et de délavage, dont le début se perd dans la nuit des temps et qui n'est pas terminé, se sont formées et se forment encore dans le sous-sol d'Eisleben et de ses environs une série de petites cavités aplaties, parallèles à la stratification, amenées par l'enlèvement du carbonate de calcium; nous avons le droit d'admettre aussi que la compression de ces cavités en a amené d'autres disposées en chapelets (*Schlottenzüge*) dans l'anhydrite et le gypse, cavités dues à l'enlèvement de cette dernière roche et du sel gemme qu'elle contient par places.

Une de ces cavités a-t-elle atteint dans le passé ou plus récemment des dimensions assez grandes pour que son effondrement ait pu, étant donnée la profondeur de sa position, réagir sur la surface et y amener des affaissements locaux? C'est ce que personne n'affirme et ce qui n'est pas vraisemblable. Il va de soi que l'affaissement de nombreuses cavités, même à de grandes profondeurs, doit avec le temps amener des phénomènes de surface; mais cela ne se fait que lentement, graduellement; l'ensemble du sol se tasse avec une certaine plasticité et sans désordres violents et localisés. Personne n'a jamais supposé aux cavités qui s'écrasaient une importance telle que l'on pût chercher dans ce phénomène l'explication des secousses ondulatoires qui viennent souvent troubler la superficie de notre globe. La multiplicité des cavités fait qu'elles ne peuvent guère s'écraser isolément, qu'au contraire elles s'écrasent par groupes, tantôt horizontaux, tantôt verticaux, et comme elles ont une direction commune, les secousses d'effondrement se propagent le plus loin et le plus vigoureusement en ce sens, parce que les efforts des nombreux chocs s'y accumulent, de même que des coups avec chocs répétés tordent une barre métallique. C'est pour cela que des secousses trop faibles pour produire des effets visibles à la surface, ou affaiblies par la trop grande profondeur des points ébranlés, ont pu et peuvent encore, par leur réunion, secouer violemment des zones étendues du sol superficiel et y provoquer des dégâts de la gravité de ceux dont Eisleben a souffert dans ces dernières années.

On se demandera, si ces dégâts ne peuvent être imputés aux travaux du mineur et sont simplement le résultat d'un phénomène irrésistible, dû aux circonstances constitutives du système géologique local,

comment il se fait qu'ils ne se manifestent qu'à certains moments et en certains lieux? Mais cette limitation est-elle bien réelle? Leur apparition intense à Eisleben peut être due à des conditions spécialement favorables du sol superficiel, déjà plusieurs fois mentionnées, et spécialement en outre à la circonstance que les bâtisses élevées s'y rencontrent en groupe compact. La continuation vers le nord-ouest et vers le sud-est, à partir d'Eisleben, de la zone parallèle au bord du bassin, ne présente plus que de rares bâtisses élevées et, dès lors, les effets de l'ébranlement du sol ont pu facilement y échapper à l'observation. On peut expliquer en outre la limitation de la région sinistrée à une partie seulement de la zone hypothétique, par les différences de perméabilité dans le niveau de l'*Asche*, ou par d'autres circonstances accidentelles, qui ont influé sur la répartition des eaux d'infiltration.

A l'ouest d'Eisleben, et surtout le long du bord du bassin, les mouvements du sol n'ont jamais fait défaut; mais comme le recouvrement en grès bigarré y est de faible épaisseur et comme la présence du gypse dans le sous-sol est connue de tous, on les a toujours attribués à des effondrements de « cheminées ». Eisleben lui-même a peut-être été déjà victime dans le passé de pareils phénomènes, dont l'homme, à vie si courte, a perdu le souvenir; du moins l'expert Henoch, consulté dès l'origine et qui procéda alors à l'examen minutieux des monuments affectés, déclara avoir constaté dans les plus anciens les traces de vieilles lézardes réparées. Il n'y avait donc d'extraordinaire dans les derniers dégâts que leur intensité. Mais d'après ce qui a été dit ci-dessus des conditions dans lesquelles se forment, parallèlement aux bords du bassin, des zones d'égal affaiblissement de résistance et d'égal affaissement, il faut admettre que ces zones se déplacent peu à peu des bords du bassin vers son centre; les conditions actuelles du sous-sol se produisent donc pour la première fois sous Eisleben et antérieurement leur équivalent ne régnait que sous la zone intermédiaire entre cette ville et le bord du bassin.

Il semble donc qu'il faille écarter toute faute des exploitants de mines. On peut, au contraire, attribuer à leurs travaux une influence atténuante des dangers de la situation. En effet, ils dégagent de grandes quantités d'eau des niveaux supérieurs et soustraient ainsi à l'influence des eaux stagnantes les roches solubles qu'ils contiennent. Le laboratoire du délavage se trouve ainsi transporté dans les niveaux inférieurs, dont les affaissements ne réagissent sur la surface du sol que dans une mesure notablement affaiblie.

Une autre circonstance est encore plus importante. Jusqu'ici les

dégâts matériels ont été considérables, mais heureusement aucune vie humaine n'a été atteinte. Il n'est cependant pas douteux qu'il eût pu en être autrement, si la montagne avait été laissée dans un repos absolu; les cavités s'y seraient multipliées, amenant avec elles un état d'équilibre instable allant toujours en s'accroissant. Il eût suffi soudain alors d'une cause occasionnelle, même insignifiante, pour déterminer l'effondrement de toute une masse rocheuse, percée dans tous les sens, et amener des écroulements superficiels bien plus graves que ceux qui se sont manifestés. Semblable catastrophe a été évitée et, certes, l'intérêt général a été ainsi protégé. Il est donc utile de ne pas laisser ces masses rocheuses complètement en repos. A ce point de vue, les secousses modérées, mais répétées, imprimées à la montagne par les explosions de mines et le tassement qui en est la suite, et qui n'affecte guère la surface, ont une grande importance; elles constituent une épreuve incessante de la stabilité du système. Quant à l'envahissement des galeries par les eaux le 26 juillet 1889, on ne saurait admettre qu'il ait eu pour conséquence leur effondrement, et par suite les affaissements dommageables de la superficie, quand on se rappelle que ceux-ci n'ont commencé qu'en décembre 1892.
