ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

Combes, inspecteur général de 1re cl., membre de l'Académie des Sciences, directeur de l'École des mines, *président*.

Élie de Beaumont, sénateur, insp. général de 1re cl. (en retraite), membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

De Boureuille, conseiller d'État, inspecteur général de 1re cl., secrétaire général du ministère des travaux publics.

De Billy, inspecteur général de 1re cl.

Piérard, inspecteur général de 1re cl.

Gruner, inspecteur général de 1re cl., professeur de métallurgie.

François, inspecteur général de 2e cl.

Dusouich, inspecteur général de 2e cl.

Daubrée, inspecteur général de 2e cl., membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

Couche, inspecteur général de 2e cl., professeur de construction et de chemins de fer.

Harlé, inspecteur général de 2e cl.

Lefébure de Fourcy, insp. gén. de 2e cl.

Callon, ingénieur en chef de 1re cl., professeur d'exploitation.

Dupont, ingénieur en chef de 1re cl., professeur de droit des Mines.

Bayle, ingénieur en chef de 2e cl., professeur de paléontologie.

Delesse, ingénieur en chef de 2e cl., professeur de drainage.

Lamé-Fleury, ingénieur en chef de 2e cl., secrétaire du conseil général des mines.

Moissenet, ingén. ordinaire de 1re cl., professeur de docimasie, *secrétaire de la commission*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'ingénieur, secrétaire de la commission des* Annales des Mines, boulevard Saint-Michel, n° 60, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE CUSSET ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES
OU
RECUEIL
DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SIXIÈME SÉRIE.

MEMOIRES. — TOME XVIII.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vor DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

LIBRAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49

1870

ANNALES

DES MINES.

NOUVEAU PROCÉDE DE TRAITEMENT

DES MINERAIS D'OR ET D'ARGENT.

Par feu M. L. E. RIVOT, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des mines (*).

INTRODUCTION.

Le développement incroyable qu'ont pris en si peu de temps les différents comtés de la Californie, a eu pour origine la découverte des alluvions aurifères. La valeur de l'or retiré des alluvions atteint un chiffre presque fabuleux dont les documents officiels ne donnent probablement qu'une évaluation incomplète. Le lavage des alluvions se continue sur une vaste échelle ; mais il ne fournit plus, comme dans

(*) Ce mémoire est publié conformément aux volontés exprimées par l'auteur dans le passage suivant d'un écrit laissé à M. Félix Rivot, son frère :

« ..... J'ai préparé un mémoire sur mon procédé de traitement « des minerais d'or et d'argent. Il n'est pas terminé, mais il est « assez avancé pour que Moissenet puisse l'achever pour les *Annales* « *des mines*. Je le prie de me rendre ce service.

« Aux chapitres déjà écrits, il y aurait à ajouter la descrip- « tion des appareils que j'ai fait breveter; il suffirait de dé- « crire le four à rotation et l'appareil d'amalgamation. Cela est

les premières années de la *fièvre de l'or*, la totalité des métaux précieux livrés par la Californie à la circulation. Depuis longtemps déjà, on a entrepris l'exploitation de nombreux filons contenant de l'or et de l'argent sous divers états : les minerais extraits des filons sont traités dans des usines qui produisent, au moment actuel, plus de 350 millions de francs d'or et d'argent. Je n'ai pas à m'occuper du lavage des alluvions décrit déjà par plusieurs ingénieurs : mon procédé ne s'applique pas au travail des alluvions : je ne parlerai que des filons.

On a pu étudier à l'exposition internationale de 1867 la collection à peu près complète des minerais exploités et des échantillons provenant des gisements reconnus, mais qui ne sont pas encore en exploitation régulière. J'ai reçu moi-même, au laboratoire de l'École des mines, depuis plusieurs années, de nombreux échantillons des divers comtés de Californie et j'ai pu me rendre compte de la nature des minéraux contenus. Il ne m'a pas été possible, même en multipliant les essais, de faire une évaluation approximative de la richesse moyenne des minerais exploités. Les rendements obtenus dans les usines ne sauraient fournir eux-mêmes à cet égard que des indications très-incertaines. D'après les renseignements qu'il m'a été possible de me procurer, on doit distinguer les filons aurifères et les filons argentifères.

« assez facile avec les brevets qui sont dans le même portefeuille « que le mémoire et avec les planches qui sont dans un rouleau « à côté. »

Ce travail, interrompu par la mort prématurée de l'auteur, a été écrit dans le milieu de 1868. Diverses circonstances en ont retardé jusqu'à ce jour la publication.

Le manuscrit des chapitres I et II, terminé par M. Rivot, est donné ici intégralement. Le chapitre III a été composé à l'aide des matériaux désignés par l'auteur.

Juin 1870.

L. MOISSENET.

I. — FILONS AURIFÈRES.

1° *Filons quartzeux, aurifères.* — Contenant l'or à l'état natif disséminé sous forme de mouches, de filaments, de veinules, etc... Ces filons contiennent généralement peu de pyrite de fer près des affleurements, mais la proportion des pyrites augmente assez rapidement dans la profondeur. Pour un certain nombre de ces filons dont l'exploitation remonte déjà à quelques années, on est obligé de séparer les pyrites du quartz par préparation mécanique avant d'envoyer les minerais au moulin. Les pyrites ainsi séparées, ont fréquemment une teneur en or assez élevée, mais jusqu'à présent on n'en a pas tiré un parti avantageux. Elles contiennent peut être l'or à l'état métallique ; en tout cas, l'or qui s'y trouve contenu ne passe pas à l'état d'amalgame, quand on soumet à l'amalgamation directe les pyrites crues ou les pyrites grillées à l'air.

2° *Filons quartzeux et pyriteux, aurifères.* — Contenant principalement de la pyrite arsenicale dès les affleurements. Ces filons sont généralement assez riches en or : dans quelques échantillons l'or apparaît à l'état métallique en filaments déliés ; dans presque tous les morceaux que j'ai examinés, l'or natif n'est pas visible à la loupe : on peut en séparer une partie sous forme de grains doués de l'éclat métallique, en traitant le minerai par l'acide azotique faible. On ne parvient cependant jamais à retirer la totalité de l'or par trituration avec le mercure, soit avant, soit après grillage à l'air. Il est donc présumable que dans les pyrites l'or ne se trouve pas en totalité à l'état natif. Il m'a été impossible de reconnaître quel est l'état de combinaison de l'or dans ces minerais.

Quelques-uns des filons quartzeux et pyriteux contiennent en même temps, par places, des sulfates de baryte ou du

carbonate de chaux. Ces gangues ne se présentent pas en général sur toute la longueur des filons; elles occupent des zones plus ou moins étendues, plus ou moins espacées. On a fait la même observation pour la répartition des pyrites de fer, de la pyrite arsenicale, ainsi que pour la richesse en or du quartz et des pyrites. Des explications très-nettes m'ont été données sur ces faits par des ingénieurs américains, relativement à plusieurs des principaux filons exploités. Ils sont parfaitement d'accord avec les faits que j'ai pu observer en Europe, depuis 24 ans, et je n'hésite pas à formuler une opinion, bien que je n'aie pas encore visité les mines de la Californie. Les grands filons quartzeux ne sont que des croiseurs, qui se sont rouverts au moment du remplissage de filons ou de veines, ayant des directions différentes, et une puissance beaucoup moins grande, puisqu'elles ont échappé jusqu'à présent à l'attention des exploitants. Ces veines ou filons sont les véritables veines ou filons pyriteux et aurifères: les pyrites et l'or ont pénétré, aux croisements, dans les réouvertures des grands filons quartzeux. Ces filons, ou veines métallifères, seront promptement mis en évidence quand les exploitants auront fait des recherches sérieuses pour les retrouver, soit aux affleurements, soit à une profondeur convenable, en prenant comme point de départ de leurs recherches les zônes riches des grands filons quartzeux.

Afin de n'avoir pas à revenir sur le même sujet, je dirai dès maintenant, que des faits analogues à ceux que je viens de signaler, se représentent pour les filons argentifères; les filons puissants, connus sur de grandes étendues en direction, riches en or ou en argent seulement par zônes, doivent leur richesse aux croisements des veines réellement métallifères qui n'ont pas encore été mises en exploration en raison de leur puissance relativement faible.

II. — FILONS ARGENTIFÈRES.

Les filons argentifères sont à gangues de schistes, de quartz, de sulfate de baryte, et plus rarement de carbonate de chaux; ils contiennent l'argent à l'état de sulfure, de sulfo-arséniure, de sulfo-antimoniure, et renferment des composés métalliques très-divers, en proportion variable, la blende, la galène, le sulfure d'antimoine, le cuivre gris, la bournonite, la pyrite de fer, la pyrite arsenicale, etc... Plusieurs de ces filons notamment ceux du comté d'Austin, présentent des veines de 15 à 20 centimètres de puissance, rendant à l'essai de 3 à 12 p. 100 d'argent.

Assez fréquemment, les filons argentifères contiennent de l'or: la richesse en or paraît être plus grande pour ceux des filons qui renferment de la pyrite de fer et de la pyrite arsenicale.

Les filons argentifères d'une grande richesse sont explorés dans bien des localités, mais leur exploitation est généralement peu active, parce que les procédés de traitement connus jusqu'à présent ne permettent de retirer qu'une faible partie des métaux précieux contenus dans les minerais. On exploite principalement les veines les plus riches pour envoyer le minerai en Europe.

Les minerais rouges contenant l'argent à l'état natif, à l'état de chlorure, plus rarement à l'état de bromure, exploités depuis des siècles au Chili, au Pérou, dans le Centre Amérique, au Mexique, ne se rencontrent pas en Californie: ou, du moins, cette classe de minerais n'a fourni jusqu'à présent qu'une bien faible partie de la production de l'argent. Il y a cependant une analogie tellement grande entre les filons de la Californie et ceux des autres parties de l'Amérique, que l'on doit s'attendre à la découverte, en Californie de filons contenant des minerais rouges. Du reste, au Chili, au

Pérou, etc, on a abandonné l'exploitation d'un certain nombre de filons qui, près de la surface, contenaient de grandes richesses en argent natif et en chlorure d'argent, par la seule raison qu'à une certaine profondeur, ces filons ne renfermaient plus que des minerais noirs intraitables au patio. L'exploitation de ces filons sera probablement reprise, dans un avenir assez rapproché, quand la méthode de traitement que je propose maintenant, aura été appliquée dans plusieurs usines de Californie à des minerais de même nature.

Il me paraît utile d'ajouter aux précédentes indications, quelques mots sur les procédés de traitement employés jusqu'ici en Amérique pour les minerais d'or et d'argent extraits des filons.

1° *Procédé du Patio.* — Le procédé d'amalgamation en tas ou *tourtis*, à l'aide du sel et du magistral, est appliqué depuis des siècles aux minerais rouges, qui contiennent l'argent à l'état natif ou à l'état de chlorure, dans les pays d'Amérique où la température est assez élevée. On a traité par la même méthode les minerais noirs les plus simples, qui renferment l'argent à l'état de sulfure et qui ne contiennent qu'une assez faible proportion de sulfures métalliques. Le *Patio* n'a pas donné de bons résultats pour les minerais un peu complexes contenant des combinaisons de l'arsenic et de l'antimoine ; il est inapplicable dans les pays froids et dans ceux où les variations de la température sont trop brusques. La perte de mercure dans ce procédé de traitement est toujours appréciable : elle est bien plus sensible quand on opère sur des minerais noirs que lorsqu'on traite des minerais rouges : elle serait très-forte pour les minerais un peu complexes. Le rendement des minerais au patio est nécessairement très-variable avec la nature et la richesse des minerais traités et avec les conditions atmosphériques ; il dépend principalement de l'habileté des personnes qui dirigent les opérations. En moyenne, et pour

les minerais rouges, ce procédé de traitement donne 75 p. 100 de l'argent indiqué par les essais. La perte à l'essai dépassant toujours 30 p. 100, on voit que l'amalgamation au patio, rend seulement de 55 à 60 p. 100 de l'argent contenu dans les minerais : on perd presque autant d'argent qu'on en obtient sous forme de lingots.

La perte est encore plus forte pour les minerais noirs principalement pour ceux de ces minerais qui contiennent de l'arsenic et de l'antimoine. Le procédé au patio présente de plus l'inconvénient grave d'exiger beaucoup de temps : puisqu'il faut souvent plus de six semaines pour terminer une opération.

2° *Amalgamation à chaud.* — On a apporté depuis bien des années une modification importante au procédé précédent, et on en a fait l'application à certains minerais chlorurés riches en argent. On effectue l'amalgamation à une température voisine de 100 degrés dans une chaudière à fond de cuivre : l'opération est terminée en quelques heures, mais le rendement est encore notablement inférieur à la teneur indiquée par l'essai. La perte de mercure est assez notable et les frais sont élevés.

3° *Amalgamation directe.* — Dans les divers états du nord de l'Amérique occidentale, l'exploitation des filons quartzeux aurifères fournit journellement un nombre considérable de tonnes de minerais à diverses teneurs. On les traite par pulvérisation et trituration avec du mercure dans des *pans*, en présence de l'eau. Ce mode de traitement est peu coûteux, ce qui permet de l'appliquer à des minerais, qui ne rendent pas plus de 300 fr. d'or par tonne. La perte en mercure est presque nulle, mais le rendement est toujours notablement inférieur à la teneur en or indiquée par les essais, il semblerait cependant que l'or natif, accompagné seulement de quartz, devrait s'amalgamer avec facilité et que, par suite, les pertes devraient être bien moindres dans le traitement en grand que dans les essais. La faiblesse du

rendement peut s'expliquer jusqu'à un certain point par la présence d'une proportion variable de pyrites aurifères, qui ne cèdent au mercure qu'une faible partie de l'or qu'elles contiennent.

L'amalgamation directe, c'est-à-dire la simple trituration avec du mercure, est appliquée également aux pyrites aurifères et aux minerais d'argent, mais les résultats obtenus sont généralement très-mauvais. Des minerais les moins complexes, on retire de 40 à 60 p. 100 des métaux précieux constatés à l'essai. Les minerais tels que la pyrite arsenicale, le cuivre gris, le sulfure d'antimoine, n'abandonnent au mercure qu'une fraction presque insignifiante de l'or et de l'argent contenus.

4° *Amalgamation par le sel.* — Les minerais dont je viens de parler sont désignés sous le nom de minerais rebelles : on en extrait une partie de l'or et de l'argent au moyen d'un procédé de chloruration par voie sèche, dont l'introduction est due à des ingénieurs allemands. Le procédé comprend, comme opérations principales, le grillage des minerais mélangés avec une proportion convenable de sel dans des fours à réverbère et l'amalgamation dans les tonnes en bois de Freyberg.

Le traitement est relativement assez simple ; son installation n'exige qu'une dépense assez faible. Ces deux raisons l'ont fait adopter dans un certain nombre d'usines, bien que le rendement en or ou en argent soit irrégulier. Pour quelques minerais, le rendement s'élève à 75 et même à 80 p. 100 de la teneur indiquée par les essais, tandis que pour d'autres minerais, notamment pour la pyrite arsenicale aurifère, le rendement est bien inférieur.

Voici, en résumé, les résultats obtenus par les procédés actuellement suivis pour le traitement des minerais d'or et d'argent dans l'Amérique du nord.

Les minerais complexes pyrite arsenicale, cuivre gris,

etc., qui sont fréquemment très-riches, ne sont pour ainsi dire pas utilisés.

Les autres minerais, quartz aurifère, pyrites, etc., sont traités principalement par amalgamation directe ; dans quelques usines on a adopté la chloruration par voie sèche.

Le rendement moyen de ces derniers minerais ne dépasse pas 65 p. 100 de l'or et de l'argent indiqués par les essais : on ne retire donc pas des minerais traités plus de la moitié des métaux précieux qu'ils contiennent.

En Amérique, on croit généralement que la perte n'est pas aussi forte, parce qu'on rapporte les rendements aux essais, en admettant que ces derniers indiquent les teneurs réelles des minerais. Il n'en est pas ainsi, et je dois présenter à ce sujet quelques observations importantes.

Dans les essais des minerais d'or et d'argent, il y a toujours une perte très-notable : cette perte varie dans les limites fort étendues suivant la nature des minerais, leur richesse, le mode d'essai, l'habileté de l'opérateur, etc.

Il est impossible de l'évaluer exactement, parce qu'aucun procédé d'analyse ne permet de déterminer avec certitude les quantités ordinairement très-faibles d'or et d'argent que contiennent les minerais plus ou moins complexes.

J'ai fait depuis vingt ans de nombreuses expériences pour me rendre compte des pertes d'or et d'argent dans les essais par voie sèche. Les résultats que j'ai obtenus me permettent d'indiquer la limite inférieure des pertes qui sont faites pour différents minerais dans les conditions les plus ordinaires de richesse en or et en argent.

J'ai procédé à mes expériences en mélangeant des quantités déterminées d'or et d'argent, en limaille très-fine, avec des minerais divers, pyrites, pyrite arsenicale, cuivre gris, sulfure d'antimoine, blende, etc., préalablement essayés. J'ai fait varier les quantités ajoutées d'or et d'argent, de manière à obtenir des minerais à des teneurs dif-

férentes, en restant au-dessous de 1 millième pour l'or et 10 millièmes pour l'argent. J'ai appliqué les procédés d'essai les mieux appropriés à la nature des différents minerais, et répété plusieurs fois chaque expérience.

J'ai constaté que les pertes faites dans les essais sont très-variables, qu'elles sont généralement moins fortes pour les teneurs élevées que pour les faibles teneurs; dans aucune de mes expériences, la perte n'a été inférieure à 30 p. 100 de l'or ou de l'argent employé, et bien souvent pour les cuivres gris et pour les pyrites arsenicales, les pertes ont dépassé 50 p. 100.

Dans tout procédé métallurgique adapté à la nature des minerais, et appliqué avec les soins convenables, les causes de perte sont moins grandes que dans les essais de laboratoire; le rendement en or et en argent doit dépasser notablement les teneurs indiquées par les essais.

La différence entre le rendement en grand et les teneurs accusées par les essais, devrait dépasser 30 p. 100, si la méthode métallurgique était réellement parfaite. Les procédés employés jusqu'à présent en Amérique sont bien loin de donner de pareils résultats; en les étudiant avec attention, j'ai pu me rendre compte des causes principales de perte d'or et d'argent; mais en même temps j'ai acquis la conviction que ces causes de pertes ne pourraient être écartées par de simples modifications apportées aux opérations.

Ces premières études m'ont conduit à chercher une méthode entièrement nouvelle pour le traitement des minerais d'or et d'argent, et j'ai repris en 1855 les expériences que M. l'ingénieur des mines Cumenge avait faites précédemment sur l'emploi de la vapeur d'eau. Après bien des années de travaux au laboratoire, j'ai pensé avoir atteint mon but: un de mes amis, M. Gaillardon, s'est chargé de l'application du procédé en Californie et au Mexique. Les premières expériences en grand ont été faites en 1864; mais elles ont été conduites en dehors des prescriptions les plus essentiel-

les que j'avais tracées et n'ont donné que des résultats déplorables. Un peu plus tard, de nouvelles expériences ont été faites en Californie dans des conditions meilleures, c'est-à-dire que l'on a mieux suivi mes indications. Les résultats ont été fort irréguliers, dans quelques opérations le rendement a été supérieur à la teneur indiquée par l'essai, tandis que dans d'autres il est resté de beaucoup inférieur. Aussi nous fûmes convaincus, M. Gaillardon et moi, que le procédé, convenablement modifié, devait certainement réussir. Éclairé par les expériences en grand, j'ai tracé les plans de nouveaux appareils que M. Gaillardon a fait exécuter à San Francisco, pendant que je poursuivais à Paris mes travaux de laboratoire: ces travaux n'ont été terminés qu'au mois d'avril 1868. Les expériences en grand commencèrent en Californie au mois de mai, et furent couronnées du succès le plus complet (*). Je peux maintenant présenter mon procédé de traitement des minerais d'or et d'argent comme réalisant les conditions essentielles, d'être applicables à tous les minerais, les plus simples comme les plus complexes, et de permettre d'extraire de ces minerais facilement et économiquement, à très-peu près la totalité des métaux précieux contenus. Les considérations que j'ai présentées démontrent l'importance du résultat obtenu. Je n'ose pas espérer que mon procédé soit immédiatement adopté dans la plupart des localités où les conditions géographiques en rendraient l'application possible; mais il est certain que les exploitants des mines et les propriétaires des usines existantes apprécieront assez promptement l'im-

(*) A l'époque où M. Rivot écrivait ces lignes, les renseignements parvenus de Californie permettaient de croire que le nouveau procédé, sortant de la période expérimentale, entrait dans la pratique industrielle. Depuis lors, diverses circonstances, parmi lesquelles il faut sans doute comprendre la mort de l'auteur, survenue à un moment si décisif pour le succès de son œuvre, ont suspendu l'application du procédé en Amérique.

L. M.

mense avantage qu'il leur donne, de retirer des minerais extraits une valeur bien supérieure à celle qu'on obtient par les méthodes actuellement en usage. Les filons de pyrites arsenicales, de cuivre gris, de sulfure d'antimoine, etc., riches en or et en argent, sont maintenant peu exploités, parce qu'on ne retire qu'une faible partie des métaux précieux contenus. Leur exploitation prendra promptement un développement considérable. Je suis donc autorisé à penser que la réussite complète des dernières expériences donnera dans un avenir très-rapproché, un essor remarquable à la production de l'or et de l'argent en Amérique.

En raison de l'importance du résultat obtenu, en raison de la longueur des travaux, de l'argent dépensé pour arriver à ce résultat, les lecteurs me pardonneront de ne pas me borner à la description du procédé et d'insister sur ce que je peux appeler la partie historique de mes expériences de laboratoire et des expériences en grand dirigées par M. Gaillardon.

Mon mémoire est divisé en trois chapitres.

Dans le chapitre I, j'expose rapidement mes expériences de laboratoire et les expériences faites en Californie.

Le chapitre II est consacré à la description détaillée du procédé auquel je me suis arrêté au laboratoire.

Dans le chapitre III, je décris la méthode métallurgique et les appareils tels qu'ils sont appliqués maintenant en Amérique.

CHAPITRE PREMIER.

Le procédé de traitement des minerais d'or et d'argent, tel que je l'ai appliqué au laboratoire, tel qu'il est employé maintenant dans un certain nombre d'usines d'Amérique, paraît être si simple que l'on peut se demander comment il a fallu tant de travaux de laboratoire et d'expériences en grand pour arriver au résultat. Je n'hésite pas cependant à décrire tous les tâtonnements par lesquels j'ai dû passer et les opérations peu rationnelles qui ont été faites en grand. Cet exposé me semble avoir beaucoup d'intérêt, en démontrant une fois de plus que généralement on n'arrive à un procédé industriel simple et économique, qu'après bien des années de persévérance et des dépenses considérables.

§ I. — EXPÉRIENCES DE LABORATOIRE.

Depuis longtemps plusieurs savants éminents, des ingénieurs français et étrangers, ont étudié l'action de la vapeur d'eau sur les sulfures métalliques, sur les minerais aurifères et argentifères. Ces travaux n'ont pas reçu d'application industrielle. Il serait sans utilité de décrire toutes les expériences qui ont été faites sur l'action de la vapeur d'eau; je dois seulement parler des travaux de M. Regnault, membre de l'Institut, et de M. Cumenge, ingénieur des mines. J'insisterai principalement sur les expériences de M. Cumenge, parce qu'elles ont servi de point de départ à mes travaux.

Expériences de M. Regnault.

M. Regnault a étudié, dans un but exclusivement scientifique, l'action de la vapeur d'eau sur un certain nombre

de sulfures métalliques, chauffés au rouge sombre. Il a démontré que la vapeur d'eau est décomposée, que l'oxygène se porte sur les métaux des sulfures et l'hydrogène sur le soufre. Il y a formation d'hydrogène sulfuré et d'oxydes métalliques. M. Regnault a constaté de plus que l'action de la vapeur d'eau sur les composés plus complexes, tels que les sulfoarséniures, est beaucoup moins nette, et qu'on ne parvient pas à expulser la totalité de l'arsenic, même en faisant agir la vapeur d'eau pendant un temps considérable.

Expériences de M. Cumenge.

Les premières expériences de M. Cumenge ont eu pour but spécial le traitement pour cuivre des minerais qui renferment de l'arsenic et de l'antimoine, notamment des cuivres gris. L'application de la vapeur d'eau au traitement des minerais d'or et d'argent a été proposée par M. Cumenge à la suite de ses premiers travaux sur les minerais de cuivre : des essais en grand ont même été commencés par deux ingénieurs sur les minerais de Pontvieux (sulfure d'antimoine aurifère), et sur des minerais d'argent provenant d'Amérique; mais ces tentatives n'ont eu aucun succès et ont été promptement arrêtées. Je n'ai à m'occuper que des travaux faits par M. Cumenge au laboratoire.

Le résumé de ces travaux a été publié en 1853, dans les *Annales des mines*, après abandon du brevet pris en France, le 20 avril 1852. Il faut distinguer deux questions différentes :

1° Le traitement pour cuivre des minerais contenant de l'arsenic et de l'antimoine;

2° Le traitement pour argent des mêmes minerais, et des sulfures métalliques plus ou moins complexes contenant de l'argent.

1° *Traitement pour cuivre.* — Après avoir étudié l'action de la vapeur d'eau sur les cuivres gris et vérifié que

l'expulsion de l'arsenic et de l'antimoine n'est pas complète, M. Cumenge a reconnu la raison du peu de netteté des réactions. Cette raison est l'absence d'une proportion suffisante de soufre. En ajoutant au cuivre gris une quantité convenable de pyrite de fer, et faisant agir la vapeur sur le mélange intime de ces deux minerais, on obtient le résultat désiré : c'est-à-dire l'expulsion à très-peu près complète de l'arsenic et de l'antimoine. En présence du soufre en excès, la décomposition de la vapeur d'eau au rouge sombre, produit de l'hydrogène sulfuré, des oxydes métalliques fixes, de l'acide arsénieux et de l'oxyde d'antimoine qui sont entraînés par la vapeur d'eau. Ces deux oxydes, en contact avec l'hydrogène sulfuré, donnent des sulfures d'arsenic et d'antimoine. Leur aspect analogue à celui des sulfures qu'on obtient dans les analyses par voie humide, ne peut pas laisser le moindre doute sur le mode de production.

En opérant sur 25 grammes environ de cuivre gris, mélangé avec un poids égal de pyrite, on n'arrive à la fin des réactions qu'après douze ou quinze heures. L'analyse des oxydes fixes dénonce encore un peu d'arsenic et d'antimoine ; mais leur proportion ne dépasse pas 3 p. 100 du poids des oxydes, quand l'opération a été conduite avec les soins convenables.

Les précautions les plus essentielles sont les suivantes :

Faire arriver la vapeur d'eau sans aucune interruption ;

Éviter que l'air puisse pénétrer dans l'appareil ;

Ne pas élever la température au-dessus du rouge sombre;

Ne considérer l'opération comme terminée, que lorsqu'il ne se dégage plus du tout d'hydrogène sulfuré.

La proportion d'arsenic et d'antimoine qui reste avec les oxydes fixes, est encore appréciable ; elle peut cependant être considérée comme très-faible comparativement à celle que contiennent les minerais.

Ce résultat devait être considéré comme favorable : les

expériences de laboratoire ayant lieu dans un tube, et par suite le brassage des matières étant impossible, il était permis d'espérer qu'en grand la durée de l'opération pourrait être beaucoup abrégée. Aussi M. Cumenge pensait-il pouvoir arriver à ne dépenser dans le traitement métallurgique que 2 parties d'eau en vapeur pour 1 partie de minerai. Cette espérance ne s'est pas réalisée, et, d'après les expériences que je citerai plus loin, il a toujours fallu de 300 à 450 parties d'eau vaporisée pour 1 partie de minerais : je ferai la remarque que je désigne ici sous le nom de *minerais*, le mélange de cuivre gris et de pyrite.

Cette forte consommation de vapeur d'eau ne permet pas d'appliquer le procédé au traitement, pour cuivre seul, des minerais tels que le cuivre gris, car les frais seraient beaucoup trop élevés. Ce n'est donc pas en vue de leur utilisation dans la métallurgie du cuivre que je cite ces expériences de M. Cumenge. Je veux seulement mettre bien en évidence l'importance du résultat théorique obtenu.

Le point acquis c'est qu'en mélangeant intimement avec une proportion convenable de pyrites les minerais qui renferment de l'arsenic et de l'antimoine, il devient possible d'expulser à peu près ces deux corps par l'action de la vapeur d'eau.

2° *Traitement pour argent.* — Les cuivres gris étant presque toujours assez riches en argent, l'attention de M. Cumenge a été naturellement appelée sur la possibilité de traiter d'abord pour argent les oxydes métalliques fixes obtenus par l'action de la vapeur d'eau. L'argent n'étant pas facilement oxydable au rouge sombre, devait exister à l'état métallique, disséminé en particules très-fines dans les oxydes. Quelques expériences d'amalgamation, par trituration avec le mercure, ont démontré l'exactitude de cette hypothèse.

Des minerais argentifères, tels que la blende, ont été soumis aux mêmes opérations, grillage par la vapeur d'eau

amalgamation, puis trituration avec du mercure; ils ont cédé au mercure, sinon la totalité, au moins une partie de l'argent contenu.

D'après ces expériences, M. Cumenge a proposé un procédé général de traitement pour argent des minerais sulfurés simples ou des minerais sulfurés complexes, analogues aux cuivres gris. La formule de ce procédé se résume ainsi :

Mélanger intimement les minerais avec une proportion convenable de pyrites de fer ;

Soumettre le mélange à l'action de la vapeur d'eau au rouge sombre, en évitant le contact de l'air ou des flammes oxydantes ;

Amalgamer directement par trituration avec du mercure.

M. Cumenge a décrit dans son brevet et dans son mémoire inséré dans les *Annales des mines* la disposition d'un four à réverbère adapté au grillage par la vapeur d'eau : il a cité les fours à moufles, à cornues en fonte, etc., comme pouvant se prêter aisément à l'opération du grillage.

Je dois juger les expériences de M. Cumenge relatives au traitement des minerais d'argent, non pas seulement d'après les publications, mais bien encore d'après les résultats obtenus sous mes yeux au laboratoire. Pour les sulfures simples tels que la blende et pour les sulfures complexes, comme le cuivre gris, le rendement en argent a été toujours inférieur à la teneur indiquée par les essais ; toujours aussi la durée du grillage à la vapeur d'eau était très-longue.

Les études de laboratoire n'étaient pas d'ailleurs assez concluantes pour qu'il fût prudent de conseiller à des directeurs d'usines de tenter l'application en grand.

Aussi M. Cumenge, empêché par d'autres occupations importantes, de donner suite à ses travaux, a publié ses expériences et abandonné son brevet. Son mémoire n'a pas attiré autant qu'il le méritait l'attention des praticiens : il contient des observations d'une haute importance pour le

traitement des minerais de cuivre argentifère et des indications très-utiles pour la métallurgie de l'argent.

En 1854, au moment où j'ai commencé mes expériences sur l'emploi de la vapeur d'eau, j'ai eu comme point de départ les résultats obtenus par M. Cumenge.

La vapeur d'eau, agissant au rouge sombre sur les sulfures simples, sur les arséniosulfures, sur les antimoniosulfures, etc., mélangés intimement avec une proportion convenable de pyrite de fer, expulse le soufre à l'état d'hydrogène sulfuré, l'antimoine et l'arsenic à l'état d'oxyde d'antimoine ou d'acide arsénieux, fait passer à l'état d'oxydes fixes les métaux fer, cuivre, zinc, etc., et enfin amène l'argent à l'état métallique. Les minerais mélangés de pyrites, traités par la vapeur d'eau au rouge sombre, peuvent être soumis à l'amalgamation directe qui en extrait l'argent: les résidus de l'amalgamation renfermant le cuivre à l'état d'oxyde, ne contiennent qu'une proportion très-faible d'arsenic et d'antimoine.

Expériences de laboratoire.

J'ai commencé par reprendre les expériences de M. Cumenge, et par étudier l'action de la vapeur d'eau sur tous les sulfures métalliques simples, sur les sulfures complexes mélangés ou non avec de la pyrite de fer. J'ai cherché principalement à déterminer, comparativement bien entendu, les résistances que les divers composés métalliques opposent à l'action de la vapeur d'eau.

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Cette première série d'expériences a été faite dans l'appareil que je vais décrire en peu de mots.

La vapeur est produite en chauffant sur un fourneau à gaz un ballon d'environ 4 litres de capacité; quand l'eau contenue a été presque entièrement vaporisée, on remplit le ballon avec de l'eau préalablement chauffé à 100°, ce qui permet de n'apporter dans l'expérience qu'une interruption de très-courte durée.

Au sortir du ballon, la vapeur arrive par un tube de verre dans le tube à réaction. C'est un tube en terre réfractaire, enduit d'un lut facilement fusible, appliqué au pinceau. J'obtiens ce lut en délayant de l'argile réfractaire dans une dissolution de borax, concentrée à la température de 100°. Le tube est placé horizontalement dans un four à réverbère, dépourvu de son dôme, et dont la grille est disposée de telle manière qu'on puisse éviter facilement de chauffer le tube au delà du rouge sombre. Le minerai est placé au milieu du tube dans une nacelle en porcelaine; à l'extrémité du tube opposée à celle par laquelle arrive la vapeur d'eau, est adaptée une allonge en verre de grandes dimensions; elle permet de reconnaître la nature des composés volatils qui prennent naissance pendant l'opération.

J'ai employé les tubes de terre réfractaire enduits d'un lut facilement fusible qui les rend promptement imperméables, parce qu'ils résistent très-bien aux variations de température, tandis que les tubes de porcelaine se cassent trop fréquemment, alors même qu'ils sont lutés avec le plus grand soin.

Ce premier ensemble d'expérience a porté sur les sulfures simples naturels et artificiels, puis sur les sulfures complexes mélangés avec des proportions variables de pyrite de fer.

SULFURES SIMPLES NATURELS ET ARTIFICIELS.

Sulfures simples naturels.

J'ai opéré sur 150 grammes de chacun des minerais, pyrite de fer, blende, galène, sulfure d'antimoine, sulfure d'argent; j'ai cherché à conduire toutes les opérations dans les

mêmes conditions pour le degré de finesse des minerais, pour la température et la rapidité du dégagement de la vapeur d'eau, enfin j'ai continué à faire agir la vapeur jusqu'à cessation complète de l'hydrogène sulfuré. En tenant compte du temps nécessaire pour arriver à ce résultat, c'est-à-dire à l'oxydation complète des métaux et à l'expulsion totale du soufre, j'ai obtenu des termes de comparaison pour la résistance, que les divers sulfures opposent à l'action de la vapeur à la température du rouge sombre.

J'ai fait ensuite à l'amalgamation des oxydes obtenus par trituration avec du mercure dans un mortier, d'abord à sec, ensuite avec de l'eau, et j'ai comparé (pour le sulfure d'antimoine), les poids d'argent et d'or obtenus, avec ceux des métaux précieux accusés par les essais des minerais. Ce mode d'amalgamation par trituration dans un mortier est extrêmement pénible : l'opération est tellement longue que je n'ai pas toujours eu la persévérance de la continuer jusqu'à la fin. Les nombres obtenus dans les amalgamations sont par suite un peu incertains : je ne les reproduirai pas, je me borne à l'affirmation suivante :

Toutes les fois que j'ai poursuivi pendant un temps suffisant la trituration avec le mercure, en opérant sur des minerais bien complétement grillés, j'ai obtenu pour l'argent et pour l'or des rendements supérieurs à ceux qu'indiquent les essais. Relativement à la facilité plus ou moins grande de l'action de la vapeur d'eau, mes expériences m'ont fourni des résultats assez intéressauts.

Pyrites. — Les pyrites, lorsqu'elles sont convenablement pulvérisées, sont attaquées par la vapeur d'eau à une très-basse température, vers 200°. Entre cette température et le rouge sombre, on ne remarque pas de différence notable dans la facilité d'action de la vapeur. L'action est d'abord très-rapide et le dégagement de l'hydrogène sulfuré est en rapport direct avec la rapidité avec laquelle la vapeur d'eau passe dans le tube. Le ralentissement devient appréciable

dans l'action de la vapeur, quand il ne reste plus que 8 à 10 p. 100 de sulfure de fer non décomposé; il faut ensuite un temps considérable pour arriver à l'oxydation complète, c'est-à-dire au point où la vapeur d'eau sortant du tube n'exerce plus aucune action sur du papier imprégné d'acétate de plomb. Il est bien évident que l'opération serait plus prompte si l'on pouvait remuer les matières contenues dans la nacelle sans interrompre le courant de vapeur. Dans les conditions de l'expérience, pour 150 grammes de pyrites, il est nécessaire de prolonger l'opération pendant trente-quatre heures, et de faire agir 50 litres d'eau réduite en vapeur, pour arriver à l'oxydation complète. Pour 1 partie de pyrite, il faut 333 parties d'eau réduite en vapeur.

Blende. — La blende se comporte d'une manière un peu différente : l'action de la vapeur commence bien encore vers 200° et se continue sans variation notable, lorsqu'on élève la température jusqu'au rouge sombre. Le dégagement d'hydrogène sulfuré ne prend pas la même rapidité que lorsqu'on opère sur la pyrite ; il se ralentit beaucoup après vingt-cinq heures d'action, mais il se continue presque indéfiniment. On n'arrive pas à l'oxydation absolue de la blende, même après cinquante heures d'action de la vapeur d'eau. On n'obtient l'oxydation bien complète qu'en mélangeant la blende avec 10 p. 100 au moins de pyrite de fer, et dans ce cas il faut maintenir le courant de vapeur pendant trente-six à quarante heures, et vaporiser environ 60 litres d'eau. On doit par conséquent faire agir, pour 1 partie de blende mélangée avec 10 p. 100 de pyrite, 400 parties d'eau réduite en vapeur.

Galène. — La galène se comporte à peu près comme la blende, cependant il faut faire plus d'attention à ne pas dépasser le rouge sombre, et l'on arrive à l'oxydation complète avec une proportion un peu moindre de pyrites. Le temps nécessaire au grillage complet est du reste à peu

près le même ; la consommation d'eau réduite en vapeur est d'environ 380 parties pour 1 partie de galène.

Sulfure d'antimoine. — Pour le sulfure d'antimoine, l'action de la vapeur commence vers 200° et se continue avec assez de rapidité, pourvu qu'on ne chauffe pas au-dessus du rouge sombre. Il se dégage de l'hydrogène sulfuré et de l'oxyde d'antimoine, lequel se transforme en partie en sulfure par l'action de l'hydrogène sulfuré, au contact de la vapeur d'eau : on n'arrive pas à volatiliser la totalité de l'antimoine même en prolongeant beaucoup l'opération. Le sulfure mêlé à 30 p. 100 de pyrite de fer peut se griller bien complétement. Pour 150 grammes d'un pareil mélange de pyrite et de sulfure d'antimoine, l'opération est terminée en trente-six heures, avec une dépense de 55 litres d'eau vaporisée, soit environ 360 parties d'eau pour 1 partie du mélange, ou 600 parties d'eau pour 1 partie de minerai d'antimoine.

Sulfure d'argent. — Je n'ai pu me procurer pour les expériences que le minerai riche des mines de la compagnie de Real-del-Monte (Mexique). Le minerai contient du sulfure d'argent mélangé avec une faible proportion de blende et de pyrite de fer, accompagné d'une gangue quartzeuse. L'échantillon sur lequel j'ai opéré rend 24 p. 100 d'argent à l'essai. J'ai traité 150 grammes de ce minerai par la vapeur, à la température moyenne de 300°. L'action a été très-lente et il n'a pas fallu moins de quarante-six heures pour arriver à la fin des réactions, avec une dépense de 70 litres d'eau vaporisée. En mélangeant le minerai avec la moitié de son poids de pyrite de fer, j'ai observé une réaction un peu moins lente ; il a encore fallu quarante heures et une dépense de 60 litres d'eau vaporisée pour arriver à un grillage bien complet. La dépense d'eau vaporisée est donc de 600 parties pour 1 partie du minerai d'argent.

Chlorure d'argent. — J'ai fait plusieurs expériences sur

le chlorure d'argent naturel de richesses différentes. J'indiquerai seulement les résultats que j'ai obtenus pour un échantillon de chlorure à la teneur de 45 p. 100 d'argent provenant de l'ancienne mine de Guadal-Canal (Espagne).

J'ai opéré dans deux conditions différentes, d'abord sur le minerai seul, ensuite sur le minerai mélangé avec son poids de pyrite. Sur le chlorure d'argent seul, la vapeur d'eau agit lentement et très-incomplétement : il y a perte très-notable d'argent par la volatilisation partielle du chlorure.

La vapeur d'eau agit au contraire très-nettement, et même assez rapidement vers 300°, sur le chlorure intimement mélangé avec la pyrite de fer. Tout l'argent reste à l'état métallique dans la nacelle, avec l'oxyde de fer provenant de l'action de la vapeur sur le fer de la pyrite. Tout le chlore du minerai d'argent est expulsé à l'état d'acide chlorhydrique ; le soufre est volatilisé à l'état d'hydrogène sulfuré, et ce dernier gaz se dégage longtemps après qu'on a cessé de constater la présence de l'acide chlorhydrique dans la vapeur à la sortie du tube.

Le grillage est certainement bien complet quand on fait agir la vapeur jusqu'à cessation du dégagement de l'hydrogène sulfuré. Il faut au moins trente heures pour arriver à ce résultat, en opérant sur 75 grammes de chlorure mélangé avec 75 grammes de pyrites. La consommation d'eau vaporisée est de 400 parties d'eau pour 1 partie de chlorure d'argent.

Minerais très-quartzeux. — En répétant les expériences dont il vient d'être question sur des minerais contenant des proportions variables de gangue quartzeuse, j'ai observé des irrégularités assez fortes dans le rendement en argent à l'amalgamation, et j'ai dû rechercher quelle influence le quartz pouvait avoir sur l'état chimique de l'argent après l'action de la vapeur d'eau. J'ai opéré sur la blende et sur le sulfate d'argent. En traitant la blende, je n'ai pas pu

obtenir de résultat bien net, à cause de la faible teneur en argent. Je ne citerai que mes expériences sur le sulfure d'argent provenant des mines de la compagnie de Real-del-Monte. Le minerai contient 85 p. 100 de gangue quartzeuse et 15 p. 100 de sulfure d'argent et de pyrites; l'action de la vapeur est assez rapide ; l'hydrogène sulfuré cesse de se dégager en quantité appréciable après trente heures : la matière grillée renferme tout l'argent à l'état métallique, lorsqu'on a eu l'attention de ne pas chauffer jusqu'au rouge sombre. Si, au contraire, on chauffe au rouge sombre, et principalement si on élève davantage la température, l'on ne parvient jamais à retirer la totalité de l'argent par amalgamation ; en analysant la matière grillée, on trouve qu'elle renferme une partie de l'argent à l'état de silicate ; il y a donc oxydation partielle de l'argent par l'action de la vapeur d'eau, en présence du quartz, mais seulement dans le cas où l'on chauffe un peu fortement. On évite assez facilement la formation du silicate d'argent en mélangeant préalablement le minerai avec 30 p. 100 au moins de pyrite de fer, mais alors la durée de l'opération est plus longue.

Minerais à gangue calcaire. — Lorsqu'on soumet à l'action de la vapeur d'eau les minerais à gangue calcaire, contenant une forte proportion de gangue, c'est-à-dire de 50 à 60 p. 100, la réaction est très-vive, mais elle ne tarde pas à se ralentir et même à s'arrêter complétement, lorsqu'on chauffe un peu au-dessus du rouge sombre. L'opération marche au contraire assez régulièrement si l'on parvient à maintenir la nacelle au-dessous du rouge sombre. On se rend aisément compte de cette influence de la température en analysant la matière grillée, quand on a dépassé le rouge sombre; la matière contient une proportion assez grande d'hydrate de chaux. L'hydrate est au contraire en faible proportion si l'on est resté au-dessous du rouge sombre. Lorsqu'on a un peu fortement chauffé, l'hydrate de chaux, facilement fusible, couvre la matière et la

préserve de l'action de la vapeur d'eau. La rapidité avec laquelle les réactions ont lieu dans le commencement de l'expérience, provient de ce que la matière est d'abord rendue très-poreuse par suite de la décomposition partielle du carbonate de chaux. C'est un simple effet mécanique; le carbonate de chaux et l'hydrate de chaux ne peuvent en aucune façon faciliter la décomposition de la vapeur d'eau par les sulfures métalliques. L'addition de pyrite de fer ne modifie pas sensiblement l'action qu'exerce la vapeur d'eau sur des minerais à gangue calcaire. J'ai fait ces expériences sur les minerais très-quartzeux et sur les minerais contenant une forte proportion de gangue calcaire, parce que j'ai eu dans les mains un certain nombre de minerais d'argent de cette nature. Les résultats que j'ai obtenus sont assez intéressants pour être cités; je dois dire cependant que les directeurs d'usines trouveront toujours avantage à séparer par cassage et triage la plus grande partie des gangues terreuses ; ils n'auront que bien rarement à traiter des minerais dans lesquels ces gangues soient dominantes.

Sulfures simples artificiels.

Les sulfures artificiels, tels qu'on les obtient dans les analyses; sont décomposés par la vapeur d'eau au-dessous du rouge sombre avec bien plus de facilité que les sulfures naturels. J'ai expérimenté principalement sur les sulfures de zinc, d'arsenic, d'antimoine, de plomb et d'étain. J'ai fait également quelques expériences sur le chlorure d'argent récemment précipité; je ne dirai que peu de mots sur les résultats que j'ai obtenus, parce qu'ils offrent de l'intérêt seulement au point de vue des analyses et qu'ils ne se rapportent pas au traitement métallurgique des minerais aurifères ou argentifères.

Sulfure de zinc.—Ce sulfure, séché autant que possible à l'abri du contact de l'air, est attaqué rapidement par la

vapeur d'eau. L'action commence vers 200°, elle est terminée en quatre heures, quand on opère sur 100 grammes de sulfure sec. Il n'y a pas notablement d'oxyde de zinc entraîné par le courant de vapeur d'eau ; la matière fixe, restée dans la nacelle, est de l'oxyde de zinc presque rigoureusement pur. La faible proportion de soufre que l'analyse fait découvrir paraît provenir de l'altération que le sulfure précipité éprouve inévitablement au contact de l'air.

Sulfure de plomb. — Le sulfure de plomb obtenu par voie humide, séché au contact de l'air, n'éprouve pas la même altération que le sulfure de zinc. Il est attaqué rapidement et complétement par la vapeur d'eau, à la température d'environ 250°. Quand on opère sur 100 grammes la décomposition complète exige environ huit heures. On retrouve dans la nacelle la totalité du plomb à l'état d'oxyde parfaitement pur.

Sulfure d'étain. — Le sulfure d'étain, tel qu'on l'obtient dans les analyses, est décomposé rapidement par la vapeur d'eau à 250°. Le soufre est entièrement expulsé à l'état d'hydrogène sulfuré et l'étain passe à l'état d'oxyde qui reste en totalité dans la nacelle. L'état d'oxydation de l'étain est certainement compris entre le protoxyde et le peroxyde. Il doit se rapporter à l'une des deux formules Sn^2O^5, Sn^3O^4 ; mais je n'ai pas fait d'expériences spéciales pour déterminer exactement la composition de cet oxyde. La réaction de la vapeur d'eau est utilisée dans les analyses pour effectuer la séparation de l'étain et de l'antimoine ; mais la composition exacte de l'oxyde d'étain fixe obtenu par l'action de la vapeur d'eau sur les sulfures, n'a pas une véritable importance, car pour doser l'étain, il faut toujours transformer cet oxyde en bioxyde par l'action de l'acide azotique.

Quand on se sert de la vapeur d'eau dans une analyse, on n'a généralement à traiter qu'un poids très-faible de

sulfure d'étain et d'antimoine ; les réactions exigent peu de temps, mais lorsqu'on fait l'expérience sur 100 grammes de sulfure d'étain, on est obligé de continuer à faire agir la vapeur pendant douze heures pour expulser entièrement le soufre.

Sulfures d'arsenic et d'antimoine. — Ces sulfures sont obtenus par voie humide, mélangés d'une certaine proportion de soufre libre. Quand on traite ces mélanges par la vapeur d'eau entre 200° et le rouge sombre, le soufre en excès est rapidement volatilisé, les sulfures sont décomposés, avec dégagement d'hydrogène sulfuré et formation d'acide arsénieux et d'oxyde d'antimoine. Ces deux composés sont entraînés en totalité par la vapeur d'eau : ils éprouvent au contact de l'hydrogène sulfuré la transformation partielle en sulfure dont j'ai déjà parlé. Il ne reste rien dans la nacelle, l'action de la vapeur est plus rapide que pour les sulfures précédemment examinés, 100 grammes de sulfure d'arsenic ou de sulfure d'antimoine disparaissent dans un courant rapide de vapeur d'eau en moins de quatre heures.

Chlorure d'argent. — J'ai fait quelques expériences sur le chlorure d'argent précipité, séché et conservé à l'abri de la lumière, en opérant sur le chlorure seul et sur le chlorure mélangé avec des proportions variables de pyrite de fer.

Lorsqu'on fait agir la vapeur d'eau sur le chlorure seul, il y a volatilisation considérable du chlorure, la perte par volatilisation est beaucoup plus forte que lorsque l'on opère sur le chlorure naturel. Il reste dans la nacelle, après plusieurs heures d'action de la vapeur, un mélange d'argent métallique et de chlorure non décomposé.

Le résultat est bien différent lorsque le chlorure est intimement mélangé avec de la pyrite de fer : l'action est vive et rapide : tout l'argent reste dans la nacelle à l'état métallique, mélangé avec l'oxyde de fer. En employant 50

grammes de chlorure d'argent et 50 grammes de pyrite de fer, on doit prolonger pendant six heures l'action de la vapeur d'eau pour arriver à la décomposition totale du chlorure.

SULFURES COMPLEXES.

Mes expériences ont porté sur le cuivre gris, sur la pyrite arsenicale et sur un minerai de Californie contenant à peu près en parties égales du sulfure d'antimoine et de la blende, en mélangeant intimement chacune de ces matières avec des proportions variables de pyrite de fer. J'ai cherché d'abord à déterminer la proportion de pyrites qu'il faut employer pour arriver à l'expulsion à peu près complète de l'arsenic et de l'antimoine, et pour obtenir à l'amalgamation la totalité de l'or et de l'argent contenus dans les minerais. J'ai fait ensuite l'évaluation de la dépense d'eau vaporisée.

Cuivre gris. — J'ai opéré sur du cuivre gris antimonial, assez riche en argent, contenant environ 50 p. 100 de gangue quartzeuse. La proportion de pyrite nécessaire est de 100 de pyrite pour 100 de minerai; avec une proportion moins forte, je n'ai pas obtenu de bons résultats à l'amalgamation : en forçant la quantité de pyrite, l'amalgamation se fait encore très-bien, mais la durée du grillage est plus longue. On voit qu'en tenant compte de la gangue, il ne faut pas moins de 200 de pyrite pour 100 de cuivre gris pur.

La nacelle contenant 75 grammes de cuivre gris intimement mélangé avec 75 grammes de pyrite de fer, le tube étant maintenu entre 250 et 300°, on doit faire agir la vapeur pendant quarante-cinq heures pour arriver à la cessation du dégagement de l'hydrogène sulfuré ; on dépense 70 litres d'eau vaporisée, c'est-à-dire plus de 900 parties d'eau pour 1 partie de cuivre gris.

Pyrite arsenicale. — J'ai obtenu à peu près les mêmes

résultats pour la pyrite arsenicale : il faut la mélanger avec 200 de pyrite de fer pour 100 de pyrite arsenicale pure contenue dans le minerai, et faire agir plus de 900 parties d'eau en vapeur pour 1 partie de minerai arsenical. Si on emploie une proportion moins forte de pyrite, on ne retire pas la totalité de l'or par amalgamation.

Sulfure d'antimoine et blende. — Ce minerai n'exige pas autant de pyrite de fer que le cuivre gris et la pyrite arsenicale : j'ai obtenu de bons résultats à l'amalgamation avec 20 p. 100 de pyrite de fer : cependant les opérations marchent mieux quand on emploie 25 p. 100 de pyrite. En opérant sur 120 grammes de minerai presque exempt de gangue, intimement mélangé avec 30 grammes de pyrite de fer, le grillage par la vapeur d'eau est terminé en quarante heures. La consommation est de 60 litres, soit de 500 parties d'eau vaporisée pour 1 partie de minerai.

Observations.

J'ai cherché à me rendre compte de l'influence qu'exerce sur le rendement à l'amalgamation l'imperfection du grillage par la vapeur d'eau, j'ai obtenu à cet égard des résultats très-variables suivant la nature des minerais : je ne citerai pas les nombres que j'ai constatés, je me contenterai d'indiquer les conclusions auxquelles je suis arrivé.

1° Toutes les fois que le grillage n'est pas poussé jusqu'à la fin des réactions, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène sulfuré, le rendement à l'amalgamation est trop faible.

2° La perte qui résulte de l'imperfection du grillage est relativement plus forte pour l'argent que pour l'or. Cela tient bien évidemment à ce que dans les expériences conduites comme je l'ai indiqué précédemment l'argent reste, au moins en grande partie, à l'état de sulfure, jusqu'à la

fin de l'action de la vapeur d'eau ; quant à l'or il ne passe pas à l'état de sulfure aussi facilement que l'argent.

3° Pour les minerais d'or aussi bien que pour les minerais d'argent, la perte de métal précieux à l'amalgamation est notable quand l'action de la vapeur d'eau n'a pas été prolongée tout à fait jusqu'à la fin des réactions : le rendement varie de 70 à 90 p. 100 de la teneur indiquée par les essais, tandis qu'avec des grillages bien conduits, j'ai toujours dépassé la teneur à l'essai.

4° Si, pendant l'action de la vapeur, la température s'élève au-dessus du rouge sombre, l'amalgamation ne donne pas de bons résultats. La perte qui provient d'une température trop élevée, est bien plus grande pour l'argent que pour l'or. Je peux même affirmer que pour les pyrites aurifères, il n'y a pas diminution *trop notable* dans le rendement, pourvu que la matière ne se soit pas agglomérée pendant le grillage, et aussi à la condition que la température n'ait pas été assez élevée pour amener l'or au point d'agglomération. Pour les minerais argentifères, la diminution du rendement s'explique très-aisément : un peu au dessus du rouge sombre, l'argent métallique s'agglomère et ne se dissout plus ensuite que très-lentement dans le mercure.

Résumé.

Par cette première série d'expériences, j'ai démontré que la vapeur d'eau agissant, au-dessous du rouge sombre, sur les minerais d'or et d'argent de toute nature, chlorures, sulfures, sulfures complexes, etc., mélangés intimement avec une proportion convenable de pyrite de fer, amène ou laisse les deux métaux précieux à l'état métallique, état sous lequel ils peuvent être aisément amalgamés par simple trituration avec du mercure. C'est la vérification et, en même temps, l'extension des résultats annoncés par M. Cumenge. J'ai démontré également que le grillage par la vapeur d'eau

exige un temps considérable et une consommation de vapeur telle qu'il est impossible de songer à proposer cette méthode à l'industrie. Il m'a fallu employer même pour des minerais peu complexes, les pyrites de fer et la blende, de 300 à 400 parties d'eau vaporisée pour 1 partie de minerai. La dépense en grand peut être certainement réduite, mais elle serait encore trop forte pour que l'application fût économique, quand bien même on parviendrait à réduire la consommation au tiers de celle constatée dans mes expériences.

Tous ces faits m'ont conduit à conclure que l'action de la vapeur d'eau permettant d'amener l'or et l'argent à l'état métallique, quelle que soit la nature des minerais, cette réaction devait être susceptible d'un emploi très-avantageux dans l'industrie ; mais qu'avant de penser à l'application industrielle, il fallait trouver le moyen de réduire considérablement la dépense de vapeur et le temps nécessaire aux réactions.

C'est à la recherche de ces moyens que j'ai consacré les deux séries d'expériences dont il me reste à parler.

SECONDE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

L'emploi de la vapeur surchauffée très-fortement m'a permis de réduire beaucoup la durée du grillage : cette seule modification aidée par une disposition rationnelle des appareils industriels, résout jusqu'à un certain point le problème, et on peut appliquer avec assez d'économie, dans quelques localités, le grillage par la vapeur surchauffée au traitement des cuivres gris argentifères : mais ainsi que je l'exposerai plus loin, le surchauffage de la vapeur n'est pas le seul perfectionnement nécessaire.

L'appareil que j'ai employé pour mes expériences de laboratoire est représenté Pl. I, fig. 1 et 2.

La vapeur est produite dans un générateur en cuivre de

6 litres de capacité, chauffé au gaz. Le niveau de l'eau est indiqué par un tube de verre, disposé verticalement comme les tubes indicateurs des chaudières à vapeur. L'eau peut être introduite rapidement pendant le cours d'une expérience, par un orifice spécial, formé par un bouchon métallique à vis.

Un tuyau de plomb sert à la prise de vapeur, il s'élève verticalement à environ $0^m,40$ au-dessus du générateur, puis se recourbe pour aboutir à un tube de fer de $0^m,02$ de diamètre intérieur, disposé horizontalement dans un four à réverbère. Le tube est chauffé au rouge vif pendant les expériences; la vapeur, en le traversant, acquiert une température d'au moins 400°.

Au delà, la vapeur passe dans le tube en terre réfractaire et agit sur les minerais placés dans une nacelle en porcelaine. Le tube est enduit du lut fusible précédemment décrit, son diamètre intérieur est $0^m,06$; la nacelle peut contenir 250 grammes de minerais ou du mélange des minerais avec la pyrite de fer. La vapeur, les gaz et les produits volatiles traversent une allonge de verre recourbée, engagée sous une cheminée à tirage actif.

Les minerais grillés sont passés à l'amalgamation dans un appareil mieux approprié que le mortier de porcelaine à la réussite de l'opération. Le travail est tout aussi long, mais les résultats sont plus nets et permettent de comparer avec certitude les rendements en or et en argent des divers minerais traités par la vapeur d'eau. Je crois devoir consacrer dans le chapitre II un paragraphe spécial à l'amalgamation, parce que les recherches que j'ai faites à ce sujet m'ont conduit à proposer pour les usines un procédé particulier d'amalgamation pour les minerais traités par la vapeur d'eau.

J'ai expérimenté par la vapeur surchauffée, presque tous les minerais d'or et d'argent sur lesquels j'avais déjà fait agir la vapeur non surchauffée. Je n'ai laissé de côté

que le chlorure d'argent par la raison suivante : sous l'influence de la vapeur d'eau, le chlorure, mélangé avec une proportion convenable de pyrites, est rapidement décomposé : son traitement présente beaucoup moins de difficultés que celui des sulfures simples et complexes, et, d'ailleurs, tous les résultats obtenus pour le traitement des sulfures, sont encore plus facilement réalisables pour le chlorure d'argent.

Il me paraît inutile de décrire ici toutes les expériences que j'ai dû faire : je citerai seulement celles qui suffisent pour caractériser l'influence que le surchauffage de la vapeur exerce sur le traitement des minerais aurifères et argentifères.

Pyrite de fer.— Je traite 250 grammes de pyrite aurifère par la vapeur surchauffée, en maintenant la nacelle à peu près à la température à laquelle la réaction se fait rapidement, entre 250 et 300°. Il ne se dégage plus d'hydrogène sulfuré vingt-quatre heures après le commencement des réactions. La dépense d'eau est de 35 litres, soit de 140 p. d'eau pour 1 p. de pyrite. L'influence du surchauffage de la vapeur est donc de diminuer la dépense de vapeur d'eau dans le rapport de 100 : 42. L'amalgamation de la pyrite grillée se fait avec facilité et donne même un rendement plus élevé que celui que j'avais obtenu en grillant la même pyrite par la vapeur non surchauffée. Je ne peux pas insister sur ce rendement plus élevé, parce que l'appareil d'amalgamation n'a pas été le même dans les deux cas. Je constate seulement que le surchauffage de la vapeur a réduit de plus de moitié le temps de l'opération et la dépense d'eau vaporisée, sans influer sur le rendement à l'amalgamation.

Blende. — J'opère sur un mélange de 200 grammes de blende argentifère et de 50 grammes de pyrite de fer, en chauffant le tube de terre entre 250 et 300°. La réaction est très-vive pendant les premières heures ; le dégagement

d'hydrogène sulfuré cesse d'être perceptible après vingt heures. La dépense d'eau vaporisée est de 30 litres, soit de 150 p. d'eau pour 1 p. de blende ou de 120 p. d'eau pour 1 p. du mélange de blende et de pyrite. L'amalgamation du minerai grillé se fait avec facilité et donne pour l'argent un rendement supérieur de 8 p. 100 à la teneur indiquée par l'essai de la blende : la pyrite employée pour le mélange ne contenait ni or, ni argent. L'influence favorable du surchauffage de la vapeur est encore plus marquée que pour la pyrite de fer aurifère.

Blende et sulfure d'antimoine. — Je traite par la vapeur surchauffée 150 grammes de minerai argentifère contenant la blende et le sulfure d'antimoine à peu près en parties égales, intimement mélangés avec 100 grammes de pyrite de fer. Le tube de terre est maintenu entre 250 et 300°. Les réactions sont très-vives et le dégagement d'hydrogène sulfuré cesse complétement après vingt-quatre heures. La consommation de vapeur est de 35 litres, soit de 233 p. pour 1 p. de minerai, ou de 140 p. pour 1 p. du mélange pyrite et minerai. La matière grillée donne à l'amalgamation un rendement supérieur à la teneur accusée par l'essai.

Pyrite arsenicale. — La pyrite arsenicale aurifère mise en expérience, contient environ moitié de son poids de gangue quartzeuse. Je fais un mélange intime de 165 grammes pyrite arsenicale et 85 grammes de pyrite de fer. Je chauffe le tube comme dans les expériences précédentes, entre 250 et 300°. L'hydrogène sulfuré ne cesse de se dégager qu'au bout de vingt-six heures. La dépense d'eau vaporisée est de 38 litres ; soit de 230 p. pour 1 p. de pyrite arsenicale, ou de 152 p. pour 1 p. du mélange de pyrite arsenicale et de pyrite de fer. J'obtiens à l'amalgamation un rendement notablement supérieur à la teneur indiquée par l'essai.

Cuivre gris. — J'opère sur du cuivre gris argentifère séparé autant que possible de sa gangue par triage à la main,

tenant au plus 25 p. 100 de gangue quartzeuse : je mélange 150 grammes de cuivre gris, avec 100 grammes de pyrite. L'expérience est conduite comme les précédentes à une température comprise entre 250 et 300°. Les réactions sont terminées au bout de vingt-quatre heures : la dépense en eau vaporisée est de 40 litres, soit de 266 p. d'eau pour 1 p. de cuivre gris, ou de 160 p. d'eau pour 1 p. du mélange de cuivre gris et de pyrite. Le rendement à l'amalgamation est supérieur à la teneur indiquée par l'essai.

Conclusions.

De toutes les expériences que j'ai faites en me servant de la vapeur d'eau surchauffée, j'ai tiré ces conclusions :

1° En comparant les résultats obtenus à ceux que m'avait donnés la première série d'expériences (vapeur non surchauffée), le surchauffage de la vapeur rend le grillage bien plus rapide. Le temps nécessaire au grillage, la dépense de vapeur d'eau sont réduits en moyenne dans le rapport de 5 : 2.

2° La dépense de vapeur est encore très-grande ; cependant il est permis d'espérer que dans les appareils industriels, on pourra réduire de beaucoup la consommation.

3° L'amalgamation des minerais parfaitement grillés par la vapeur surchauffée se fait avec une grande facilité ; les résultats dépassent ceux qu'on obtient avec la vapeur non surchauffée.

4° Les conditions essentielles à un bon grillage sont encore les mêmes : les minerais doivent être mélangés avec des proportions de pyrites variables suivant la nature de ces minerais; l'action de la vapeur doit être continuée jusqu'à cessation complète de dégagement de l'hydrogène sulfuré : la température doit toujours être un peu inférieure au rouge sombre.

5° Le rendement à l'amalgamation des minerais bien

grillés est toujours supérieur à la teneur indiquée par les essais : ce résultat est le même pour les minerais de composition simple et pour les minerais les plus complexes, tels que la pyrite arsenicale, le cuivre gris, le sulfure d'antimoine mélangé de blende ; c'est-à-dire pour les minerais qui sont désignés en Amérique sous le nom de minerais *rebelles*, et desquels on ne retire par amalgamation que des fractions très-faibles de l'or et de l'argent contenus.

D'après ces résultats, j'ai pensé que même avec une forte consommation de vapeur d'eau et une longue durée de grillage, il serait possible de traiter avantageusement en Amérique un certain nombre de minerais rebelles, riches en or et en argent, qui sont considérés jusqu'ici comme inexploitables.

Les expériences en grand faites par M. Gaillardon, en 1864, 65, 66 et 67, dans des conditions presque toujours défavorables, ont démontré la possibilité d'opérer industriellement en réalisant les mêmes résultats que j'obtenais au laboratoire. Mais en grand comme en petit, la durée du grillage est très-longue. Il en résulte dans l'application que les frais de traitement sont très-élevés, et que l'action de la vapeur d'eau même surchauffée ne peut être utilisée que pour un certain nombre de minerais riches. De là j'ai conclu qu'il fallait entreprendre une nouvelle série d'expériences, dans le but d'arriver à diminuer beaucoup la longueur du grillage, et la dépense de vapeur d'eau : c'est seulement à la suite de cette série d'expériences que j'ai véritablement résolu le problème de l'emploi économique de la vapeur dans le traitement des minerais d'or et d'argent.

TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Le point de départ de cette nouvelle série d'expériences est le suivant :

Mes travaux de laboratoire de 1854 à 1867, les essais

faits en grand en Californie démontrent que la vapeur surchauffée agit complétement, mais avec trop de lenteur sur les minerais d'or et d'argent, traités seuls ou mélangés avec des pyrites. La plupart des minerais exigent l'addition d'une proportion assez forte de pyrite pour un grillage complet, et c'est précisément cette addition obligatoire des pyrites qui augmente la durée de l'opération. De là, cette conclusion qu'il faut éviter l'addition de pyrites et trouver une autre matière minérale qui, mélangée avec les divers minerais simples ou complexes, permette d'abréger beaucoup la durée de l'action de la vapeur d'eau, et de conserver en même temps le résultat important obtenu à l'aide des pyrites, que les minerais grillés contiennent l'or et l'argent en totalité à l'état métallique. J'ai expérimenté, avec un succès complet, l'oxyde de manganèse, l'oxyde de fer et les pyrites de fer bien grillées à l'air. La pyrite de fer grillée au contact de l'air agit seulement par le peroxyde de fer qui a été produit : elle doit être évidemment préférée aux minerais de fer et de manganèse dans toutes les localités où la pyrite est notablement aurifère; par exemple dans les États de l'Amérique. Les minerais de fer ne contiennent pas ordinairement de l'or et de l'argent ; il en est de même des minerais de manganèse; on ne peut guère citer comme exception que l'oxyde de manganèse qui constitue le *chapeau* d'un petit nombre de filons argentifères du Mexique. Par conséquent, en mélangeant une proportion notable de ces minerais avec les minerais d'or et d'argent, dans le but de faciliter l'action de la vapeur d'eau, on introduit généralement une matière stérile qui diminue notablement le poids des minerais d'or et d'argent qu'on peut traiter dans une opération.

L'action de l'oxyde de manganèse est du reste la même que celle de l'oxyde de fer; j'ai obtenu des résultats identiques avec les deux oxydes dans les nombreuses expériences que j'ai faites; cette égalité d'action étant bien

constatée je n'ai employé pour mes expériences définitives que la pyrite de fer grillée sous le moufle.

L'appareil employé est le même que dans la seconde série d'expériences : la vapeur d'eau surchauffée agit sur le mélange de minerai et de pyrite grillée, pesant 250 grammes, contenu dans une seule nacelle. L'opération est continuée jusqu'à cessation certaine de toute réaction. Le minerai grillé est ensuite passé à l'amalgamation.

Je dirai une fois pour toutes que dans les expériences bien conduites, le rendement à l'amalgamation a toujours dépassé la teneur indiquée par l'essai et qu'en moyenne, le rendement a été de 110 p. 100 de la teneur à l'essai. Je ne citerai qu'un petit nombre d'expériences en choisissant celles qui font connaître la proportion de pyrite grillée à l'air qu'il convient d'employer pour les divers minerais d'or et d'argent. Je donnerai dans l'exposé des expériences l'explication du rôle que joue l'oxyde de fer dans le traitement par la vapeur d'eau.

Pyrite de fer. — Le minerai est aurifère; il contient environ 20 p. 100 de gangue quartzeuse et une faible proportion de pyrite arsenicale. Je prends 280 grammes de minerai, je les sépare en deux parties égales; l'une d'elles est grillée sous le moufle dans un têt en terre réfractaire, à la température du rouge sombre. La seule précaution prise pour le grillage est de remuer très fréquemment avec une tige en fer, afin d'éviter l'agglomération. Je retire la nacelle au bout de cinq heures, quand l'odeur d'acide sulfureux n'est plus perceptible. Le minerai grillé est mélangé avec la pyrite non grillée par longue trituration dans un mortier : le mélange est placé dans la nacelle et soumis au dessous du rouge sombre vers 300°, à l'action de la vapeur surchauffée. Les réactions commencent très-promptement; il y a d'abord dégagement de soufre, d'acide sulfureux et d'un peu d'acide arsénieux; quatre heures après le commencement des réactions, on distingue encore la présence

d'un peu d'acide sulfureux dans la vapeur d'eau qui sort du tube, mais ce gaz cesse bientôt d'être perceptible et le grillage est terminé en moins de cinq heures, avec une dépense de 5 litres d'eau vaporisée soit de 18 p. d'eau vaporisée pour 1. p. de pyrite.

En répétant la même expérience dans les mêmes conditions, mais en ne grillant sous le moufle que très-imparfaitement la moitié du minerai, on observe des différences notables dans la nature des produits volatils et dans la durée de l'expérience. Il se dégage d'abord beaucoup de soufre et un peu d'acide arsénieux; la vapeur sortant du tube entraîne ensuite presque exclusivement de l'hydrogène sulfuré. Le grillage n'est terminé qu'après douze et même seize heures, avec une dépense d'eau de 20 à 25 litres.

J'ai fait varier pour le même minerai les proportions du minerai grillé sous le moufle et j'ai pu constater que les résultats restaient très-bons entre des limites assez étendues. Ainsi, le mélange de 60 de pyrite crue avec 40 de pyrite grillée sous le moufle, exige de quatre à cinq heures seulement d'action de la vapeur d'eau; il en est de même pour le mélange de 40 de pyrite crue avec 60 de pyrite grillée sous le moufle. Les résultats de l'amalgamation sont aussi favorables.

C'est seulement quand il y a une trop grande disproportion entre les poids de pyrite crue et de pyrite grillée sous le moufle que les résultats sont différents.

Les différences peuvent être résumées brièvement :

Pyrite grillée sous le moufle en trop faible proportion, ou pyrite mal grillée. — L'action de la vapeur surchauffée est lente; la dépense d'eau vaporisée est très forte. Le rendement à l'amalgamation est bon quand on pousse l'opération jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène sulfuré;

Pyrite bien grillée sous le moufle en trop forte proportion. — L'action de la vapeur surchauffée est terminée en moins de quatre heures; le rendement à l'amalgamation

est moins élevé; il est même inférieur à la teneur indiquée par l'essai, toutes les fois que la proportion de la pyrite grillée dépasse 200 p. 100.

Il est facile de se rendre compte des principales réactions : je prends pour exemple le mélange en parties égales du minerai cru et du minerai bien grillé sous le moufle. Le peroxyde de fer en contact intime avec les sulfures de la pyrite crue agit comme oxydant et produit des acides sulfureux et arsénieux et du protoxyde de fer; l'or n'est pas oxydé. La vapeur d'eau amène le protoxyde de fer à l'état d'oxyde magnétique qui agit à son tour comme oxydant. A ces actions entièrement oxydantes se joint l'action de la vapeur surchauffée sur les sulfures qui donnent de l'hydrogène sulfuré, de l'oxyde de fer et de l'acide arsénieux; cette action devient de plus en plus secondaire à mesure que la proportion des sulfures devient plus faible. Il en résulte que le grillage dans l'atmosphère de vapeur surchauffée est produit principalement par l'action oxydante de l'oxyde de fer et par l'action également oxydante de la vapeur sur le protoxyde de fer qui est produit jusqu'à la fin des réactions. Le soufre qui se dégage au commencement de l'expérience provient de la double décomposition de l'hydrogène sulfuré et de l'acide sulfureux. Il ne peut échapper à cette décomposition qu'une faible partie de l'hydrogène sulfuré et cela dans le commencement de l'expérience. Vers la fin il ne peut y avoir que de l'acide sulfureux entraîné par la vapeur.

Dans le cas où le minerai grillé est en faible proportion, ou bien lorsque l'oxydation sous le moufle a été seulement partielle, le mélange que l'on a soumis à l'action de la vapeur d'eau ne contient pas une assez forte proportion d'oxyde de fer pour que l'action de cet oxyde soit dominante. La décomposition des sulfures est faite en grande partie par la vapeur d'eau, ce qui explique très-bien la durée plus longue de l'opération. L'action de la vapeur est pour ainsi

dire abrégée proportionnellement à la quantité d'oxydes de fer qui se trouve en mélange intime avec les sulfures métalliques. Le rendement en or n'est pas diminué quand on fait agir la vapeur jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène sulfuré : cela résulte de mes expériences comme fait matériel et on pouvait aisément le prévoir puisque, par l'action seule de la vapeur surchauffée, on arrive à très-peu près au même rendement que par les actions combinées de l'oxyde de fer et de la vapeur d'eau.

Il est plus difficile d'expliquer pourquoi le rendement à l'amalgamation diminue d'une manière très-notable quand la proportion de pyrite de fer bien grillée dépasse, dans le mélange, une certaine proportion. Le même effet n'est pas produit quand on emploie du minerai de fer (peroxyde de fer) au lieu des pyrites aurifères grillées. Cela démontre déjà que la diminution de rendement doit être attribuée au grillage sous le moufle. Il se forme donc pendant ce grillage des composés de l'or qui ne peuvent être détruits pendant ce traitement par la vapeur d'eau qu'autant que les sulfures entrent dans le mélange en assez forte proportion. Il m'a été impossible de déterminer la nature de ces composés : il est également impossible de reconnaître à quel état chimique l'or entre dans les pyrites aurifères, accompagnées d'un peu de pyrite arsenicale, sur lesquelles j'ai opéré. Mais de mes expériences, confirmées par les observations faites en Californie dans le traitement industriel, il résulte que pour les pyrites peu arsénicales, il est essentiel de ne pas soumettre au grillage préalable à l'air notablement plus de la moitié des minerais. La diminution du rendement est déjà très-sensible quand on grille à l'air les 70 p. 100 des minerais.

Pyrites arsenicales. — J'ai expérimenté sur des minerais contenant environ 40 p. 100 de gangue quartzeuse, composés principalement de pyrite arsenicale, avec une faible proportion de pyrite de fer et assez riches en or. J'ai d'a-

bord cherché à les traiter comme les précédents, en soumettant à l'action de la vapeur surchauffée le mélange intime d'une partie du minerai cru, avec une autre partie préalablement grillée sous le moufle. J'ai fait varier les proportions de ces deux parties sans pouvoir arriver à obtenir pour l'amalgamation un rendement convenable. J'ai toujours obtenu moins d'or que les essais n'en indiquaient. Peut-être sera-t-il possible de mieux réussir dans un traitement en grand. Il est facile de régler à volonté l'arrivée de l'air dans un grand four à réverbère, et de limiter l'action oxydante qui est toujours très-énergique sous le moufle. Je fonde mon opinion sur le fait suivant. Les rendements les moins défavorables que j'ai obtenus, correspondent aux grillages sous le moufle dans lesquels j'ai cherché à limiter l'action oxydante.

Je suis, du reste, parvenu à traiter très-bien ces minerais arsenicaux en les mélangeant en parties égales avec des pyrites peu arsenicales bien grillées sous le moufle.

Le mélange de 125 grammes pyrite arsenicale aurifère avec 125 grammes de pyrite de fer parfaitement grillée, traité par la vapeur surchauffée, se comporte à très-peu près comme je l'ai indiqué pour le premier exemple. La seule différence est qu'il se dégage une proportion bien plus forte d'acide arsénieux. L'opération est terminée en cinq heures. La matière retirée de la nacelle se laisse amalgamer avec facilité : le rendement en or est notablement supérieur à la teneur indiquée par les essais de la pyrite arsenicale et de la pyrite de fer qui a été en totalité grillée sous le moufle.

Les résultats sont bien différents quand on ne mélange pas à la pyrite arsenicale une proportion suffisante de pyrite de fer grillée. Ainsi le mélange de 180 grammes pyrite arsenicale avec 70 grammes de pyrite grillée, traitée par la vapeur surchauffée, exige de quinze à vingt heures d'action de la vapeur, et le rendement à l'amalgamation est inférieur à la teneur indiquée par les essais.

Lorsqu'au contraire le mélange contient une proportion trop grande de pyrite grillée, par exemple, 150 grammes de pyrite grillée pour 100 grammes de pyrite arsenicale, les réactions qui ont lieu dans le traitement par la vapeur surchauffée sont promptement terminées, en moins de quatre heures, mais le rendement à l'amalgamation est encore inférieur à la teneur indiquée par les essais. J'ai répété plusieurs fois ces expériences, et je suis arrivé à la conclusion que pour obtenir un bon rendement à l'amalgamation et, en même temps, la rapidité du traitement par la vapeur (de 18 à 20 parties d'eau vaporisée pour 1 partie du mélange), il faut faire agir la vapeur sur un mélange à très-peu près en parties égales de pyrite arsenicale et de pyrite grillée sous le moufle. Les proportions du minerai cru et du minerai grillé à l'air ne peuvent pas varier dans des limites étendues, comme cela est permis quand on traite des pyrites peu arsenicales.

J'ai répété les mêmes expériences en remplaçant la pyrite grillée par du minerai de fer et par du minerai de manganèse, tous les deux ne renfermant qu'une très-faible proportion de gangue terreuse; j'ai obtenu des résultats analogues. Pour la pyrite arsenicale, contenant environ 40 p. 100 de gangue quartzeuse, il faut mélanger la pyrite à très-peu près avec son poids d'oxyde de fer ou d'oxyde de manganèse, pour obtenir à l'amalgamation un rendement supérieur à la teneur à l'essai. Pour 250 grammes du mélange, l'action de la vapeur surchauffée est terminée en quatre heures; la dépense d'eau vaporisée ne dépasse pas 5 litres; mais cette dépense doit être rapportée à 125 grammes seulement de pyrite arsenicale, puisque les oxydes métalliques ne sont pas aurifères. La dépense d'eau vaporisée est de 30 parties pour 1 partie de pyrite.

Dans toutes mes expériences, j'ai cherché à déterminer approximativement la proportion d'arsenic contenu dans les résidus de l'amalgamation. J'ai obtenu des teneurs assez

variables, mais toutes supérieures à 15 p. 100. Il y a sous ce rapport une énorme différence entre les deux procédés de traitement par la vapeur d'eau. Dans le procédé primitivement proposé par M. Cumenge, modifié comme je l'ai indiqué précédemment, la pyrite arsenicale doit être mélangée avec son poids de pyrite de fer, la dépense de vapeur d'eau est considérable, mais presque tout l'arsenic est expulsé. Dans le procédé de traitement dont je parle maintenant, la pyrite arsenicale étant mélangée avec son poids d'oxyde de manganèse, d'oxyde de fer ou de pyrite presque pure grillée sous le moufle, l'action de la vapeur est très-promptement terminée; on retire à l'amalgamation à très-peu près la totalité de l'or contenu dans les minerais, mais une grande partie de l'arsenic reste dans les résidus de l'amalgamation.

Blende. — Je n'ai fait qu'un petit nombre d'expériences sur la blende; ce minerai est généralement peu riche en argent, ce qui rend assez difficile de comparer les résultats obtenus à l'amalgamation. J'ai obtenu de bons résultats en mélangeant la blende avec l'oxyde de fer ou avec des pyrites grillées, dans des proportions assez variables, depuis 1/2 partie jusqu'à 1 partie d'oxyde de fer ou de pyrites grillées pour 1 partie de blende. En opérant sur 250 grammes du mélange, les réactions sont terminées en moins de quatre heures, avec une dépense de 5 litres environ d'eau vaporisée. Le traitement par la vapeur d'eau exige encore moins de temps lorsque la proportion de l'oxyde de fer est plus forte, mais alors le rendement à l'amalgamation diminue. Ce résultat est analogue à celui que j'ai déjà signalé pour les pyrites aurifères; je ne peux en donner aucune explication théorique bien nette; j'ai constaté avec certitude cette diminution dans le rendement: elle ne s'élève un peu que quand l'excès d'oxyde de fer (minerai de fer ou pyrite grillée) est considérable.

Blende et sulfure d'antimoine.—J'ai fait mes expériences

sur le minerai de la mine de *Sheba*, Californie, contenant à peu près parties égales des deux sulfures métalliques, riche en argent, et ne renfermant qu'une très-faible proportion de gangue quartzeuse. J'ai employé, comme oxydant, de la pyrite de fer à très-peu près pure et ne contenant ni or, ni argent, bien grillée sous le moufle. J'ai fait varier dans des limites assez étendues la proportion de la pyrite grillée. Les meilleurs résultats sous le rapport de la rapidité de l'action de la vapeur d'eau et du rendement à l'amalgamation, correspondent aux proportions suivantes: pyrite grillée de 60 à 160, minerai d'argent 100.

Quand j'ai employé moins de 60 p. 100 de pyrite grillée, le grillage a été plus long, le rendement à l'amalgamation moins élevé. Avec une proportion de pyrite supérieure à 160 p. 100 le traitement par la vapeur d'eau est très-rapide, mais le rendement en argent diminue très-notablement. Pour 125 grammes de minerai et 125 grammes de pyrite grillée, il faut environ quatre heures d'action de la vapeur surchauffée, la dépense d'eau vaporisée est de 5 litres, soit de 30 parties d'eau vaporisée pour 1 partie de minerai. Le rendement à l'amalgamation est supérieur d'au moins 10 p. 100 à la teneur indiquée par l'essai. Les résidus de l'amalgamation contiennent beaucoup d'antimoine. Pour le minerai antimonial argentifère, il est facile d'expliquer la fâcheuse influence d'un excès de pyrite grillée: il y a formation d'antimoniate d'argent que le mercure ne décompose pas.

Cuivre gris. — J'ai fait de nombreuses expériences sur le cuivre gris, afin de chercher s'il était possible de traiter ce minerai pour argent et ensuite pour cuivre, en faisant agir la vapeur surchauffée sur le minerai mélangé avec de l'oxyde de manganèse, de l'oxyde de fer ou des pyrites grillées. Je n'ai pas réussi et je ne vois pas au moment actuel, d'autre moyen de résoudre le problème que celui précédemment énoncé : mélanger le cuivre gris avec son poids

de pyrite de fer, faire agir la vapeur surchauffée, amalgamer la matière grillée et traiter pour cuivre les résidus de l'amalgamation qui ne contiennent qu'une faible proportion d'arsenic et d'antimoine. Ce mode de traitement est peu économique, en raison du temps très-long qu'exige le grillage par la vapeur d'eau et, par suite, il n'est applicable que dans des cas tout particuliers. En employant les réactifs oxydants, on abrège beaucoup la durée du grillage par la vapeur, on arrive par l'amalgamation à extraire tout l'argent ; mais les résidus de l'amalgamation contiennent trop d'arsenic et d'antimoine pour qu'on puisse les traiter avantageusement pour cuivre : ce métal doit être considéré comme perdu. Les résultats du traitement pour argent sont analogues à ceux que j'ai obtenus pour le minerai blende et sulfure d'antimoine.

J'ai expérimenté sur le cuivre gris antimonial riche en argent d'Austin (Amérique), contenant environ 50 p. 100 de gangue quartzeuse. Je l'ai mélangé avec des proportions variables de pyrite de fer bien oxydée par grillage sous le moufle, 50, 75, 100, 125, 150, 200 de pyrite grillée pour 100 de cuivre gris. Les meilleurs résultats m'ont été donnés par les mélanges contenant de 75 à 150 de pyrite grillée. Pour 250 grammes des mélanges, l'action de la vapeur surchauffée est terminée en moins de cinq heures la dépense d'eau n'atteint pas 6 litres, et le rendement à l'amalgamation est notablement supérieur à la teneur indiquée par l'essai.

Le mélange contenant 200 de pyrite grillée pour 100 de cuivre gris, donne à l'amalgamation un rendement inférieur à l'essai ; la durée de l'action de la vapeur d'eau est de quatre heures seulement. La perte constatée sur l'argent s'explique aisément par la formation d'arséniate et d'antimoniate d'argent.

Le mélange de 50 de pyrite grillée et de 100 de cuivre gris exige au contraire que l'action de la vapeur d'eau soit

prolongée davantage ; mais le résultat de l'amalgamation est moins défavorable ; le rendement dépasse encore un peu la teneur à l'essai.

D'après ces expériences, la proportion des pyrites grillées qu'il convient d'adopter dépend de la nature de ces pyrites ; si elles ne contiennent pas d'or en quantité appréciable, il importe d'en employer le moins possible : la proportion la plus convenable est alors 80 de pyrites grillées pour 100 de cuivre gris : pour 250 grammes du mélange, il faut cinq heures d'action de la vapeur d'eau et une dépense d'eau de 6 litres, soit de 43 d'eau vaporisée pour 1 de cuivre gris.

Dans le cas où les pyrites sont notablement aurifères, on doit calculer les proportions d'après des considérations diverses. Les explications que je vais présenter au sujet du traitement du cuivre gris sont également applicables à l'emploi des pyrites aurifères grillées dans le traitement de la blende, du sulfure d'antimoine et des autres minerais argentifères et aurifères.

Je suppose la pyrite aurifère assez notablement arsenicale : c'est un cas qui se présentera fréquemment dans les États de l'Amérique. On la grille sous le moufle en totalité. Ainsi traitée, soumise à l'action de la vapeur surchauffée, et ensuite à l'amalgamation, elle ne céderait pas au mercure la totalité de l'or contenu. Mélangée dans une proportion convenable avec le cuivre gris, elle cède au mercure après l'action de la vapeur surchauffée la totalité de son or, en même temps que tout l'argent du cuivre gris passe à l'état d'amalgame, mais il n'en est plus ainsi lorsque la proportion du cuivre gris n'est pas suffisante ; on constate alors à l'amalgamation une perte notable d'or et d'argent. On ne doit pas dépasser la proportion de 120 de pyrite grillée pour 100 de cuivre gris (à 50 p. 100 de gangue).

Il y a donc dans le cas de pyrites aurifères, pour les proportions du mélange un maximum aussi bien qu'un mi-

nimum indiqués par l'expérience, et il est essentiel de se tenir entre les limites de 80 à 120 de pyrites grillées pour 100 de cuivre gris.

Si donc on se trouve placé dans des conditions spéciales où il faut traiter notablement plus de pyrites aurifères que de cuivre gris, il importe de ne pas soumettre au grillage la totalité des pyrites, on en grille une portion telle que le mélange de cuivre gris, de la pyrite non grillée et de la pyrite grillée contienne environ 100 de pyrite grillée pour 100 de cuivre gris et de pyrite non grillée. Dans ces conditions j'ai toujours obtenu les meilleurs résultats.

Résumé.

Mes nombreuses expériences sur divers minerais d'or et d'argent, mélangés avec de l'oxyde de manganèse, de l'oxyde de fer, des pyrites grillées, m'ont amené à reconnaître que la dépense d'eau vaporisée est encore assez forte. Cependant elle n'est pas telle qu'on doive considérer l'application du procédé comme peu économique en grand. Je répéterai, d'ailleurs, l'observation que j'ai faite précédemment : dans les usines la vapeur d'eau peut être bien mieux utilisée que dans un tube de terre fixe, comme celui dans lequel j'ai fait mes expériences. Il est permis d'espérer que la consommation de vapeur sera bien moins considérable et réduite au quart ou même au cinquième. Je peux dire, maintenant que le résultat des essais en grand a pleinement confirmé mon appréciation, qu'avec l'appareil que je décrirai dans le chapitre III, la dépense d'eau vaporisée ne dépasse pas 8 parties d'eau pour 1 partie du mélange des minerais.

L'emploi des réactifs oxydants s'applique avec avantage à tous les minerais d'or et d'argent, sauf deux exceptions ; d'une part le chlorure d'argent, de l'autre les cuivres gris, desquels on cherche à retirer le cuivre après avoir extrait l'argent et l'or.

Pour ces deux minerais, la formule de traitement métallurgique est la suivante :

1° Mélange intime du minerai avec une proportion convenable de pyrites. Cette proportion est ordinairement assez faible pour les minerais chlorurés : elle est notable au contraire pour les cuivres gris, et on peut généralement admettre qu'il faut employer parties égales de pyrite et de cuivre gris ;

2° Grillage un peu au-dessous du rouge sombre, par la vapeur d'eau surchauffée ; l'opération est prolongée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus dégagement d'hydrogène sulfuré, elle exige un temps considérable et une forte dépense d'eau vaporisée ;

3° Amalgamation directe par trituration avec du mercure sans autre réactif que l'eau ;

4° Opérations complémentaires telles que la séparation du mercure d'avec les boues, la compression du mercure, la distillation du mercure, la fusion des métaux précieux et leur séparation ;

5° Traitement pour cuivre des résidus de l'amalgamation, lorsque bien entendu il s'agit seulement des cuivres gris.

Ce mode de traitement est encore économique pour les minerais de chlorure d'argent qui n'exigent qu'une faible proportion de pyrites. Il est au contraire très-dispendieux pour les cuivres gris et ne peut être appliqué qu'à des minerais très-riches.

Pour tous les autres minerais d'or et d'argent, et pour les cuivres gris, quand on abandonne le cuivre, je propose la formule suivante :

1° *Grillage préalable des pyrites au contact de l'air.* — Le grillage peut à la rigueur être fait en grands tas ou dans des cases, mais il est en général préférable de l'effectuer dans de grands fours à réverbère ; l'oxydation est plus complète, et on obtient pour la composition des pyrites

grillées une régularité à laquelle on ne saurait atteindre par le grillage en grands tas ou dans des cases. Cette première opération est supprimée, lorsqu'on emploie comme agents d'oxydation l'oxyde de fer ou l'oxyde de manganèse. Ces deux agents doivent être préférés dans les usines qui ne peuvent pas se procurer à des prix raisonnables des pyrites aurifères. Je cite l'oxyde de manganèse, en faisant l'observation qu'il est d'ordinaire plus cher que le minerai de fer d'une pureté convenable, et je ne connais maintenant que l'usine de Real-del-Monte, au Mexique, qui aurait intérêt à employer l'oxyde de manganèse. Cet oxyde se trouve en quelque abondance aux affleurements des filons et contient une certaine proportion d'argent.

2° *Mélange intime des minerais d'or et d'argent avec les pyrites grillées à l'air*, ou bien avec *l'oxyde de fer*, ou avec *l'oxyde de manganèse.*— La proportion la plus convenable des réactifs oxydants est variable avec la nature des minerais et la proportion des gangues terreuses. Lorsque les usines peuvent obtenir à bon compte des pyrites peu arsenicales et notablement aurifères, circonstances fort avantageuses à l'application du traitement, on cherche à introduire dans les mélanges à peu près parties égales de pyrites bien grillées à l'air, de minerais d'or ou d'argent, et au besoin des pyrites crues elles-mêmes. C'est seulement dans le cas où les gangues terreuses dominent qu'il est permis d'employer une proportion moindre de pyrites grillées.

3° *Grillage par la vapeur d'eau surchauffée.* — L'opération est faite à une température un peu inférieure au rouge sombre : elle est continuée jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide sulfureux. Il faut en général au laboratoire de quatre à cinq heures pour arriver à la fin des réactions, quand on opère sur 250 grammes de mélange. La dépense d'eau vaporisée ne dépasse pas 6 litres, soit 24 parties d'eau pour 1 partie du mélange.

4° *Amalgamation* directe des minerais traités par la vapeur d'eau. L'opération est faite sans addition de réactifs, par simple trituration avec du mercure, à sec ou en présence de l'eau.

5° *Opérations complémentaires* de l'amalgamation.

Le rendement dans mes expériences de laboratoire a toujours dépassé la teneur des minerais indiquée par les essais. Comme toutes les opérations sont d'une nature telle que la réussite est plus facile en grand qu'en petit, il est certain qu'on arrivera dans les usines à dépasser d'au moins 10 p. 100 la teneur à l'essai, même pour les minerais considérés jusqu'à présent comme les plus rebelles.

Je donnerai dans le chapitre suivant la description détaillée des appareils que j'ai employés au laboratoire, en prenant pour application le traitement d'un minerai spécial le cuivre gris antimonial, riche en argent, d'Austin.

§ II. — EXPÉRIENCES EN GRAND.

Les essais en grand ont été faits au début en Californie et au Mexique, en appliquant le procédé que j'avais travaillé au laboratoire dans ma seconde série d'expériences, c'est-à-dire en faisant agir la vapeur d'eau surchauffée sur des minerais aurifères pyriteux seuls, et sur des minerais d'argent mélangés avec des proportions variables de pyrites aurifères. Ces derniers seuls ont donné de bons résultats ou du moins des résultats relativement bons. Afin de n'introduire dans mon mémoire aucune question personnelle, je ne parlerai pas des erreurs ou des fautes qui ont été commises, et je ne rapporterai que deux séries d'essais, la première dirigée par des ingénieurs qui n'ont pas suffisamment étudié mes instructions écrites, la seconde par M. Gaillardon et par son ami M. Mathey, qui ont compris mieux que les ingénieurs le principe du traitement par la vapeur d'eau.

PREMIÈRE SÉRIE D'ESSAIS.

On a traité, en Californie, des pyrites aurifères, des pyrites arsenicales riches en or, des minerais d'argent de diverse nature; au Mexique, à l'usine de Real del Monte, on a fait des essais sur des minerais d'argent très-quartzeux contenant du sulfure d'argent, de la blende et de la pyrite de fer. Je dois laisser de côté les essais qui ont été faits à l'usine de Real del Monte, parce que je n'ai pas pu me procurer des renseignements suffisants sur la conduite des opérations. Les résultats ont un moment donné des espérances, mais en somme le rendement des minerais a été déplorable.

En Californie, les expériences ont eu lieu à trois reprises différentes. Les pyrites aurifères étaient traitées seules; pour les pyrites arsenicales et pour les minerais d'argent, on ajoutait parties égales de pyrites. La série des opérations a été la suivante :

1° Mélange des pyrites avec les minerais d'argent, ou avec les pyrites arsenicales;

2° Traitement par la vapeur d'eau dans un grand four à réverbère;

3° Amalgamation dans des tonnes tournantes en bois;

4° Opérations complémentaires de l'amalgamation.

1° *Mélange des minerais avec les pyrites.* — Le mélange a été fait à la pelle, contrairement aux indications que j'avais données. C'était une première cause d'insuccès; à la pelle, il est impossible d'obtenir un mélange intime, surtout avec des minerais réduits seulement à l'état de sable fin. L'intimité du mélange des pyrites avec les minerais est une condition essentielle à la netteté des réactions. On a reculé devant la dépense qu'aurait entraînée la construction des appareils capables de produire un mélange intime et on ne s'est pas rendu compte de la nécessité absolue de ne négliger aucun détail lorsqu'il s'agit d'expérimenter en grand un procédé entièrement nouveau.

2° *Traitement par la vapeur surchauffée.* — L'opération a été faite dans un réverbère chauffé au bois; aucune disposition n'a été prise pour limiter à volonté l'accès de l'air sous la grille : il en est résulté que les flammes ont été constamment très-oxydantes. Les dimensions principales de la sole étaient $3^{m}.50$ et $2^{m}.50$. Les charges ont varié de 500 à 1,100 kilogrammes. La vapeur, les flammes et les produits volatils des réactions se rendaient par deux rampants à une cheminée un peu élevée. Le travail était fait par deux portes placées du même côté. La vapeur arrivait par six tuyères disposées obliquement des deux côtés du pont, ou par des tuyères partant d'un tuyau disposé dans l'épaisseur du pont. La vapeur était produite dans un générateur de 3 mètres de long, de dimensions tout à fait insuffisantes : elle était surchauffée dans un appareil indépendant du four à réverbère. Les faibles dimensions du générateur ont été la cause principale de l'insuccès des expériences. J'avais donné comme instruction essentielle, que la vapeur fût produite en quantité suffisante pour former, sur le minerai chargé dans le réverbère, une nappe bien continue à une pression telle que la nappe de vapeur pût s'étendre jusqu'aux rampants. Cette condition n'a pas été réalisée : chacune des tuyères a produit un jet de vapeur appelant sur le minerai les flammes oxydantes. L'oxydation a été produite par l'air, en présence d'une certaine quantité de vapeur d'eau. On aurait certainement obtenu des résultats moins défavorables en supprimant l'arrivée de la vapeur.

Les opérations ont toujours duré très-longtemps : de quarante à soixante heures. Quand le minerai était retiré du four, il y avait encore dégagement d'acide sulfureux au contact de l'air. Il est inutile d'insister sur le mode de travail; ce que j'ai dit précédemment suffit pour faire comprendre que les actions chimiques ont été entièrement dif-

férentes de celles que j'avais eu l'intention de produire. J'avais recommandé comme condition rigoureuse que le minerai fût soumis seulement à l'action de la vapeur d'eau et que le contact des flammes oxydantes fût entièrement évité. On a réalisé une condition essentielle différente : le grillage dans le four à réverbère a eu lieu dans les conditions les plus propres à la formation des sels d'argent. Les résultats obtenus pour les minerais aurifères ont été moins défavorables que pour les minerais argentifères : cela se conçoit sans peine, puisque l'or ne possède pas au même degré que l'argent la faculté de former des sels stables au rouge sombre. Les combinaisons de l'or ont dû cependant se produire dans une certaine proportion. Aucune des expériences faites sur les minerais aurifères n'a pu atteindre un rendement égal à la teneur indiquée par l'essai. L'or ne se trouvait donc pas en totalité à l'état métallique dans les minerais retirés du four de grillage par la vapeur d'eau.

3° *Amalgamation.* — On a cherché à faire l'amalgamation des minerais grillés dans des tonnes tournantes en bois, en adoptant pour les vitesses de rotation et pour la durée des périodes, les prescriptions de l'ancienne usine de Huelgoet. On introduisait dans chaque tonne environ 250 kilogrammes de minerai grillé, de l'eau en quantité suffisante pour former une pâte fluide, des balles de fer, des galets arrondis destinés à produire la division du mercure et le brassage des matières, et enfin un poids de mercure variant de 30 à 40 p. de mercure pour 1 p. d'or ou d'argent indiqués par les essais dans le minerai grillé.

En sortant les matières des tonnes, on n'a pas pris les précautions adoptées cependant de tout temps dans les ateliers d'amalgamation, pour séparer nettement le mercure des boues. On a perdu, par suite de ce défaut de soins, une proportion notable de mercure et d'amalgames. Ce n'a été là, du reste, qu'une cause secondaire d'insuccès : les causes principales sont celles que j'ai signalées dans la première

et la deuxième opération. Je ne citerai qu'un seul nombre. M. Gaillardon, en faisant tourner lentement les boues dans un débourbeur avec une certaine quantité de mercure neuf, a dissous une proportion d'or s'élevant environ à 10 p. 100 de l'or qui avait déjà été obtenu.

4° *Opérations complémentaires.* — Le mercure séparé des boues a d'abord été comprimé dans des sacs en toile, dans le but de séparer une partie du mercure libre et de diminuer le poids du métal soumis à la distillation. Cette compression dans des sacs a toujours mal réussi : on n'a pas pu se procurer de la toile d'un tissu suffisamment serré et résistant; le mercure expulsé par la compression a entraîné un peu d'amalgame. C'est là encore une perte secondaire qui n'a eu aucune influence appréciable sur l'insuccès des expériences.

La distillation du mercure a été faite dans une cornue de onte : les métaux fixes restés dans la cornue ont été fondus et coulés en lingots. Les lingots ont rarement contenu seulement de l'or et de l'argent : ainsi, lorsqu'on a traité des minerais cuivreux, les lingots ont contenu une forte proportion de cuivre. J'explique de la manière suivante la formation de l'amalgame de cuivre.

Dans le traitement des minerais par la vapeur d'eau, presque tout le cuivre passe à l'état de sulfate, arséniate, etc., grâce à l'admission de l'air. Pendant l'amalgamation dans les tonnes, les sels du cuivre sont décomposés par les balles de fer, et le cuivre précipité se combine avec le mercure.

La présence du cuivre dans les lingots d'or et d'argent ne présente aucun inconvénient grave : on paye à très-peu près au même prix l'or et l'argent dans les lingots très-purs et dans les lingots qui renferment une proportion, même assez forte, d'autres métaux, tels que le cuivre, le plomb et le zinc.

Les résultats de cette première série d'essais ont été dé-

favorables sous tous les rapports: — durée très-longue de l'action de la vapeur d'eau; — forte consommation de combustible; — perte notable de mercure; — perte très-grande sur l'or, et principalement sur l'argent. Les causes de l'insuccès sont évidentes : MM. Gaillardon et Mathey les ont reconnues en même temps que moi. La non-réussite est due principalement à :

1° L'imperfection du mélange des minerais avec les pyrites;

2° L'insuffisance de la vapeur et le contact des flammes oxydantes avec les minerais pendant toute la durée de l'action de la vapeur d'eau.

J'ai déjà signalé, comme secondaires, plusieurs causes de perte d'or et d'argent; je dois en indiquer ici encore une autre, l'élévation trop grande de la température pendant le grillage. Dans presque toutes les expériences, on a dépassé le rouge sombre, avec l'espoir d'abréger ainsi l'opération. Non-seulement le résultat désiré n'a pas été obtenu, mais encore on a de beaucoup augmenté la perte d'argent. La température étant élevée presque au point de fusion de l'argent, la fraction de ce métal, qu'on pouvait amener à l'état métallique par l'action de la vapeur, malgré les conditions déplorables au milieu desquelles l'opération était faite, se trouvait, dans la matière retirée du four à réverbère, en grains agglomérés ou même complétement fondus. Sous cet état, l'argent ne se dissout dans le mercure qu'avec une extrême lenteur.

La même cause a pu influer également sur la faiblesse du rendement en or, dans celles des expériences où l'on a chauffé jusqu'au rouge.

SECONDE SÉRIE D'ESSAIS.

Dans les dernières expériences en grand, MM. Gaillardon et Mathey, dirigeant seuls toutes ces opérations, ont cherché

à écarter les causes d'insuccès précédemment reconnues par eux; mais ils n'ont pas pu se procurer un générateur de vapeur d'une grandeur suffisante, et ils ont dû utiliser le four à réverbère primitif, en le modifiant aussi bien que cela leur était possible.

La modification principale apportée au réverbère a été l'installation de plaques de fonte, au niveau du pont, divisant horizontalement le laboratoire du four, de manière à isoler complétement des flammes oxydantes les minerais chargés sur la sole et soumis à l'action de la vapeur surchauffée. Les minerais étaient alors chauffés seulement par la réverbération des plaques de fonte et il était relativement facile de ne pas dépasser le rouge sombre. L'amalgamation a été faite dans l'appareil le plus usité en Californie, dans un *pan*, et des précautions convenables ont été prises pour la séparation plus exacte du mercure d'avec les boues.

On a expérimenté, dans ces conditions nouvelles, des pyrites aurifères et des minerais d'argent mélangés avec des proportions variables de pyrites aurifères.

Pour les pyrites traitées seules, on a obtenu des résultats bien moins défavorables que dans la première série d'expériences : on a retiré des minerais de 80 à 110 p. 100 de l'or indiqué par les essais. L'irrégularité des résultats a pu être facilement expliquée. La vapeur étant en quantité insuffisante et lancée à une trop forte pression, l'air et les flammes oxydantes ont encore pu pénétrer jusqu'au minerai par les joints des plaques. Dans toutes les expériences pour lesquelles le rendement a été inférieur à la teneur de l'essai, on a remarqué des flammes bleues à la surface du minerai pendant toute la durée de l'action de la vapeur d'eau, tandis que ces flammes n'ont pas été aperçues dans les expériences qui ont donné de bons rendements.

La durée des grillages par la vapeur a été toujours très-longue : de cinquante-cinq à soixante-douze heures, pour des charges de 500 à 1,100 kilogrammes. Cette longueur

doit être attribuée, seulement en partie, à l'insuffisance de la quantité de vapeur.

A l'amalgamation, il n'y a pas eu de perte appréciable de mercure, grâce aux précautions prises pour le traitement des boues.

Pour les minerais d'argent, les résultats ont été beaucoup moins nets : les rendements ont toujours été inférieurs aux teneurs accusées par les essais, et presque toujours la différence a été considérable. On a, du reste, observé, comme pour les pyrites aurifères, une très-longue durée du grillage par la vapeur surchauffée, et on est arrivé à amalgamer dans un pan sans perte appréciable de mercure.

Il était facile de prévoir qu'on n'obtiendrait pas de bons résultats dans le traitement des minerais d'argent. La disposition du four et l'insuffisance de la quantité de la vapeur permettant le contact des flammes oxydantes avec le minerai, sinon d'une manière continue, du moins pendant une grande partie de l'opération, il devait se former des sels d'argent indécomposables par amalgamation. Pour les pyrites aurifères traitées seules, les sels correspondants de l'or n'ont pas pu se former dans une proportion aussi forte : de là est résulté le succès relatif dans le traitement des minerais aurifères et l'insuccès dans le traitement des minerais d'argent.

Conclusions.

Ces expériences ont démontré nettement la possibilité d'employer avec avantage la vapeur surchauffée pour extraire l'or et l'argent de tous les minerais. Elles m'ont indiqué les modifications importantes qu'il fallait faire subir aux appareils pour arriver à des résultats certains. Mais elles m'ont prouvé en même temps qu'il fallait craindre dans les opérations en grand, aussi bien que dans les expériences de laboratoire, la lenteur de l'action de la vapeur

surchauffée, agissant sur les pyrites ou sur les minerais mélangés avec des pyrites.

Ainsi que je l'ai précédemment exposé, j'ai résolu le problème en ajoutant aux minerais des agents d'oxydation, oxyde de fer, oxyde de manganèse, pyrites grillées à l'air. Cette modification change complétement le principe du procédé de traitement et permet de retirer à très-peu près tout l'or et tout l'argent des minerais par des opérations rapides et économiques. Dans le cas seulement des minerais cuivreux, contenant de l'arsenic et de l'antimoine, le nouveau procédé offre un inconvénient; les deux corps nuisibles se retrouvent en proportion assez forte dans les résidus de l'amalgamation; le cuivre contenu dans ces résidus peut être considéré comme perdu.

CHAPITRE II.

PROCÉDÉ DE TRAITEMENT AU LABORATOIRE.

J'ai décrit dans le chapitre précédent les modifications que j'ai apportées successivement au procédé de traitement des minerais d'argent proposé par M. Cumenge et les raisons qui m'ont fait abandonner le principe essentiel de la méthode de cet ingénieur, l'addition de la pyrite aux minerais contenant de l'arsenic et de l'antimoine. J'ai fait connaître les réactions qui ont lieu lorsque, dans mon nouveau procédé, on traite par la vapeur d'eau surchauffée les minerais d'or et d'argent, intimement mélangés avec un réactif faiblement oxydant tel que l'oxyde de manganèse ou l'oxyde de fer. Il me reste à exposer les détails d'une opération, en prenant pour exemple un minerai déterminé, et principalement à insister sur l'amalgamation qui exige, au laboratoire peut-être plus encore que dans les usines, les soins les plus minutieux.

La série des opérations est celle que j'ai déjà exposée.

1° Mélange du minerai avec la proportion convenable de pyrite de fer préalablement grillée sous le moufle;

2° Traitement par la vapeur d'eau surchauffée;

3° Amalgamation du minerai:

4° Opérations complémentaires de l'amalgamation.

PREMIÈRE OPÉRATION.

Mélange du minerai avec la pyrite grillée.

Le minerai à traiter est du cuivre gris antimonial riche en argent, à la teneur de 6 p. 100 à l'essai, renfermant environ 25 p. 100 de gangue quartzeuse. On mélange intimement, par longue trituration dans un mortier de porcelaine, 150 grammes du minerai pulvérisé avec 105 grammes de pyrite de fer grillée sous le moufle (*). La trituration exige au moins quatre heures. Le mélange pesant 255 grammes, contient, d'après l'essai, 9 grammes d'argent. Il est placé dans une nacelle en porcelaine, dont une des bases a été fortement échancrée à l'aide d'une pince. Les dimensions de la nacelle sont: longueur 20 centimètres, hauteur 4 centimètres, largeur 6c,50. L'échancrure de l'une des bases a pour but de faciliter l'accès de la vapeur.

SECONDE OPÉRATION.

Traitement par la vapeur d'eau.

L'appareil, déjà mentionné, est représenté par les figures 1 et 2, Pl. I.

A est le générateur de vapeur en cuivre rouge, d'environ 6 litres de capacité. Le niveau de l'eau est constaté par le tube indicateur en verre, a; l'orifice a' fermé par un bouchon métallique à vis, permet d'introduire rapidement une nouvelle quantité d'eau préalablement chauffée à 100°, lorsque le niveau du liquide est trop abaissé.

B est le tube de fer placé dans un four à réverbère, dans lequel la vapeur est échauffée jusqu'au rouge:

C est le tube en terre réfractaire, enduit de lut fusible, qui contient la nacelle avec le minerai: le tube est placé dans un réverbère de forme cylindrique, dépourvu de dôme: en tenant la porte inférieure presque constamment fermée et le tube entouré de charbons en ignition, on parvient aisément à maintenir la nacelle à une température un peu inférieure au rouge sombre.

(*) 150 grammes de pyrite de fer crue donnent 105 grammes de pyrite grillée, après six heures d'oxydation au rouge sombre sous le moufle.

La jonction des deux tubes est faite par la pièce *m*, en cuivre jaune.

Le tube de fer pénètre à frottement dur dans la partie tubulée de faible diamètre : le tube de terre entre à frottement doux dans la partie évasée : les joints sont garnis avec du kaolin, qui constitue un lut excellent. Le kaolin sert également de lut à la réunion du tube de fer avec le tube *n* par lequel la vapeur arrive du générateur.

D est une allonge en verre, recourbée à son extrémité et placée sous une cheminée à tirage actif. Portée sur un support en bois, elle est seulement appuyée contre l'orifice du tube de terre.

L'appareil étant monté, on allume le gaz sous le générateur ; on emplit les deux fourneaux de charbon noir et on introduit une pelletée de charbons en ignition dans le réverbère B.

Lorsque la vapeur commence à se produire, on met des charbons en ignition dans le réverbère cylindrique, au-dessus du tube C, et on règle le courant de gaz de telle manière que la vapeur se produise à raison d'environ 1 litre par heure. La nacelle contenue dans le tube de terre est promptement élevée à la température de 250° à laquelle les réactions sont vives : il est très-important de ne pas dépasser notablement cette température. On voit se déposer dans l'allonge D, d'abord un peu de soufre, ensuite de l'acide arsénieux et de l'oxyde d'antimoine. La vapeur qui sort de l'allonge a la réaction acide sur le papier tournesol : elle a l'odeur de l'acide sulfureux. On peut suivre approximativement l'activité des réactions d'après la formation du dépôt blanc dans l'allonge, d'après l'odeur de la vapeur et d'après l'action acide qu'elle exerce sur la teinture de tournesol. Quatre heures après le commencement des réactions, on ne distingue plus qu'une odeur extrêmement faible d'acide sulfureux ; on enlève le feu dans le réverbère cylindrique, mais on continue à faire arriver la vapeur jusqu'à

refroidissement à peu près complet du tube de terre. Quand le tube est froid on retire la nacelle, on pulvérise dans le mortier de porcelaine le minerai qui est toujours un peu aggloméré. On recommence ensuite l'opération. Il se dégage encore un peu d'acide sulfureux dans les premiers instants, mais ensuite il est impossible de reconnaître la plus faible odeur d'acide et la plus faible action sur le papier de tournesol. L'opération est terminée. Il faut ainsi moins de cinq heures d'action effective de la vapeur surchauffée pour oxyder les 150 grammes de cuivre gris, en présence des 105 grammes de pyrite de fer bien grillée sous le moufle.

La matière retirée de la nacelle, très-faiblement agglomérée, est d'un noir presque uniforme et presque en totalité attirable au barreau aimanté. Elle contient l'oxyde de fer à l'état d'oxyde magnétique.

TROISIÈME OPÉRATION.

Amalgamation.

L'amalgamation comprend trois opérations distinctes : 1° l'amalgamation proprement dite, pendant laquelle s'effectue la combinaison de l'argent avec le mercure ; 2° la réunion de l'amalgame dans le mercure liquide ; 3° la séparation du mercure d'avec les boues.

1° *Amalgamation.* — Je fais l'amalgamation dans l'appareil qui est représenté par les *fig.* 3, 4 et 5, Pl. I. Il se compose de deux meules cylindriques, tournant autour d'un axe vertical dans une auge annulaire.

La sole de l'auge est en marbre, son diamètre mesure $0^m,28$, le rebord évasé à l'extérieur est en fer battu ; il a $0^m,04$ de hauteur, et son plus grand diamètre est de $0^m,33$. Un segment du rebord métallique (*a*, *fig.* 4) est mobile, et permet de faire sortir les matières quand l'opération arrive à sa fin. Cette partie mobile n'a pas été représentée dans la *fig.* 3. L'auge est solidement fixée à une table en

bois; une échancrure ménagée dans la table au-dessous de l'orifice de sortie *a*, sert à faire tomber toutes les matières dans une capsule, à leur sortie de l'auge. L'axe vertical porte sur un pivot tournant dans une pièce cylindrique en fer, de $0^m,08$ de diamètre, fixée au centre de l'auge : la hauteur de cette pièce est de $0^m,025$, et suffit pour que les matières en traitement ne viennent pas atteindre le pivot (*fig.* 3). L'axe est maintenu à la partie supérieure par un châssis en fer, il est mis en mouvement à l'aide d'un engrenage conique, par la manivelle *m* (*fig.* 3). Les deux meules cylindriques sont en marbre. Leur diamètre est de $0^m,10$, leur largeur de $0^m,08$. Chaque meule est traversée par un axe en fer. Les axes sont dirigés extérieurement par les deux étriers AA, fixés à l'axe vertical au moyen des deux bras BB. Du côté intérieur, les axes des meules sont également dirigés par deux étriers, ménagés dans le renflement D de l'axe vertical. Les étriers permettent aux meules de s'élever suivant l'épaisseur de la matière en élaboration. Deux couteaux obliques horizontaux, *g.g*, appuient sur les meules, sous un angle de 35°, à peu près à la hauteur des axes de rotation. Ils servent à maintenir bien nette la surface des meules en faisant retomber dans l'auge les matières qui sont entraînées par adhérence dans la rotation.

Pour diviser la matière, pour l'écarter des rebords extérieurs et intérieurs, il ne faut pas moins de quatre couteaux en fer *cc*, *c'c'* et d'un râteau *r*. Les deux couteaux *cc* sont fixés aux étriers AA : ils sont contournés ainsi que l'indique la *fig.* 4. Les deux couteaux *c'c'* sont verticaux, en forme d'arcs de cercle et fixés au renflement D. Le râteau *r* fixé au même renflement, se compose d'une plaque tranchante qui rase la sole de l'auge et de 5 dents verticales triangulaires (*fig.* 5).

On peut aisément amalgamer dans cet appareil de 250 à 300 grammes de minerai grillé. Le travail est conduit de la manière suivante.

On met le minerai grillé sur la sole et on fait tourner les meules pendant une heure environ, afin de bien écraser les grains qui se sont un peu agglomérés pendant le traitement par la vapeur d'eau. On introduit le mercure dans la proportion de 40 parties de mercure pour 1 partie de métal précieux indiqué par l'essai. Pour le minerai que j'ai pris comme exemple, renfermant 9 grammes d'argent, il faut employer 360 grammes de mercure. On fait tourner les meules alternativement dans un sens et dans l'autre, aussi rapidement que cela est possible, en prenant pour limite la rapidité de rotation qui fait projeter une partie de la matière par-dessus les rebords de l'auge; on voit le mercure se diviser peu à peu, et en moins de deux heures de rotation rapide, le mercure est réduit en poudre presque impalpable, intimement mélangée avec le minerai qui lui-même est alors en grains extrêmement fins. Il faut prolonger la rotation, c'est-à-dire la trituration à sec, au moins pendant cinq heures. C'est pendant cette première période de l'opération que l'argent métallique contenu dans le minerai grillé passe à l'état d'amalgame. Aucun appareil ne peut produire aussi complétement que les meules verticales la division extrême du mercure et amener un contact aussi intime et aussi prolongé du mercure avec tous les grains du minerai. Le seul reproche à adresser à l'appareil que j'ai employé est le poids trop faible des meules : la pression exercée sur les matières n'est pas suffisante. Les meules dont j'ai proposé l'adoption pour le traitement industriel, pèsent 1,000 kilogrammes et donnent les meilleurs résultats dans un temps beaucoup plus court.

Après cinq heures *effectives* de rotation (trituration à sec), on ajoute peu à peu de l'eau jusqu'à ce que la matière ait pris la consistance d'une pâte un peu ferme. On fait tourner les meules pendant l'addition d'eau ; mais il faut presque à chaque instant s'arrêter pour diviser avec un couteau de bois les matières qui s'attachent aux meules, aux cou-

teaux de fer et au râteau. C'est pendant cette période de l'opération qu'on est le plus exposé à perdre du mercure par projection en dehors de l'auge. Sous l'influence de la petite quantité d'eau et de la rotation intermittente, le mercure se réunit assez rapidement en globules de toutes dimensions. La pression exercée par les meules sur la matière pâteuse est relativement considérable; bien que le mercure soit en grande partie réuni en globules, cette période est très-utile pour compléter l'amalgamation de l'argent. Il est difficile de lui donner plus d'une heure de durée parce qu'il faut s'astreindre à de trop grandes précautions pour éviter la perte de mercure. On ajoute ensuite de l'eau en quantité suffisante pour amener les matières à la consistance d'une bouillie un peu claire; on fait tourner les meules, alternativement dans les deux sens, aussi vite que cela est compatible avec la condition d'éviter les projections hors de l'auge. Le mercure se divise de nouveau presque immédiatement; mais il n'est pas amené à l'état de poudre impalpable comme dans la période de trituration à sec; il est sous forme de grains très-petits, à surface brillante. Le contact avec le minerai est donc très-multiplié sans être aussi intime que dans les deux premières périodes. On prolonge pendant trois ou quatre heures cette dernière période et vers la fin on ajoute de nouveau de l'eau dans le but de faciliter la réunion du mercure. On procède ensuite à la séparation du mercure d'avec les boues. Avant de décrire cette partie de l'opération, je dois faire observer que la trituration sous des meules légères, à sec et en présence de l'eau, ne suffit pas pour faire passer à l'état d'amalgame la totalité de l'argent contenu dans les minerais grillés; il faut répéter au moins une fois la trituration sous les meules des boues séparées du mercure, en employant encore au moins 200 grammes de mercure neuf.

2° *Réunion de l'amalgame dans le mercure liquide.*—On fait sortir toutes les matières de l'auge par la porte *a*, on

les fait tomber dans une grande capsule, on doit laver avec grand soin toutes les parties de l'appareil, en frottant avec une brosse très-dure, afin de détacher tout le minerai et tous les petits grains d'amalgame qui adhèrent assez fortement aux parties métalliques. On fait ensuite passer les matières dans un flacon en verre cylindrique, d'environ 1 litre de capacité, bouché à l'émeri, on ajoute 100 grammes de mercure et on ferme le flacon. En agitant vivement par saccades, et ensuite en imprimant au flacon un mouvement de rotation autour de son axe, on parvient à réunir le mercure, et à dissoudre dans le mercure liquide les grains d'amalgame divisé qu'on voit d'abord flotter dans les boues liquides. Il faut beaucoup de temps pour arriver à ce résultat; on doit agiter le flacon pendant huit ou dix heures. Après ce temps on ne distingue plus d'amalgame divisé, mais ce n'est pas une preuve bien certaine que la totalité de l'amalgame est en dissolution dans le mercure. Je crois même pouvoir affirmer qu'il reste encore une partie notable de l'amalgame non dissous, et que la nécessité de faire une seconde, quelquefois même une troisième amalgamation, provient tout autant de la dissolution imparfaite dans le mercure de l'amalgame formé que de l'imperfection de l'amalgamation elle-même.

3° *Séparation du mercure d'avec les boues.*—Pour séparer les boues du mercure, on enlève le bouchon du flacon, on imprime à celui-ci un mouvement de rotation autour de son axe, on décante dans une terrine environ la moitié du liquide; on remplit le flacon d'eau, on lui imprime pendant quelques minutes un mouvement de rotation, on fait sortir par décantation environ la moitié du liquide. En continuant ainsi, on parvient à isoler le mercure de la plus grande partie des boues. On achève dans une capsule la purification du mercure. Il est utile de peser le métal, afin de se rendre compte des pertes qui ont été faites pendant l'opération.

Toutes les liqueurs décantées doivent être conservées en

repos pendant un temps assez long pour que les boues se déposent complétement. On décante le liquide clair, on fait sécher les boues et on les soumet une seconde fois à l'amalgamation. J'ai même été obligé, dans plusieurs expériences, de recommencer une troisième fois l'amalgamation. J'ai déjà indiqué les deux raisons principales pour lesquelles cette répétition est nécessaire : 1° Dans l'amalgamation proprement dite, il est impossible d'obtenir, avec des meules aussi faibles, un contact intime et prolongé du mercure avec tous les grains du minerai grillé; 2° Dans la séparation du mercure d'avec les boues on ne peut pas arriver, en opérant sur une quantité de matière aussi petite, à réunir dans le mercure liquide la totalité de l'amalgame formé. Ces inconvénients ne se présentent pas dans les usines. Les meules ont un poids suffisant et on peut appliquer aux boues des opérations de préparation mécanique qui permettent de dissoudre dans le mercure la totalité de l'amalgame.

QUATRIÈME PARTIE DU TRAITEMENT.

Opérations complémentaires.

J'ai essayé plusieurs procédés pour déterminer l'argent contenu dans le mercure : un seul m'a donné de bons résultats, c'est l'application au laboratoire des opérations qui sont faites dans les usines. Il est assez long et cause des pertes d'argent qui sont fort appréciables, quand on opère sur des minerais d'une teneur peu élevée. Avant de le décrire, je dirai quelques mots d'un autre procédé beaucoup plus simple qui a le grave inconvénient de donner des résultats très-irréguliers.

La marche qui paraît la plus rationnelle pour retirer l'argent contenu dans le mercure peut se résumer ainsi : placer le mercure dans une coupelle de dimensions convenables, avec la quantité de plomb pauvre suffisante pour permettre d'obtenir l'argent sous forme de bouton bien fondu,

introduire la coupelle sous un moufle froid et chauffer avec la plus grande lenteur jusqu'à l'expulsion totale du mercure, achever enfin la coupellation du plomb d'œuvre.

Ce procédé m'a réussi quelquefois, mais très-fréquemment, il se produit des explosions successives au moment où le mercure commence à distiller, et presque toute la matière métallique est projetée en dehors de la coupelle. Je n'ai pas réussi à éviter ces explosions, soit en poussant un peu rapidement la distillation, soit en conduisant avec la plus extrême lenteur l'élévation de la température du moufle. Les explosions, lorsqu'elles se produisent, font perdre tout le fruit des précédentes opérations; en conséquence, je me suis résigné à adopter en tout cas le procédé que je vais décrire.

Le mercure est introduit dans une grande cornue de verre qui doit être remplie tout au plus jusqu'au tiers de la hauteur de la panse : la cornue est chauffée lentement dans un four à réverbère ; le mercure distillé est recueilli dans une capsule contenant de l'eau. L'appareil est disposé comme pour l'essai des minerais de mercure, et l'opération est conduite à très-peu près de la même manière. On conduit très-lentement la distillation du mercure et la cornue n'est portée au rouge sombre que lorsque la distillation paraît être complète.

L'argent reste dans la panse de la cornue, soit sous forme de culot, si l'on a chauffé un peu fortement dans les derniers moments, soit sous forme de pellicules ou de lamelles adhérentes à la paroi, lorsque la température n'a pas été élevée jusqu'au point de fusion de l'argent. Dans tous les cas, on remarque à la partie supérieure de la panse, et jusqu'à la naissance du col des pellicules d'argent. Elles proviennent des globules d'amalgame qui ont été projetés pendant la distillation, à la suite des petites explosions qui ont lieu dans la cornue, comme dans la coupelle, mais avec une force bien moindre. La distillation du mercure con-

duite avec la lenteur convenable, occasionne une perte d'argent très-faible, négligeable quand on opère sur des minerais un peu riches. Il y a deux causes de perte, l'entraînement de l'argent par les vapeurs de mercure, les projections des globules liquides, lancés par les petites explosions jusque dans le col de la cornue.

Lorsque la distillation est terminée, on coupe le col de la cornue aussi près que possible de la panse : on peut même couper la panse à la partie supérieure, lorsqu'il n'y a pas de pellicules d'argent adhérentes. On pulvérise la cornue dans un mortier de fonte en ajoutant 100 grammes de litharge, 5 grammes de charbon de bois et 100 grammes de carbonates alcalins (mélange en parties égales de carbonate de potasse et de carbonate de soude). On fait chauffer lentement dans un creuset de terre jusqu'à fusion tranquille. Après refroidissement du creuset, on sépare de la scorie le culot de plomb qui contient l'argent, et on passe le plomb à la coupelle. Pour le minerai choisi comme exemple, contenant 9 grammes d'argent, on a obtenu un bouton d'argent pesant $9^g,95$. L'excès du rendement sur la teneur indiquée par l'essai est donc d'environ 10 p. 100.

La fusion avec la litharge, le charbon et les réactifs alcalins occasionne une perte notable d'argent, lorsque l'opération n'est pas conduite avec la lenteur convenable. Si on chauffe un peu trop rapidement, il se forme du silicate d'argent qui n'est pas ensuite complétement décomposé par le charbon et par le plomb métallique. On ne parviendrait même pas à le décomposer complétement en introduisant une lame de fer dans les matières en fusion. Alors même que l'opération est bien conduite, la scorie retient encore un peu d'argent. On peut s'en assurer en pulvérisant la scorie, la mélangeant avec 100 grammes de carbonate de soude et 2 grammes de charbon, puis en recommençant la fusion et la coupellation du culot de plomb : on obtient toujours un petit bouton d'argent.

La coupellation elle-même occasionne toujours une perte d'argent.

On doit donc trouver un nombre trop faible pour le poids de l'argent en ne tenant pas compte de l'argent de la litharge, car les pertes faites dans toutes les opérations sont certainement supérieures à la quantité très-faible (4 ou 5 milligrammes) d'argent que renferment les 100 grammes de litharge employés pour la fusion de la cornue. Du reste, les causes de perte sont nombreuses, leur importance varie avec l'habileté de l'opérateur et on ne peut les considérer comme à peu près négligeables que dans le traitement des minerais riches. Pour les minerais pauvres les nombres obtenus à la coupellation sont incertains.

Observations sur l'amalgamation.

L'amalgamation prise dans son ensemble présente deux difficultés principales :

1° La combinaison avec le mercure de la totalité de l'or et de l'argent contenus à l'état métallique dans les minerais grillés ;

2° La réunion de la totalité des amalgames dans le mercure liquide.

La première de ces deux difficultés ne peut être surmontée que par l'emploi convenablement raisonné des appareils d'amalgamation. La condition essentielle est de produire le contact intime et prolongé du mercure avec tous les grains du minerai. En petit, dans un laboratoire, il n'est pas facile de satisfaire à cette condition ; au contraire, dans les usines, on arrive assez facilement au résultat désiré, en employant des meules verticales d'un poids un peu fort, ou bien en se servant des *pans* dont l'emploi s'est généralisé en Californie.

Il est bien plus difficile de résoudre complétement la seconde partie du problème et la difficulté est encore bien

plus grande au laboratoire que dans les usines. On n'arrive à dissoudre dans le mercure les amalgames très-divisés qu'en mettant très-longtemps en contact avec du mercure peu ou point divisé toutes les parties des boues qui contiennent les amalgames en grains très-petits. Au laboratoire, on n'atteint ce résultat qu'à force de patience : dans les usines on est obligé de soumettre les boues à une véritable préparation mécanique. On a proposé dans ces dernières années plusieurs procédés ou artifices pour faciliter l'amalgamation et la dissolution des amalgames, dans le mercure liquide ; quelques-unes de ces inventions ont même acquis une vogue passagère. Je n'ai pas l'intention de les décrire parce qu'aucune d'elles n'est employée dans le traitement des minerais d'or et d'argent par la vapeur d'eau. Je dois seulement exposer les résultats des expériences que j'ai faites pour constater l'influence exercée sur l'amalgamation par la présence de différents corps; les huiles, la chaux, les amalgames divers.

INFLUENCE DES HUILES.

J'ai expérimenté sur un certain nombre d'huiles différentes; elles se comportent toutes de la même manière : il suffira d'exposer les résultats que j'ai obtenus avec l'huile de pétrole brute. C'est elle qui serait employée en Amérique de préférence à toutes les autres si les effets étaient susceptibles d'application industrielle. J'ai dû employer pour l'amalgamation le mortier de porcelaine et non pas les meules verticales : ce dernier appareil aurait présenté trop de difficultés pour le nettoyage après chaque expérience. Dans le but d'obtenir des résultats directement comparables, j'ai opéré sur le même mélange de pyrite aurifère peu arsenicale, grillée sous le moufle et de minerai d'argent antimonial et blendeux : les deux minerais étant employés en parties égales. J'ai traité ce mélange en plusieurs fois par la vapeur surchauffée, au-dessous du rouge sombre, en poussant l'action de la vapeur jusqu'à cessation du dégagement de l'acide sulfureux. Tous les minerais grillés ont été mélangés avec soin par longue trituration dans un mortier. J'ai obtenu de cette manière une matière parfaitement homogène dont j'ai déterminé la teneur en or et en argent par un essai spécial. J'ai soumis cette matière à l'amalgamation sous les meules, et j'ai constaté un rendement de 2 p. 100 d'or et d'argent, supérieur d'environ 11 p. 100 à la teneur accusée par l'essai.

J'ai fait sur des portions égales de cette matière, pesant chacune 25 grammes, les expériences suivantes.

Première expérience. — Je triture dans un mortier de porcelaine et pendant six heures effectives avec 25 grammes de mercure ; la trituration est faite pendant trois heures à sec, pendant trois heures avec 30 p. 100 d'eau, quantité suffisante pour donner à la matière la consistance d'une pâte ferme. Le bouton d'argent et d'or pèse $0^{g},40$. J'obtiens ainsi moins d'or et d'argent que par l'amalgamation sous les meules ; mais la fraction des métaux précieux obtenue est assez grande pour que l'influence de l'huile sur l'amalgamation soit bien évidente.

Seconde expérience.—Je répète l'opération sur 25 grammes de matières, avec 25 grammes de mercure ; après six heures de trituration à sec et avec de l'eau, j'ajoute 10 grammes d'huile de pétrole, et je continue à triturer pendant six heures. Dès que l'huile a été ajoutée, le mercure se réunit en petits globules très-brillants. J'obtiens $0^{g},410$ d'argent et d'or ; c'est-à-dire presque rigoureusement la même quantité que dans la première expérience. Il n'y a pas eu formation d'amalgames pendant les six heures de trituration, après l'addition d'huile.

Troisième et quatrième expériences.—Je recommence les opérations avec les mêmes poids de minerai et de mercure, en triturant deux heures à sec, deux heures avec de l'eau et ensuite deux heures à sec, deux heures avec de l'eau et

six heures après addition de 10 grammes d'huile. J'obtiens dans les deux cas 0g,30 et 0g,305 d'argent et d'or. La conclusion est la même que pour la seconde expérience ; il ne s'est pas formé d'amalgames depuis l'addition de l'huile.

Cinquième expérience. — Je fais une pâte un peu consistante avec 25 grammes de minerai grillé et 10 grammes d'huile ; j'ajoute 25 grammes de mercure et je triture dans le mortier pendant six heures effectives. Le mercure se divise assez bien en petits globules très-brillants. Après la trituration, la réunion du mercure se fait avec la plus grande facilité ; mais à la distillation il ne reste dans la cornue aucune trace d'or et d'argent.

Il n'y a pas eu formation d'amalgames.

Ces expériences démontrent que l'addition d'une quantité assez grande d'huile arrête l'amalgamation : il restait à démontrer qu'une quantité d'huile très-faible produit le même résultat.

Sixième expérience. — Je répète la première expérience en ajoutant avant de mettre le mercure, quelques gouttes d'huile. Je n'obtiens dans la cornue après distillation du mercure qu'une pellicule presque impondérable de métaux précieux. Il est donc bien démontré que l'huile s'oppose à la formation des amalgames, alors même qu'elle est en quantité extrêmement faible. Il faut éviter soigneusement le contact de l'huile avec les matières pendant toute la durée de l'amalgamation. J'ai pu constater dans toutes mes expériences que l'huile facilite beaucoup la réunion du mercure et peut-être cette propriété pourra-t-elle trouver une application utile dans l'industrie. Mais il faut bien faire attention que l'huile ne doit être employée dans ce but, faciliter la réunion du mercure, que lorsque la formation des amalgames est complète.

INFLUENCE DE LA CHAUX.

J'ai déjà indiqué précédemment l'influence très-fâcheuse qu'exerce le calcaire, lorsqu'il est en proportion un peu forte, dans le traitement par la vapeur d'eau. Il est partiellement décomposé alors même que la température est constamment maintenue au-dessous du rouge sombre : l'hydrate de chaux qui se produit empâte les minerais et s'oppose aux réactions. Dans l'amalgamation, la chaux exerce également une influence défavorable. J'ai pu le constater par un assez grand nombre d'expériences, mais il me paraît inutile d'insister longuement sur ce point, car le résultat auquel je suis arrivé est en concordance parfaite avec les faits observés depuis bien des années dans plusieurs ateliers d'amalgamation.

La présence de la chaux, en proportion notable, 10 p. 100 et au delà, ne s'oppose pas à la formation des amalgames ; elle paraît même la rendre plus prompte en favorisant la division du mercure ; mais à la fin de l'opération, lorsqu'on cherche à réunir les amalgames dans le mercure, on éprouve de grandes difficultés : la perte de mercure est toujours fort notable. La perte des métaux précieux est à peu près proportionnelle à la perte du mercure. Le mercure et les amalgames très-divisés sont entraînés par l'eau pendant le lavage des boues ; on n'arrive pas à un rendement convenable en or et en argent en soumettant successivement les boues deux ou trois fois à l'amalgamation. Les cendres de combustibles végétaux produisent le même effet, mais à un degré moindre.

INFLUENCE DES MÉTAUX.

Depuis quelques années on a proposé de se servir d'une proportion un peu variable mais toujours faible d'amalgame de sodium pour faciliter l'amalgamation. J'ai dû faire un

assez grand nombre d'expériences pour constater l'influence que l'addition de cet amalgame, à divers moments de l'opération, peut exercer sur la rapidité de l'amalgamation et sur la perte des métaux, mercure, or et argent. Je me suis servi de l'amalgame de sodium, qui est employé dans quelques usines américaines : il est solide, cassant, terne à la surface et d'un gris un peu bleuâtre.

J'ai préparé d'abord un poids un peu considérable de minerai d'or et d'argent, d'une teneur assez élevée, mélangé avec des pyrites de fer grillées sous le moufle, et traité ensuite, par la vapeur surchauffée, avec toutes les précautions possibles. J'ai rendu la matière parfaitement homogène par une longue trituration dans un mortier. Chacune des expériences a été faite sur 25 grammes de cette matière. J'ai déterminé le rendement à l'amalgamation en opérant dans l'appareil à meules. Je n'indique pas ici les proportions relatives de l'or et de l'argent, parce que les deux métaux se sont comportés de la même manière dans mes expériences.

Le rendement à l'amalgamation a été de 2 p. 100 d'or et d'argent.

Première expérience. — Je soumets à l'amalgamation dans un mortier de porcelaine 25 grammes de minerai grillé à la vapeur surchauffée en employant 20 grammes de mercure : j'opère pendant quatre heures à sec et pendant quatre heures en présence de l'eau. Je retire du mercure un bouton d'or et d'argent pesant $0^{g},40$. Le rendement est les $\frac{80}{100}$ de celui que j'obtiens sous les meules en poussant l'amalgamation pendant tout le temps nécessaire. Le résultat obtenu en huit heures dans le mortier est bien suffisant pour permettre d'apprécier l'influence de l'amalgame de sodium.

Seconde série d'expériences. — Je répète l'expérience dans les mêmes conditions avec la seule différence qu'après les huit heures de trituration avec le mercure dans le mortier, j'ajoute 1 gramme de l'amalgame de sodium. Le mercure se rassemble avec plus de facilité ; mais le rendement est le même que celui de la première expérience.

Je répète les opérations en faisant varier seulement la proportion de l'amalgame de sodium : j'arrive toujours au même résultat : le mercure se rassemble avec une grande facilité, mais le rendement en or et en argent ne varie pas sensiblement. Les poids des boutons sont compris entre $0^{g},38$ et $0^{g},42$.

Troisième série d'expériences. — Opérant toujours sur 25 grammes de minerai traité par la vapeur surchauffée et 20 grammes de mercure, je fais la trituration dans le mortier pendant quatre heures à sec et pendant quatre heures en présence de l'eau. Mais dans cette seconde période, de la trituration j'introduis 1 gramme d'amalgame de sodium, après la première heure, après la seconde et après la troisième. Dans toutes ces expériences, le mercure se réunit avec facilité, mais les boutons d'argent et d'or obtenus sont notablement plus faibles que dans les premières expériences. La diminution dans le rendement est d'autant plus grande que l'amalgame de sodium a été ajouté plus tôt pendant la trituration.

L'amalgame étant ajouté après la première heure, j'obtiens un bouton d'or et d'argent pesant de $0^{g},30$ à $0^{g},33$.

L'amalgame ajouté après la seconde heure, le bouton d'or et d'argent pèse de $0^{g},34$ à $0^{g},35$.

L'amalgame étant introduit après la troisième heure, le bouton d'or et d'argent pèse de $0^{g},35$ à $0^{g},37$.

La perte de mercure est sensiblement nulle dans toutes les opérations.

CHAPITRE III.

MÉTHODE MÉTALLURGIQUE. — APPAREILS.

Le principe du nouveau procédé de traitement des minerais d'or et d'argent consiste à obtenir ces deux métaux précieux à l'état métallique et dans des conditions telles que les matières puissent être utilement soumises à l'amalgamation directe.

La question est résolue théoriquement par le grillage à la vapeur d'eau appliqué à un mélange en proportions convenables de pyrite et de minerai. L'objection pratique est l'énorme consommation de vapeur et la durée correspondante du grillage.

Cet obstacle est levé en partie par l'emploi de la vapeur surchauffée. Cependant la consommation de vapeur est encore très-grande et la durée du grillage est très-longue, en sorte que le procédé ne peut être utilement appliqué qu'à un certain nombre de minerais riches.

Enfin, la solution économique du problème a été atteinte en utilisant encore l'action de la vapeur surchauffée, mais en remplaçant, dans le mélange, la pyrite crue par de l'oxyde de fer ou de la pyrite de fer préalablement grillée à l'air.

Cependant il ne faut pas oublier que l'emploi des réactifs oxydants comporte deux exceptions (*) : d'une part le chlorure d'argent, de l'autre les cuivres gris desquels on cherche à retirer le cuivre après avoir extrait l'argent

(*) Voir chapitre II, page 48.

et l'or. Ces deux minerais doivent être soumis à la formule de traitement précédemment décrite (*).

Nous ne reproduirons ici que la formule applicable au cas général ; nous ne reviendrons pas sur les réactions déjà exposées, mais nous insisterons au contraire sur les appareils propres à assurer le succès des principales opérations.

Nous admettrons en outre que les usines peuvent se procurer à des prix modérés les pyrites aurifères, qui, après grillage, serviront de réactif oxydant, de préférence au minerai de fer stérile en métal précieux.

La série des opérations est alors :

1° Grillage à peu près complet des pyrites en grand tas, en cases, ou bien dans des fours à réverbère chauffés à la houille, au lignite, à la tourbe ou au bois ;

2° Pulvérisation et mélange intime des pyrites grillées avec les minerais d'or et d'argent ;

3° Grillage par la vapeur d'eau surchauffée des minerais d'or et d'argent, mélangés avec les pyrites grillées ;

4° Amalgamation directe sans intervention d'aucun réactif ;

5° Séparation de l'amalgame d'avec les boues ;

6° Compression de l'amalgame ;

7° Distillation du mercure ;

8° Fonte des métaux précieux.

PREMIÈRE OPÉRATION.

Grillage des pyrites.

Le grillage partiel ou à peu près complet des pyrites est une opération bien connue en métallurgie et je ne propose pour l'effectuer aucun appareil nouveau. On peut

(*) Voir Chapitre II, page 49.

adopter dans chaque localité suivant les circonstances le mode de grillage qui paraît le plus convenable et le plus économique parmi les procédés employés dans les différents pays pour le grillage des minerais pyriteux et des mattes.

Le but qu'il s'agit d'atteindre est d'oxyder à peu près complétement les sulfures contenus dans les pyrites, en évitant autant que possible la formation des sulfates et par conséquent en limitant convenablement, pendant toute la durée de l'opération, l'arrivée de l'air sur les pyrites. On doit apporter une grande attention à ne pas élever la température notablement au-dessus du rouge sombre, afin de conserver à l'or et à l'argent contenus dans les pyrites la faculté de s'amalgamer avec facilité.

J'ai déjà spécifié que le grillage peut être fait en grands tas, en cases ou dans des fours à réverbère. Je donne, mais seulement comme exemple dans les *fig.* 1 et 2, Pl. II, la disposition d'un four à réverbère chauffé au bois, dans lequel on peut griller en vingt-quatre heures jusqu'à 4 tonnes de pyrites, en deux charges.

La *fig.* 1 est la coupe verticale suivant l'axe du four;

La *fig.* 2 est la coupe horizontale faite un peu au-dessous du niveau du pont.

La sole en briques placées debout, présente une surface plane et horizontale de 4 mètres de long sur 3 mètres dans la plus grande largeur.

Le chargement des pyrites est fait par les quatre portes *a*, *a*, *a*, *a*, ou bien par une trémie placée au-dessus de la voûte, si cette disposition paraît plus convenable. Les quatre portes servent aux râblages pendant la durée du grillage et au déchargement lorsque le grillage est terminé. Les flammes partant du foyer F suivent la voûte et arrivent dans la cheminée *c*, élevée d'environ 8 mètres, par les conduits *m*, *m*.

Le tirage du four est réglé par un registre placé en haut

de la cheminée et par le mur *n* en briques qui ferme le cendrier : ce mur est percé d'ouvertures rectangulaires fermées par des portes mobiles dans des coulisses.

L'espace voûté V sous la sole, peut servir à recevoir les pyrites grillées; on n'a pas représenté dans les *fig.* 1, 2 les dispositions bien connues qui permettent d'utiliser l'espace V pour cet objet. Presque tous les directeurs d'usines trouveront qu'il est plus simple de faire tomber les pyrites grillées directement dans les brouettes en tôle, qui serviront à leur transport immédiat au magasin.

L'opération est conduite à peu près comme le grillage des minerais de cuivre pyriteux à Swansea (Angleterre). Le four étant à une température un peu plus élevée que le rouge sombre, la charge de deux tonnes de pyrites est introduite par les portes et par la trémie, et étalée uniformément sur la sole. Les pyrites s'échauffent et brûlent à la surface au contact des flammes oxydantes. Le feu est poussé lentement; l'arrivée de l'air par le mur *n* est réglée de telle manière que la combustion ne produise pas l'agglomération des pyrites. A des intervalles réguliers, d'heure en heure, les ouvriers travaillent les pyrites avec le râble et la spadelle, afin de renouveler les surfaces en contact avec les gaz oxydants, d'écraser les grumeaux et de régulariser les progrès de l'oxydation. A mesure que l'oxydation est plus avancée, le feu est poussé un peu plus activement et l'air est admis en plus grande quantité. Le grillage est considéré comme terminé lorsque la charge a pris une teinte rougeâtre dans toutes ses parties et lorsque le dégagement d'acide sulfureux est devenu presque insensible à l'odorat. Il faut environ douze heures pour que ce résultat soit obtenu. On procède alors au déchargement et on introduit une nouvelle charge.

SECONDE OPÉRATION.

Pulvérisation et mélange des pyrites grillées avec les minerais.

La proportion de pyrites qu'il convient d'employer doit varier : 1° avec la perfection du grillage des pyrites; 2° avec la composition des minerais d'or et d'argent; 3° avec les conditions spéciales de chaque usine. Chaque directeur d'usine devra la fixer en ayant égard aux prix d'achat, à la teneur en or, aux frais de transport et aux autres conditions économiques, en tenant compte du but qu'il s'agit d'atteindre pour le mélange des pyrites grillées avec les minerais d'or et d'argent : le but est de rendre plus rapide l'action de la vapeur d'eau (troisième opération). Dans tous les cas, il est essentiel que le mélange des minerais avec les pyrites grillées soit parfaitement intime. Il faut que le mélange soit fait en même temps que la pulvérisation des minerais (ou même après cette pulvérisation si les minerais sont amenés tout pulvérisés à l'usine) sous des meules verticales, sous les pilons d'un bocard ou dans tout autre appareil donnant le même résultat.

TROISIÈME OPÉRATION.

Grillage par la vapeur d'eau surchauffée.

Le traitement par la vapeur d'eau surchauffée des minerais d'or et d'argent mélangés avec une proportion convenable de pyrites préalablement grillées peut être conduit de la manière et dans les appareils mentionnés chapitre II, § 2, pages 53 et 57. Mais le four à réverbère est avantageusement remplacé par le four à rotation représenté Pl. II, III et IV.

FOUR A ROTATION.

J'ai cherché à reproduire en grand l'appareil qui m'a servi au laboratoire, en éliminant l'inconvénient grave de l'impossibilité de râbler pendant l'opération; en même temps j'ai pu réduire l'intervention de l'ouvrier aux manœuvres indispensables : conduite du feu, chargement et déchargement.

Dispositions générales. — Le minerai est chargé dans un cylindre horizontal en fonte ou en tôle (feuilles boulonnées) de 1 mètre de diamètre et de 3m,50 à 4 mètres de longueur, disposé dans un four chauffé au bois, à la houille, etc. A l'intérieur le cylindre est armé de cannelures; à l'extérieur il est entouré par trois bagues très-épaisses, formant autant de poulies à gorges qui portent sur des galets en fer : chaque bague roule sur une paire de galets, en sorte que le cylindre, pendant sa rotation, est soutenu en son milieu et à ses extrémités (*).

Les bases du cylindre sont en dehors des parois du four et portent des couronnes dentées engrenant avec des pignons calés sur un arbre parallèle aux génératrices du cylindre.

Le mouvement est donné à l'arbre par une machine, et la vitesse de rotation réglée selon le degré de finesse des matières.

Les flammes surchauffent d'abord la vapeur et enveloppent ensuite le cylindre de façon à porter les matières à la température convenable pour l'action de la vapeur d'eau; enfin, elles se rendent dans la cheminée un peu élevée qui reçoit aussi les prodnits sortant du cylindre.

La vapeur surchauffée arrive par une des bases du cylindre et l'excès s'échappe par l'autre avec les produits

(*) L'expérience a montré que pour les dimensions ci-dessus, on pouvait se contenter des deux paires de galets extrêmes.

volatils. La Pl. IV donne l'ensemble de l'appareil représenté par trois coupes et une élévation.

Les dimensions indiquées dans les figures s'appliquent à un cylindre en fonte dans lequel on peut charger jusqu'à 500 kilogrammes de minerai ; le foyer et ses portes sont disposés pour le cas où le combustible est le bois.

Il sera facile aux directeurs d'usines de modifier selon leurs besoins les dimensions du cylindre et de disposer, s'il y a lieu, le foyer en vue d'un combustible minéral.

La *fig.* 1 est une coupe horizontale du four, suivant la ligne 3, 4, 5, 6 de la *fig.* 2. Le cylindre y est tracé en projection.

La *fig.* 2 représente la coupe verticale du four suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 1.

La *fig.* 3 est une coupe transversale faite selon la ligne 7, 8 de la *fig.* 1.

Enfin l'élévation *fig.* 4 montre le four du côté de la prise de vapeur.

Les détails de construction sur lesquels je reviendrai ci-après sont contenus dans la Pl. II, *fig.* 3 à *fig.* 8, et dans la Pl. III.

Description du four : maçonnerie et cylindre. — Le bois est chargé par la porte P dans le foyer F.

Les flammes sont divisées par le mur *e* qui s'élève jusqu'à la voûte du four ; elles descendent sous le cylindre C, remontent de l'autre côté pour gagner les 4 carnaux *b*, et se réunissent dans le canal horizontal *a*, qui les conduit à la cheminée B.

La vapeur arrive du générateur par le tuyau V, passe dans le deuxième tuyau V′ et sort du four par le troisième tuyau V″. Ce dernier est recourbé à l'extérieur du four et vient se réunir dans le manchon A avec le tuyau *y* fixé au cylindre.

Par son passage dans les trois tuyaux, entièrement entourés par les flammes du foyer, la vapeur acquiert une

température assez élevée. Il serait d'ailleurs bien facile de la surchauffer davantage en plaçant deux tuyaux sur la paroi verticale du foyer, côté du pont. Quel que soit le nombre des tuyaux chauffés par les flammes, il sera utile de placer les coudes en dehors de la maçonnerie, ainsi que cela est indiqué dans la *fig.* 1, pour le cas des trois tuyaux seulement.

La maçonnerie est forcément interrompue parallèlement au cylindre et de chaque côté, au-dessus de son axe : elle est maintenue par des plaques de fonte dont la disposition est indiquée *fig.* 2 et 3 (*). Les deux parois du four correspondant aux deux bases du cylindre sont fermées par des plaques de fonte, maintenues par quatre fortes armatures. Le four est couvert au-dessus du cylindre par des plaques de tôle formant voûte, et renforcées par des armatures. Le cylindre est en fonte ou en tôle. Les figures jointes au mémoire se rapportent à un cylindre en fonte : la disposition d'un cylindre en tôle présenterait des différences tellement faibles qu'il est inutile de la tracer dans des planches spéciales. Le cylindre est fondu en deux pièces qui sont assemblées par l'anneau extérieur *m*, *fig.* 8, Pl. II.

On voit dans la coupe *fig.* 5, Pl. II, que le cylindre porte à l'intérieur huit cannelures saillantes et quatre autres à l'extérieur. Les cannelures intérieures règnent sur toute la longueur du cylindre : elles servent à forcer le minerai à changer de place dans la rotation lente du cylindre : elles sont destinées, conjointement avec le mouvement de rotation, à produire l'effet des râblages des minerais élaborés dans les fours à réverbère.

Les cannelures extérieures ne sont utiles que près des trois anneaux *m*, *m′*, *m″*. Ces anneaux sont entaillés, en

(*) Les détails de construction de ces plaques et de toutes les armatures du four sont figurés dans la Pl. III et décrits dans la légende.

correspondance, de manière qu'avec les cales on puisse rendre parfaitement solidaires les anneaux et le cylindre.

Les anneaux sont munis de rebords et portent sur les trois paires de galets g, g', g''. Les galets et leurs axes de rotation sont en fer : les supports sont en fonte.

Les deux bases du cylindre sont fixées par des boulons. L'une d'elles E porte le tuyau par lequel arrive la vapeur surchauffée. Elle est munie de deux portes de chargement et de déchargement (*fig.* 3, Pl. II).

La seconde base E' (*fig.* 6, Pl. II) porte le tuyau de sortie qui se rend dans la cheminée. Une porte π est ménagée dans ce tuyau afin de permettre à l'ouvrier de reconnaître la nature des gaz qui se dégagent sous l'action de la vapeur. La paroi de la cheminée est percée d'une ouverture circulaire garnie en fonte et d'un diamètre un peu plus grand que celui du tuyau, afin que ce dernier puisse tourner librement avec le cylindre.

Mécanisme moteur. — Le mouvement est imprimé au cylindre à l'aide de deux roues dentées R, R', placées à l'extérieur du four, et fixées sur le cylindre de la même manière que les anneaux m, m', m''. Ces roues sont commandées par les deux pignons r, r' (*fig.* 1 et 2, Pl. IV), fixés sur un axe au-dessus du cylindre et à l'extérieur du four. L'axe est porté par deux supports en fonte aux deux extrémités du four et par un troisième support encastré dans la maçonnerie de la cheminée. La bobine motrice H est fixée sur l'arbre à proximité de la base E' du cylindre. La rotation du cylindre a donc lieu sur les galets par l'effort des roues dentées : d'après la disposition indiquée la rotation a lieu nécessairement autour de l'axe de figure du cylindre. Le mouvement doit être très-lent et doit varier, du reste, avec le degré de ténuité des minerais. Dans les cas les plus ordinaires, le cylindre ne fera guère que de 20 à 30 révolutions par heure.

Entrée de la vapeur. — L'arrivée de la vapeur dans le

cylindre exige une disposition spéciale. Il faut que la vapeur passe sans perte du tuyau fixe du surchauffeur dans le tuyau tournant de la base du cylindre : il faut de plus que l'air extérieur ne puisse pas entrer dans ce dernier tuyau, appelé par le mouvement de la vapeur. Le but peut être atteint par des dispositions diverses. Je propose la solution qui est tracée en coupe dans la *fig.* 4. Pl. II. V'' est le tuyau fixe qui reçoit la vapeur du surchauffeur ; y est le tuyau tournant avec le cylindre.

Le tuyau y est un peu évasé à son extrémité et entoure, avec un jeu d'au moins $0^m,01$, l'extrémité du tuyau V'' ; ses bords bien polis frottent contre la surface verticale de l'oreillette o fondue avec le tuyau V''. L'assemblage des deux tuyaux est entouré par la boîte en fonte A. La boîte est boulonnée d'un côté avec l'oreillette annulaire c, fondue avec le tuyau fixe V''. De l'autre côté, la boîte porte un rebord annulaire B', dont la surface extérieure, très-légèrement conique, est polie avec soin. Le rebord présente une ouverture assez grande pour le passage de l'évasement du tuyau y. Ce dernier est entouré à frottement dur par un manchon M, dont le rebord présente la forme conique correspondante à celle du rebord B'. Lorsque les deux tuyaux sont en place, on pousse le manchon M au contact du rebord B'. Il n'y a plus alors pour la sortie de la vapeur surchauffée, comme pour la rentrée de l'air extérieur, que des joints extrêmement faibles. Pour plus de sûreté, on fait arriver dans la boîte A, par le tuyau t, de la vapeur prise dans la chaudière de la machine motrice. La boîte A est portée par un bâti en fonte, laissant passage pour le ringard de l'ouvrier, lors du chargement et du déchargement du cylindre.

Description du travail. — Chaque opération est divisée en trois périodes : chargement, action de la vapeur, déchargement.

Première période, chargement. Le cylindre est arrêté dans la position qu'indique la *fig.* 4, Pl. IV. Les deux portes P'. P'.

sont ouvertes. Le minerai est chargé par une trémie qui n'est pas représentée dans les figures parce que sa disposition n'offre rien de particulier : une plaque de tôle mobile conduit le minerai de la trémie dans le cylindre par la porte P'. En même temps, un ouvrier armé d'un râble pousse le minerai jusqu'au fond du cylindre et régularise son épaisseur. On ferme alors les deux portes.

Seconde période, action de la vapeur. On met le cylindre en mouvement, en le faisant tourner de gauche à droite, c'est-à-dire dans le sens du mouvement des flammes passant sous le cylindre : on fait arriver la vapeur en quantité telle qu'elle prenne dans le cylindre un mouvement lent. On pousse le feu de manière à porter le cylindre tout au plus au rouge sombre. L'action de la vapeur commence bientôt et on peut la suivre en ouvrant l'orifice O (*fig.* 1 et 2, Pl. IV) de la cheminée. Le temps nécessaire pour compléter le grillage est variable avec la nature des minerais traités. On reconnaît que le grillage est terminé aux caractères suivants : 1° en regardant par l'ouverture O de la cheminée, on ne voit plus de vapeur jaune sortir du cylindre, on perçoit une odeur à peine sensible; 2° en introduisant par la porte π du tuyau de sortie un papier imprégné d'un sel de plomb (acétate de plomb par exemple), le papier n'est plus noirci sensiblement.

Troisième période, déchargement. Le grillage étant terminé, on arrête l'arrivée de la vapeur. On arrête le cylindre dans la même position que pour le chargement. On ouvre les deux portes P',P'. L'ouvrier, à l'aide d'un râble, fait tomber le minerai soit sur le sol, soit dans les brouettes en tôle qui servent à le transporter à la place de dépôt.

En résumé, le four à rotation présente le grand avantage d'économiser le combustible et la main d'œuvre; il assure d'une manière absolue l'exclusion de l'air; la vapeur d'eau surchauffée peut seule agir sur le minerai.

QUATRIÈME OPÉRATION.

Amalgamation.

Tous les appareils qui ont été employés jusqu'ici dans les usines peuvent être appliqués à l'amalgamation des minerais grillés à la vapeur d'eau. La seule condition essentielle à réaliser est que le mercure puisse être divisé en particules très-fines et mis en contact intime et prolongé avec tous les grains du minerai grillé.

Dans les expériences qui ont été faites au Mexique on a employé les tonnes tournantes en bois. En Californie on s'est servi des *pans*, et les résultats ont été très-bons; l'amalgamation est faite avec assez de rapidité et sans perte de mercure. L'appareil présente cependant un inconvénient : le mouvement de rotation est trop rapide. L'une des conditions les plus essentielles d'une bonne amalgamation, la durée du contact du mercure avec les grains du minerai, ne se trouve pas réalisée.

L'effet utile de l'appareil n'est dû qu'à la multiplicité des contacts, et il faut quelquefois traiter de nouveau les résidus d'une première amalgamation pour dissoudre dans le mercure la totalité de l'or et de l'argent contenus à l'état métallique dans les minerais grillés.

Les meules verticales tournant dans une auge annulaire m'ont paru l'outil le plus propre à réaliser les conditions d'un bon travail; j'ai adopté la disposition représentée planches V et VI.

MEULES VERTICALES.

Voici les principaux avantages que présentent les meules verticales : possibilité d'opérer sur un poids considérable de minerai; travailler à volonté à sec, ou en présence de l'eau; diviser plus ou moins le mercure; exercer par le

poids des meules une pression prolongée qui rend l'amalgamation rapide et complète.

Disposition générale. — Elle se rapproche beaucoup de celle qui est adoptée maintenant pour le broyage des terres, etc. Les dimensions de l'appareil et le nombre des meules peuvent varier suivant l'importance des usines. L'appareil figuré Pl. V et VI comporte quatre meules et pourrait traiter en une fois plus de 3 tonnes de minerais grillés.

Les minerais et le mercure sont mis dans une auge annulaire M, dont le fond est horizontal, et l'on fait rouler avec plus ou moins de lenteur les meules verticales R. R'. R''. R'''. reliées par des bras à un axe vertical S. Le mouvement est transmis à l'arbre à l'aide de l'engrenage conique T, placé au-dessous de la sole. Cet engrenage pourra être placé, si on le juge convenable, au-dessus de tout l'appareil. L'axe vertical sera alors plus long, ce qui n'offre pas un bien grave inconvénient.

Au même axe vertical S sont liés, par quatre bras *a*,*b*,*c*,*d*, les couteaux en tôle A,B et les râteaux C,D. Le rôle des couteaux est de ramener constamment sous les roues les matières qui sont portées dans les angles de l'auge annulaire. Les rateaux servent à diviser et à séparer de la sole de l'auge les matières écrasées par les roues.

Tous les ingénieurs qui auront à appliquer les meules verticales à l'amalgamation, comprendront aisément, d'après la description et les planches, les modifications très-simples qu'ils devront apporter à la construction dans le cas où ils jugeraient convenable de n'employer que deux ou trois meules, une seule paire de couteaux et un seul rateau.

La *fig.* 1, Pl. VI est une projection horizontale.

La *fig.* 1, Pl. V est une coupe verticale faite suivant l'axe.

Les détails de construction des couteaux, des rateaux, de

l'axe des meules et de l'orifice de déchargement sont complétés par les autres figures.

Détails des diverses parties de l'appareil. — L'axe vertical S est supporté en bas par un coussinet dont la disposition ne présente aucune particularité; il est dirigé vers le haut par un coussinet vertical, soutenu par le système de charpente que représente le dessin *fig.* 1, Pl. V, ou par toute autre disposition équivalente qui pourra paraître préférable dans chaque usine.

La grande roue dentée conique T, engrène avec un pignon F fixé sur l'arbre qui reçoit directement le mouvement de la machine motrice. Le rapport des diamètres des deux roues dentées dépend de la vitesse du mouvement que la machine motrice transmet à l'arbre horizontal. La vitesse de rotation de l'axe vertical S doit varier d'un tour à quatre tours au plus par minute. Les résistances que doit vaincre l'axe vertical étant considérables, il faudra toujours donner à la roue dentée T un très-grand diamètre et aux dents une très-grande solidité.

Au-dessus du coussinet vertical, l'axe vertical S est à section rectangulaire et porte les deux boîtes en fonte G, H., dans lesquelles sont fixés les bras *a.b.c.d.* des couteaux et des râteaux, et les bras des quatre roues verticales.

Les bras des couteaux et des râteaux sont immobiles dans la boîte G : ils sont reliés entre eux par les tirants *a'*, sortes de barres d'atelage, qui doivent être assez solides pour s'opposer à toute flexion des bras.

L'assemblage des bras des quatre roues verticales dans la boîte H est un peu différent, ainsi que le représente les *fig.* 1, Pl. V et *fig.* 2 et 3, Pl. VI. Il faut que les roues puissent rouler sur des matières d'épaisseur variable, et par conséquent il est indispensable que les bras puissent prendre une inclinaison de quelques degrés. L'effort à produire par la boîte H sur les bras et par les bras sur les roues

étant considérable, ces pièces doivent être construites avec beaucoup de solidité. Les bras sont reliés entre eux par les tirants a'' qui s'opposent à leur flexion tout en permettant les variations dans l'inclinaison des bras.

Les quatre meules sont cylindriques et tout à fait pareilles : elles ont 25 centimètres de largeur de jante et 2 mètres de diamètre : elles sont liées aux bras absolument de la même manière que les roues d'une charrette sont réunies aux essieux. Elles peuvent être faites en bois avec jante en fer, ou bien entièrement en fonte, ou bien partie en bois et partie en fonte : on pourrait même les faire en pierres dures avec la jante en fer. Le seul point essentiel est que les roues soient cylindriques et d'un poids un peu considérable, d'environ 1.000 kilogrammes pour chaque roue. Dans leur mouvement autour de l'axe S les roues doivent parcourir des chemins différents. Les distances des bords intérieurs des roues au cercle qui limite l'auge à l'intérieur sont de $0^m.15$, $0^m.40$, $0^m.65$, $0^m.90$. La roue la plus éloignée de l'axe vertical S est encore assez écartée des bords extérieurs de l'auge pour que les matières entraînées par la roue retombent dans l'auge elle-même et non pas à l'extérieur. Les couteaux A, B sont en forte tôle : leur liaison avec les bras a et b est indiquée par les *fig.* 2, 3 et 4, Pl. V.

La disposition des râteaux C, D et leur liaison avec les bras sont identiques à celles des couteaux. Chaque râteau porte de douze à quatorze dents tranchantes fixées sur une lame de tôle un peu inclinée, rasant la sole de l'auge.

La disposition de l'auge exige des explications un peu plus détaillées. L'auge se compose d'une sole horizontale annulaire et de deux rebords inclinés, l'un à l'extérieur, l'autre à l'intérieur. Elle est construite sur une maçonnerie très-solide : la surface horizontale de la maçonnerie qui supporte l'auge doit être dressée avec le plus grand soin.

La sole est formée de plaques de fonte très-épaisses : les

lignes des joints sont dirigées suivant les rayons partant du centre de l'axe vertical S. Les assemblages sont à recouvrement, et les joints sont assez serrés pour que les matières les plus fines ne puissent pas passer sous les plaques. La surface de la sole doit être assez bien dressée pour que les couteaux et les râteaux ne rencontrent pas d'obstacles à leur mouvement de rotation.

Le rebord intérieur peut être en fonte ou en tôle forte. Il est appuyé contre la maçonnerie et il est assemblé par recouvrement avec les plaques de fonte de la sole.

Le rebord extérieur a 40 centimètres environ de hauteur verticale au-dessus de la sole ; il est formé par des plaques de fonte réunies entre elles par des oreillettes et des boulons. Ces plaques sont assemblées par recouvrement avec les plaques de fonte de la sole, comme l'indique la *fig.* 1, Pl. V. De plus, le tout est maintenu en serrage par le cercle I composé de plusieurs segments dont on peut faire varier la tension à l'aide de boulons et d'écrous. Chaque plaque de rebord est munie d'une nervure extérieure qui s'appuie sur le cercle de fer.

La porte de déchargement est une plaque de fonte P, mobile dans deux rainures, et formant, quand elle est en place, la continuation du rebord extérieur de l'auge. Elle est appuyée extérieurement par des armatures qui soutiennent en même temps le canal de sortie des matières Q. Le canal est à volonté en tôle ou en fonte ; il est incliné à 15 ou 20°. Les matières sortent de l'auge en suspension dans l'eau ; elles tombent dans la cuve en bois R_1 assez grande pour retenir le mercure et portant un robinet en bois à la partie inférieure. Le fond de la cuve présente une inclinaison régulière vers le robinet. L'eau entraînant les matières divisées, sort de la cuve par le canal en bois U et se rend dans les appareils destinés à recueillir les dernières parties du mercure. La cuve en bois R_1 est fermée par un couvercle percé d'une ouverture à rebords u. Ces rebords

empêchent les projections des matières qui sont amenées à l'auge par le canal en fonte ou en tôle.

Description du travail.

Je dois distinguer deux cas :

1° Les minerais sont portés à l'amalgamation tels qu'ils sortent des fours et par conséquent ils sont *secs;*

2° Il est nécessaire de traiter par l'eau les minerais grillés à la vapeur surchauffée avant de les porter à l'appareil d'amalgamation : les minerais sont *mouillés.*

I. — Minerais secs.

Le travail est divisé en trois périodes :

1° *Travail à sec.* — On charge sur la sole annulaire la quantité de minerais qu'il est convenable d'amalgamer en une opération avec la quantité de mercure nécessaire, soit trente à quarante parties de mercure pour une partie d'or et d'argent. La hauteur des minerais étendue sur la sole est de 10 à 15 centimètres. On doit chercher, en chargeant le mercure, à le diviser comme cela se fait dans l'ancienne amalgamation au patio. Le chargement étant fini, on met les meules en mouvement, en leur donnant une vitesse de un à deux tours par minute. On reconnaît bien facilement si la vitesse de rotation est convenable à l'aspect du mercure au bout de deux heures. Le mercure doit être divisé à tel point qu'on ne distingue plus de globules. Le mercure est à l'état de poussière presque impalpable, réparti dans toute la masse du minerai. On fait tourner pendant environ deux heures, à partir du moment où le mercure est arrivé à cet état de division. La première période dure donc ainsi de trois à cinq heures, en général quatre heures.

2° *Trituration avec un peu d'eau.* — On mouille progressivement les matières en lançant l'eau avec des pommes d'arrosoirs, sans arrêter les meules mais en les

faisant tourner avec plus de lenteur. On reconnaît que la quantité d'eau est suffisante au caractère suivant. Les matières étant à l'état de pâte coulante, le mercure apparaît en petits globules brillants, mais reste divisé. Avec une quantité d'eau plus grande, aussi bien qu'avec une quantité plus faible, le mercure se réunit facilement en globules et même en masses. L'expérience indiquera très-promptement quelle quantité d'eau il faut employer et quelle vitesse de rotation il faut donner aux roues pour chaque minerai spécial. On fait alors tourner pendant sept ou huit heures, en ajoutant de temps en temps un peu d'eau, pour que la matière reste au degré de consistance reconnu nécessaire pour le maintien de la division du mercure.

3° *Réunion du mercure et dissolution de l'amalgame.* L'amalgamation des métaux précieux est alors terminée : en général, il reste à réunir le mercure et à lui faire dissoudre les amalgames d'or et d'argent qui ont été formés. On fait arriver dans l'auge de l'eau en quantité suffisante pour que les matières forment une sorte de bouillie très-liquide ; on fait tourner les roues très-lentement pendant environ trois heures. On procède enfin au déchargement.

4° *Déchargement.* — On fait tourner les roues très-lentement et on soulève peu à peu la porte P, de manière que les matières s'écoulent avec la lenteur convenable dans la cuve en bois R_1, et de là dans le canal en bois U. On force toutes les matières à passer par la cuve et on nettoie parfaitement toutes les parties de l'appareil d'amalgamation en se servant d'une lance d'eau. Quand ce lavage de l'appareil est terminé, on remet la porte en place et on peut procéder à une nouvelle opération. La majeure partie du mercure, tenant les amalgames en dissolution, se trouve réunie dans la cuve avec une certaine quantité de minerai et d'eau. En décrivant l'opération du débourbage nous indiquerons comment il faut procéder à la reprise du dépôt de cuve.

II. — Minerais mouillés.

Il est quelquefois nécessaire de laver les minerais grillés à la vapeur surchauffée, avant de les soumettre à l'action du mercure. Dans ce cas le travail comprend seulement les deux dernières périodes. La première période que je peux appeler la trituration à sec se trouve supprimée. Il faut alors augmenter un peu la durée de la seconde période et la porter à neuf ou dix heures. Le mercure se divise un peu plus lentement que dans l'amalgamation des minerais secs, mais cette difficulté est compensée par une durée plus longue de l'action du mercure en présence de l'eau.

A part cette différence, le travail est conduit comme je l'ai indiqué dans les pages précédentes.

CINQUIÈME OPÉRATION.

Séparation du mercure d'avec les boues.

L'opération exige des soins minutieux, parce qu'une portion notable du mercure et des amalgames reste très-divisée et ne se dissout que lentement dans le mercure liquide.

Description des débourbeurs. — Les boues, après avoir traversé la cuve et le canal en bois, arrivent dans de grands cylindres débourbeurs. Ces cylindres ont 2 mètres de diamètre et 2 mètres de hauteur; ils sont percés de trous équidistants alignés suivant une génératrice et fermés par des tampons de bois; le trou inférieur est muni d'un robinet en bois vers lequel tend l'inclinaison du fond de la cuve.

Au centre de la cuve cylindrique se trouve un axe vertical armé de bras en fer recourbés. Ces bras sont fixés à des manchons en fonte reliés eux-mêmes à l'axe moteur.

La rotation est juste assez rapide pour maintenir les matières fines en suspension et laisser tomber les parties lourdes.

Les cylindres, au nombre de deux, sont employés successivement.

Les eaux boueuses, au sortir du cylindre, se rendent par des canaux aux bassins de dépôt. Les canaux sont en bois, à fond incliné, et présentent de nombreux ressauts dans lesquels s'arrêtent les parties les plus lourdes, c'est-à-dire celles qui contiennent encore quelques grains de mercure ou d'amalgame.

Travail. — Malgré les soins apportés dans le déchargement de l'appareil d'amalgamation, il est impossible de régler avec précision l'écoulement des matières, comme quantité et proportion d'eau dans la cuve, les débourbeurs et les canaux. On parvient cependant à retenir dans les débourbeurs la presque totalité des boues, et il n'y a guère que les parties les plus fines qui soient entraînées jusqu'aux bassins de dépôt. C'est là certainement une cause de perte du mercure et de l'amalgame dont les parcelles très-divisées sont soumises, vers la fin du nettoyage, à l'action d'un fort courant d'eau.

Dans la cuve, se trouve au fond presque tout le mercure tenant en dissolution les amalgames; au-dessus du mercure reste une certaine quantité de boues, on fait couler le mercure par le robinet inférieur que l'on ferme avant l'arrivée des boues. La petite quantité de mercure restant dans la cuve se réunit au produit semblable de l'opération suivante.

Le mercure a été reçu dans des vases dont la forme a peu d'importance, mais dont le volume répond à la facilité du transport. On sèche et on nettoie la surface du métal qui est prêt pour la distillation.

Dans les débourbeurs, le travail est asse long. La charge traitée sous les meules doit être divisée également entre les deux cylindres: pour 100 p. de mercure déjà em-

ployé à l'amalgamation, on ajoute de 10 à 12 p. de mercure neuf dans chacun des débourbeurs; on met les bras en mouvement avant l'arrivée des boues et on maintient la rotation avec une vitesse convenable.

Au bout d'une heure, on enlève le tampon du trou supérieur et laisse écouler les boues légères aux canaux et de là aux bassins de dépôt.

On remet le tampon, remplit le débourbeur avec de l'eau claire et accélère un peu le mouvement de rotation. Une heure après, on fait couler le liquide boueux en enlevant le tampon du second trou, etc...

En continuant à procéder de la sorte, on arrive à faire sortir presque toutes les boues et à ne laisser à la surface du mercure qu'une couche très-peu épaisse des boues les plus lourdes.

Au bout d'un certain temps, un mois par exemple, on fait écouler le mercure qui s'est accumulé dans le cylindre et on le transporte alors à la distillation.

Dans les canaux, le travail consiste à favoriser l'entraînement par l'eau des matières fines qui s'y déposent; on agite très-légèrement la surface avec un balai à brins fins.

Les parties denses se réunissent dans les ressauts, on peut achever de les traiter de deux manières :

Ou bien on ajoute du mercure liquide et on le laisse longtemps en contact avec ces matières lourdes;

Ou bien on retire ces matières, on les fait sécher et par compression avec du mercure, on obtient assez bien les amalgames.

Les bassins de dépôt doivent avoir une surface de 100 mètres quarrés et une profondeur de $1^{m}.50$; il faut au moins deux bassins semblables travaillant alternativement. La vidange se fait à la pelle, et l'ouvrier jette les matières le long des bords des bassins : une certaine quantité de mercure se trouve mise en évidence : le mercure visible dans le bassin est facilement recueilli; celui qui se trouve

dans les boues déjà extraites s'écoule dans des rigoles disposées à cet effet.

Les boues, ou *tailings*, ne doivent être définitivement jetées qu'après essai; les matières sont hétérogènes et il importe de ne repasser à l'amalgamation que les parties qui ont une teneur assez élevée; il est donc nécessaire de multiplier les prises d'essai et les essais.

SIXIÈME OPÉRATION.

Compression du mercure.

La compression du mercure peut être faite absolument comme dans toute autre méthode d'amalgamation. Je me bornerai à indiquer le procédé suivi en Amérique et à rappeler celui qui était en usage à Huelgoet.

En Amérique on emploie de très-longs sacs en toile suspendus au-dessus de cuvettes destinées à recevoir le mercure qui traverse la toile. La compression est donc très-faible et ne se produit que par le poids des matières elles-mêmes. L'amalgame retenu dans le sac est encore liquide : cependant le mercure écoulé entraîne toujours un peu d'amalgame.

A Huelgoet, le mercure était placé dans un cylindre en fonte, percé à sa base inférieure d'une ouverture conique : celle-ci était fermée par une rondelle de bois. A l'aide d'une presse hydraulique on arrivait à faire traverser les pores du bois par le mercure, tandis que l'amalgame restait dans le cylindre. Dans l'application le mercure pouvait encore entraîner un peu d'amalgame; les rondelles de bois sont rarement saines et présentent souvent des fentes qui, même très-petites et presque invisibles, peuvent, sous l'influence de la pression considérable exercée ici, laisser passer un peu d'amalgame en même temps que le mercure.

L'amalgame entraîné n'est pas perdu; il reste en roule-

ment dans les opérations ultérieures, mais j'ai prouvé par des expériences de laboratoire que le mercure contenant une certaine quantité d'amalgame ne se comporte pas dans l'amalgamation aussi bien que le mercure parfaitement pur.

Il serait donc préférable de renoncer à la compression et de distiller directement tout le mercure aurifère et argentifère.

SEPTIÈME OPÉRATION.

Distillation.

La distillation du mercure se fait comme dans les autres usines existantes. On emploie des cornues en fonte, avec un tuyau recourbé qui débouche à une faible distance au-dessus d'un récipient contenant de l'eau.

Il est important de chauffer doucement pour que le mercure n'entraîne pas d'or ni d'argent, et de maintenir le rouge sombre de façon à expulser tout le mercure, mais de ne pas le dépasser, car on prévient par ces soins la fusion des métaux précieux et leur adhérence aux parois de la cornue.

HUITIÈME OPÉRATION.

Fonte.

Les métaux précieux retirés de la cornue doivent être fondus dans des creusets de plombagine, puis coulés dans des lingotières.

Les lingots peuvent alors être soumis aux essais qui déterminent leur teneur réelle en or et en argent, c'est-à-dire leur valeur commerciale.

SOMMAIRE.

Pages

INTRODUCTION. 1

I. — Filons aurifères : 1° Filons quartzeux, aurifères. 3

2° Filons quartzeux et pyriteux, aurifères. 3

II. — Filons argentifères. 5

Procédés d'amalgamation : 1° Patio. 6

2° Amalgamation à chaud. 7

3° Amalgamation directe par les pans. 7

4° Amalgamation par le sel. 8

CHAPITRE PREMIER. 13

§ I. — EXPÉRIENCES DE LABORATOIRE. 13

Expériences de M. Regnault. 13

Expériences de M. Cumenge. 14

1° Traitement pour cuivre. 14

2° Traitement pour argent. 16

Expériences de laboratoire. 18

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES FAITE PAR LA VAPEUR D'EAU NON SURCHAUFFÉE.

Sulfures simples naturels et artificiels. 19

— Pyrites, blende, galène, antimoine sulfuré, argent sulfuré, argent chloruré, minerais très-quartzeux, minerais à gangue calcaire.

— Sulfure de zinc, sulfure de plomb, sulfure d'étain, sulfures d'arsenic et d'antimoine, chlorure d'argent.

Sulfures complexes : Cuivre gris, pyrite arsenicale, sulfure d'antimoine avec blende. 28

Observations et résumé. 29

SECONDE SÉRIE D'EXPÉRIENCES FAITE PAR LA VAPEUR D'EAU SURCHAUFFÉE.

Pyrite de fer, blende, sulfure d'antimoine avec blende, cuivre gris. . 31

Conclusions. 35

TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES FAITES PAR LA VAPEUR D'EAU SURCHAUFFÉE ET AVEC ADDITION D'OXYDE DE FER OU DE PYRITE GRILLÉE.

Pages.

Pyrite de fer (pyrite en trop faible proportion ou mal grillée), (pyrite bien grillée en trop forte proportion), pyrites arsenicales, blende, sulfure d'antimoine avec blende, cuivre gris. 36
Résumé et formule de traitement. 48

§ II. — EXPÉRIENCES EN GRAND. 51

PREMIÈRE SÉRIE D'ESSAIS.

Essais faits en Californie, mais dans de mauvaises conditions; causes d'insuccès. 52

SECONDE SÉRIE D'ESSAIS.

Essais faits en Californie dans de meilleures conditions. 56
Conclusions. 58

CHAPITRE II. — Procédé de traitement au laboratoire. 60

1° *Mélange du minerai avec la pyrite grillée*. 60
2° *Traitement par la vapeur surchauffée*. 61
3° *Amalgamation* : I. Amalgamation; II. Réunion de l'amalgame dans le mercure liquide; III. Séparation du mercure d'avec les boues. . . . 63
4° *Opérations complémentaires*. 68

Observations sur l'amalgamation. 71

Influence des huiles, de la chaux, des métaux.

CHAPITRE III. — Méthode métallurgique et appareils. 78

1° Grillage des pyrites à l'air libre. 79
Four à réverbère pour ce grillage.
2° Pulvérisation et mélange des pyrites grillées avec les minerais. . . . 82
3° Grillage par la vapeur d'eau surchauffée. 82
Four de grillage à rotation.
4° Amalgamation. 89
Meules verticales pour l'amalgamation.
5° Séparation du mercure d'avec les boues. 96
6° Compression du mercure. 99
7° Distillation. 100
8° Fonte des métaux précieux. 100

LÉGENDE.

PLANCHE I.

Fig. 1, appareil pour le grillage à la vapeur surchauffée. A, chaudière en cuivre; *a*, niveau d'eau; *a'*, trou pour le remplissage; *n*, tuyau en plomb; B, tube en fer pour le surchauffage; *m*, manchon en laiton; C, tube en terre réfractaire; D, allonge.
Fig. 2, nacelle.
Fig. 3, 4 et 5, meules d'amalgamation; *fig.* 3, élévation donnant l'ensemble du mécanisme; *fig.* 4, une coupe horizontale suivant la ligne XY de la *fig.* 3; *fig.* 5, une coupe de l'auge et vue par bout d'une meule. BB, bras soutenant les étriers extérieurs AA; D, renflement de l'axe vertical portant les étriers intérieurs; *gg*, couteaux des meules; *cc* et *c'c'*, couteaux de l'auge; *r*, râteau.

PLANCHE II.

Fig. 1 et 2, four à réverbère pour le grillage des pyrites à l'air; *fig.* 1, coupe verticale suivant la ligne 1-2 de la *fig.* 2; *fig.* 2, coupe horizontale suivant 3-4 de la *fig.* 1, c'est-à-dire un peu au-dessous du pont,
Fig. 3 à 8, détails du four de grillage à rotation : *fig.* 3, base E, côté de l'avant, c'est-à-dire de l'entrée de la vapeur et des portes P'P', pour le chargement et le déchargement; *fig.* 4, coupe de l'extrémité du cylindre de la disposition pour l'entrée de la vapeur; *fig.* 5, coupe transversale du cylindre faite en avant d'une paire de galets; *fig.* 6, projection de l'extrémité E', côté de l'arrière, c'est-a-dire de la cheminée; *fig.* 7, vue du bout de l'appendice cylindrique; *fig.* 8, assemblage des deux moitiés du cylindre, avec poulie à gorge *m*.

PLANCHE III.

Détails du mécanisme, de la prise de vapeur et des armatures.
Mécanisme. Fig. 1, 2 et 3, paliers sur arceaux soutenant l'arbre moteur aux extrémités du four; *fig.* 36 et 37, palier logé dans le bâti de la cheminée; *fig.* 16, 17, 18, galets en fer; *fig.* 19, 20 et 21, paliers portant les galets; *fig.* 13, 14, 15, plaques sur lesquelles posent les paliers; *fig.* 38, 39, plaques protégeant latéralement les paliers contre l'action des flammes; *fig.* 40, 41 et 42, 43, plaques de protection posées dans le sens de l'axe du cylindre.
(*Nota* : les *fig.* 18, 20, 14, 42, 43, se rapportent aux galets du milieu qui sont épais que ceux des extrémités.)

Prise de vapeur. *Fig.* 50, 51, cadre en fonte pour le passage des trois tuyaux de vapeur; *fig.* 22, 23, bâtis portant le tuyau V″ et la boîte A pour l'entrée de la vapeur dans la partie mobile de l'appareil.

Armatures. *Fig.* 28, 29, 30 et 31, plaques de garde tenant les maçonneries à chaque extrémité du four; *fig.* 44, 45, 46, 47, 48, 49, plaques maintenant l'ouverture longitudinale au-dessus du cylindre; *fig.* 32, 33, 34 et 35, plaques posées verticalement et tenant les pieds-droits à l'arrière des galets (la *fig.* 32 représente les plaques du milieu); *fig.* 26, 27, armatures extérieures; *fig.* 4, 5, 6, 7 et 8, porte du foyer; *fig.* 9, 10, 11 et 12, porte du cendrier; *fig.* 24 et 25, cadre avec entrée cylindrique pour l'accès dans la cheminée des produits volatils sortant du cylindre.

PLANCHE IV.

Fig. 1. Coupe horizontale du four suivant la ligne 3-4-5-6 de la *fig.* 2 : le cylindre est représenté en projection horizontale; *fig.* 2, coupe verticale suivant la ligne 1-2 de la *fig.* 1; *fig.* 3, coupe transversale suivant la ligne 7-8 de la *fig.* 1; *fig.* 4, élévation du côté de la prise de vapeur.

PLANCHE V.

Meules verticales tournantes pour l'amalgamation.

Fig. 1, coupe verticale montrant la disposition d'ensemble; *fig.* 2, 3 et 4, couteaux : la *fig.* 4 est une élévation des couteaux prise d'arrière, la *fig.* 2 est une projection verticale du couteau qui frotte sur le rebord de l'auge, la *fig.* 3 est une projection semblable du couteau le plus voisin du centre de rotation; *fig.* 5, 6, 7 et 8, râteaux : la *fig.* 5 est une élévation d'un râteau prise d'arrière, les *fig.* 6, 7 et 8 sont les armatures respectives α, β, γ déterminant l'obliquité de la direction du râteau sur celle des rayons de l'auge (voir *fig.* 1, Pl. VI); *fig.* 9 et 10, disposition d'un moyeu de meule et du bout de bras faisant essieu.

PLANCHE VI.

Fig. 1, projection horizontale de l'ensemble; *fig.* 2 et 3, mode d'assemblage des bras dans la boîte en fonte H; *fig.* 4 et 5, boîte G recevant les petits bras *a*, *b*, *c*, *d* qui amènent les râteaux et les couteaux; *fig.* 6, 7 et 8, détails d'une dent de râteau.

EXTRAIT DES TRAVAUX

EXÉCUTÉS AU LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL DE CHIMIE DE MÉZIÈRES (ANNÉES 1867 ET 1868).

Par M. E. NIVOIT, ingénieur des mines, et M. LÉTRANGE, ingénieur civil.

Analyses.

§ I. Substances utiles a l'agriculture.

1° *Nodules de chaux phosphatée.* — Les nodules de chaux phosphatée des sables verts, dont l'agriculture fait un si grand emploi depuis quelques années, sont exploités très-activement dans le département des Ardennes. On n'évalue pas à moins de 12 millions de kilogrammes la quantité extraite annuellement dans les cantons de Grandpré, Tourteron et Novion-Porcien.

Ces matières, improprement appelées *coprolithes*, ne sont autre chose que des concrétions de formation postérieure à celle du terrain qui les renferme et résultant de l'agglomération de diverses parties de ce terrain par un ciment phosphaté. On y trouve en effet des sables verts, des coquillages, des grains de quartz, de glauconie et d'oxyde de fer.

Pour déterminer la composition des nodules, quelques personnes emploient une méthode très-simple qui consiste à attaquer la matière par un acide très-étendu, de manière à laisser insoluble la majeure partie de l'argile et de la silice, à ajouter de l'ammoniaque dans le liquide filtré et à considérer comme phosphate de chaux tout le précipité obtenu. Cette méthode a l'avantage d'être très-rapide, mais elle est loin d'être exacte, car elle fait compter comme phosphate l'oxyde de fer, l'alumine et la silice en dissolution dans l'acide; de plus, le précipité renferme toujours un peu de carbonate de chaux. Pour un essai commercial, on pourrait bien négliger l'erreur résultant de la présence de l'alumine, de la silice et

du carbonate de chaux, qui ne sont jamais qu'en assez faible proportion dans le précipité. Il n'en est pas de même de l'oxyde de fer, que certains nodules renferment en très-forte proportion.

Il n'y a qu'un procédé exact, c'est celui qui consiste à doser directement l'acide phosphorique. On ne sait pas au juste dans quel état de combinaison se trouve cet acide; mais il est hors de doute qu'il y en a une partie combinée au fer et à l'alumine.

Nous avons dosé l'acide phosphorique de deux manières différentes : tantôt en suivant la méthode indiquée par Rivot (*Traité de docimasie*, tome II, page 252), tantôt en suivant la méthode de Frésénius (*Traité d'analyse quantitative*, traduit par Forthomme, page 880).

Dans le premier procédé, on attaque par l'acide nitrique la matière pulvérisée, on évapore à sec, on calcine légèrement et on reprend par l'acide. On verse dans la liqueur filtrée un faible excès d'acide sulfurique, on évapore jusqu'à consistance sirupeuse, après quoi on ajoute du sulfate d'ammoniaque, puis de l'alcool; on précipite ainsi la chaux, le fer et l'alumine. La liqueur contient l'acide phosphorique, et quelquefois du sulfate de fer, quand l'oxyde de fer est en grande quantité dans les nodules; on sépare alors ce dernier par le sulfhydrate d'ammoniaque. Quant à l'acide phosphorique, on le dose à l'état de phosphate de magnésie.

Quand on veut suivre la méthode de Frésénius, on attaque la matière par l'acide chlorhydrique, et, dans la liqueur filtrée, on ajoute un grand excès d'acétate de soude, puis on verse goutte à goutte du perchlorure de fer jusqu'à ce que cette liqueur se colore en rouge. En faisant bouillir pendant quelques instants, on forme un précipité rougeâtre de phosphate de fer et la liqueur se décolore complétement. Comme la composition de ce précipité n'est pas constante, il faut le redissoudre dans l'acide chlorhydrique et précipiter l'acide phosphorique par le sulfate de magnésie, après avoir ajouté à la liqueur de l'acide tartrique pour retenir l'oxyde de fer.

Le premier procédé est encore le plus commode et le plus précis; il ne présente qu'un côté délicat : c'est dans l'addition de l'acide sulfurique. Si l'on n'en verse pas assez, la précipitation n'est pas complète; si l'on en verse trop, on fait passer dans la liqueur du sulfate de chaux. Mais avec un peu d'habitude on surmonte aisément cette difficulté. Aussi c'est cette méthode à laquelle nous avons donné la préférence.

L'analyse doit toujours être faite sur les nodules réduits en poudre fine entre des meules; car, comme la composition varie d'un

nodule à l'autre, ce n'est que de cette manière qu'on peut avoir une prise d'essai convenable.

Voici quelle est la composition de plusieurs échantillons de nodules de diverses provenances :

	1	2	3	4
Eau hygrométrique	3,57	4,70	5,00	7,50
Argile et sable	41,53	47,85	43,75	33,75
Oxyde de fer	2,57	2,59	2,65	2,75
Chaux	26,80	23,04	26,83	30,26
Acide carbonique	7,73	2,40	3,30	3,90
Acide phosphorique	17,80	19,42	18,47	21,84
	100,00	100,00	100,00	100,00
Phosphate de chaux tribasique correspondant	38,50	42,69	40,60	48,00

1. . . . Nodules de Novien-Porcien.
2, 3. . . Nodules de Saulces-Monclin.
4. . . . Nodules d'Auboncourt.

Sur d'autres échantillons, on s'est contenté de doser l'acide phosphorique.

	5	6	7	8	9	10
Eau hygrométrique	4,38	4,49	7,20	2,25	2,00	2,50
Argile et sable	26,00	30,10	30,00	25,00	20,00	27,00
Acide phosphorique	18,80	18,10	17,05	12,68	15,13	18,16
Correspondant à phosphate de chaux	41,20	40,00	37,67	27,65	32,98	39,22

5. Nodules de Grandpré.
6. Nodules de la ferme des Grèves.
7. Nodules de Sommerance.
8. Nodules d'Apremont.
9. Nodules de Varennes.
10. Nodules de Rémonville.

La teneur moyenne des nodules des sables verts en acide phosphorique est de 18 p. 100; cette proportion descend très-rarement au-dessous de 13 et ne dépasse pas 22.

Depuis peu de temps, on exploite une couche de nodules à la base de la *gaize* (grès vert supérieur) de l'arrondissement de Vouziers, dans la partie où cette formation est argileuse et pyriteuse. Les nodules de la gaize se distinguent principalement de ceux des sables verts en ce que leur surface est moins mamelonnée et beaucoup plus lisse; ils sont aussi plus riches en acide phosphorique. Ils paraissent d'ailleurs avoir la même origine; car nous avons remarqué des fragments de gaize empâtés dans quelques échantillons.

Voici quelle est la composition d'un échantillon provenant des environs de Grandpré :

Eau hygrométrique	1,30
Argile et sable	13,50
Oxyde de fer et alumine	7,50
Chaux	38,50
Acide carbonique	7,20
Acide sulfurique	1,00
Acide phosphorique	31,00
	100,00
Phosphate de chaux correspondant	67,68

Sur deux autres échantillons provenant tous deux d'Apremont, nous avons trouvé :

Acide phosphorique	24,25	19,62
Phosphate de chaux correspondant	52,54	42,51

On voit que la teneur peut descendre quelquefois jusqu'à 19 p. 100; mais c'est là une exception.

Enfin, dans les sables verts supérieurs à la gaize qui se trouvent au-dessous des marnes crayeuses, il existe une couche de nodules que l'on a exploitée à Sainte-Marie, près Vouziers. Cette couche est moins régulière que les autres; les nodules sont plus noirs, plus ferrugineux et se délitent très-facilement quand ils ont été exposés pendant quelque temps à l'air.

Voici quelle est la composition d'un échantillon de nodules de Sainte-Marie :

Eau hygrométrique	2,50
Eau combinée et matières organiques	7,20
Argile et sable	26,30
Oxyde de fer	12,15
Chaux	27,35
Magnésie	traces.
Acide carbonique	6,50
Acide phosphorique	18,00
	100,00
Phosphate de chaux correspondant	39,56

2° *Argiles marneuses du lias.* — Dans la partie supérieure du lias des Ardennes, il existe une couche puissante d'argile marneuse, pyriteuse et gypseuse, que l'on exploite dans un grand nombre de localités pour l'amendement des terres.

Nous avons déterminé la composition de quatre échantillons de cette matière, qui ont été pris à différents niveaux dans une marnière ouverte sur le territoire de Prix, près Mézières, et appartenant à M. Millart, avocat à Charleville.

	1	2	3	4
Perte à la calcination (eau, matières organiques et acide carbonique)	10,25	6,75	8,00	8,75
Argile	40,30	23,30	35,15	49,10
Sable quartzeux	37,30	62,00	48,00	34,00
Oxyde de fer	3,75	4,25	4,75	4,75
Chaux	5,25	1,15	2,00	2,25
Magnésie	0,50	0,60	0,60	0,50
Pyrite de fer	1,90	1,70	0,90	0,20
Acide sulfurique	0,70	0,15	0,20	0,20
Perte	0,05	0,10	0,40	0,25
	100,00	100,00	100,00	100,00

Le n° 1 provient de la partie inférieure de la marnière; le n° 4 de la partie supérieure. Ces analyses sembleraient indiquer que les pyrites et les sulfates sont plus abondants à la base de la formation marneuse que dans la région supérieure.

Ces marnes produisent de bons effets sur les terres trop calcaires ou trop sableuses des environs. Elles doivent surtout agir mécaniquement; car elles ne contiennent que des proportions assez faibles de pyrites et de sulfates. Dans d'autres localités du département des Ardennes, la même formation donne des argiles bien plus riches.

3° *Engrais du progrès.* — Deux échantillons d'un engrais, qualifié *Engrais du progrès*, ont été envoyés à deux reprises au laboratoire de Mézières, par M. Oudin, cultivateur à Villers-devant-le-Thour, pour que nous en vérifiions la composition. Nous avons obtenu les résultats suivants :

	1	2
Eau hygrométrique	11,00	14,60
Matières organiques	48,50	47,65
Sable	7,00	6,10
Chaux	10,50	9,20
Magnésie	0,20	traces.
Oxyde de fer	6,36	6,00
Chlore	0,67	traces.
Acide sulfurique	4,80	4,15
Acide carbonique	1,86	2,00
Acide phosphorique	9,11	10,30
	100,00	100,00
Azote des sels ammoniacaux fixes	0,21	1,23
Azote organique	6,23	6,55
Azote total	6,44	7,78

Nous avons dosé l'azote total en décomposant la matière par la

chaux sodée dans un tube à combustion, et l'azote des sels ammoniacaux à l'aide de l'appareil de Schlœsing.

La composition correspond entièrement au dosage indiqué par le vendeur, M. Wel.

L'échantillon n° 2 contient beaucoup plus d'azote à l'état d'ammoniaque que le n° 1; cela tient à ce qu'il est dans un état de décomposition plus avancé.

Cet engrais présente un aspect assez hétérogène; on y distingue facilement des débris de substances végétales et animales de diverse nature, et surtout des poils, des fragments d'os non encore désagrégés, etc. L'assimilation doit en être lente, si l'on en juge d'après cette composition physique et d'après les observations de M. Oudin, qui n'a obtenu qu'une faible augmentation de produits sur les terres fumées avec l'engrais du progrès, la première année de son emploi.

§ 2. Substances diverses.

1° *Calcaire hydraulique de Warcq.* — Le calcaire à gryphées arquées des environs de Charleville fournit généralement d'excellents matériaux pour la fabrication de la chaux hydraulique. Mais tous les bancs ne conviennent pas également, et il faut choisir avec soin les calcaires qui doivent être soumis à la calcination si l'on veut obtenir de bons produits.

Voici quelle est la composition de deux échantillons provenant de la carrière de Warcq, et qui nous ont été remis par M. Perrin, fabricant de chaux :

	1		2	
Eau hygrométrique	1,73		1,50	
Eau combinée et matière bitumineuse	2,30		1,10	
Sable en gros grains	1,60		16,31	
Sable fin	8,16	13,16	8,37	30,34
Silice soluble dans la potasse	3,40		5,66	
Alumine	8,10		4,03	
Oxyde de fer	3,46		2,70	
Carbonate de chaux	71,25		66,33	
Carbonate de magnésie	traces.		traces.	
	100,00		100,00	

L'analyse a été faite d'après la méthode indiquée par Rivot dans son *Traité de docimasie* (tome II, page 660).

L'échantillon n° 1 est un calcaire gris-bleuâtre mat, dur, à grain fin, à cassure lisse, d'apparence bien homogène. Il doit contenir

de l'alumine à l'état d'hydrate, car la silice n'est pas en quantité suffisante pour former de l'argile avec cette base. Ce calcaire donne par la cuisson une chaux éminemment hydraulique.

L'échantillon n° 2 ne diffère du premier qu'en ce qu'il a le grain moins fin; il ressemble assez à un grès, il est aussi plus dur. La proportion de gros sable y est très-forte; aussi il ne donne, par la calcination, qu'une chaux de qualité médiocre, difficile à employer.

Il faut, autant que possible, ne soumettre à la calcination que des calcaires à grain fin.

2° *Minerais de fer de Revin et de Fleigneux.* — Le terrain revinien de l'Ardenne est traversé par des fissures verticales ou fortement inclinées, dirigées le plus souvent dans le sens de la stratification, dans lesquelles se trouve du minerai de fer. Le même minerai remplit aussi des espèces de poches ou de cavités dont le grand axe a à peu près la même direction que les couches de schiste.

Il est évident que ce minerai est de formation postérieure à celle du schiste, et il a sans doute été amené par des sources minérales jaillissantes qui ont formé des dépôts dans les fissures du terrain et ont même imprégné les schistes d'oxyde de fer. On observe toujours au milieu de ces minerais des fragments de schiste ou de quartzite arrachés aux roches encaissantes. Ces fragments sont quelquefois même tellement nombreux, qu'en certains points ils forment une espèce de brèche à ciment ferrugineux, stratifiés par lits à peu près horizontaux (Deville, Saint-Menges, etc.).

A peu de distance de Revin, à gauche de la route qui conduit aux forges de Saint-Nicolas, on exploite un gisement important de minerai de fer de cette formation. Sur quelques échantillons provenant de la partie supérieure de la minière, nous avons remarqué des parties mamelonnées luisantes, de petits filaments ferrugineux très-délicats enchevêtrés les uns dans les autres comme de la mousse; quelques fragments sont très-celluleux, très-cariés et ressemblent assez à l'éponge. Tout cela tendrait à confirmer l'explication que nous donnions plus haut du mode de formation de ces minerais.

Un échantillon représentant la richesse moyenne des minerais de Revin nous a donné, à l'analyse, les résultats suivants :

Eau hygrométrique	2,75
Eau combinée	6,10
Silice	39,61
Pyrite de fer	0,07
Sulfate de fer et d'alumine	0,73
Alumine	6,80
Peroxyde de fer	43,85
Chaux	faibles traces.
Acide phosphorique	traces.
	99,91

Le peroxyde de fer correspond à 30,73 de fer métallique.

Nous avons recherché l'arsenic par l'appareil de Marsh; nous n'en avons pas constaté de traces.

Sur deux échantillons destinés à la fusion, nous avons simplement dosé le fer par le procédé Marguerite. Ces deux échantillons, qui paraissent représenter assez bien les limites extrêmes de richesse des minerais de Revin, nous ont donné respectivement 20,56 et 47,55 p. 100 de fer. Le premier contient de nombreux fragments schisteux; dans le second, il n'y a pas de gangue apparente.

On voit par cette analyse que le minerai de Revin est de qualité moyenne; il donne des fers métis. Mais il n'est pas très-riche et il est assez difficile à fondre; aussi on ne peut le faire entrer qu'en petite proportion dans les lits de fusion.

Le sulfate de fer et d'alumine qui a été constaté dans ce minerai provient des efflorescences salines qui se forment à la surface des schistes reviniens par la décomposition des pyrites qu'ils contiennent.

L'exploitation des minerais de Revin prend un très-grand développement. L'année dernière la production a atteint le chiffre de 20.000 mètres cubes, dont une partie a été fondue dans les hauts-fourneaux de Vireux et le reste expédié en Belgique. Le prix de revient est d'environ 5f,50 par mètre cube. On vient de découvrir dans les bois des Marquisades (Revin) un nouveau gîte qui paraît avoir une grande étendue.

Dans les bois de Fleigneux, il y a un gisement analogue à celui de Revin, inexploité actuellement. Les échantillons choisis présentent une très-grande richesse; ils paraissent formés d'hématite brune; ils sont très-durs et très-compactes. Nous donnons ci-dessous la composition de ce minerai qui a été essayé à l'usine de Neufmanil pour la fabrication de la fonte malléable; on a dû renoncer à l'employer pour revenir au minerai d'Huy (Belgique), parce qu'il est réfractaire et en outre d'un prix trop élevé.

Eau libre et combinée	5,69	
Silice	12,00	
Pyrite de fer	0,27	
Alumine	0,53	
Peroxyde de fer	79,43	correspondant à 55,08 de fer.
Carbonate de chaux	1,78	
Carbonate de magnésie	0,30	
	100,00	

On n'a constaté ni acide phosphorique, ni manganèse.

3° *Cadmies de haut-fourneau.* — Les minerais des sables verts de l'arrondissement de Vouziers et les minerais liasiques de la Meuse contiennent tous des traces appréciables de zinc et de plomb. Aussi il se forme des cadmies aux gueulards des hauts-fourneaux dans lesquels on les traite.

Nous avons analysé une cadmie provenant des hauts-fourneaux de Stenay (Meuse) d'après la méthode donnée par Rivot dans son *Traité de docimasie* (tome III, page 571).

Oxyde de zinc	89,10
Oxyde de plomb	5,91
Oxyde de fer et alumine	1,90
Chaux	0,97
Acide sulfurique	0,13
Silice	0,56
	98,57

Cette matière ne se forme pas en assez grande quantité pour donner lieu à une application industrielle.

4° *Bronze de cloche.* — Sur la demande du conseil municipal de Mézières nous avons fait l'analyse de l'ancienne cloche de cette ville, pour déterminer la valeur de l'alliage.

Nous avons pris trois échantillons : le n° 1, à la partie supérieure de la cloche ou *calotte;* le n° 2, vers le milieu du *vase* supérieur; le n° 3, à la partie inférieure ou *pince*.

Nous avons attaqué 3 grammes par l'acide nitrique étendu qui a laissé l'étain insoluble. Ce dernier a été séparé et dosé à l'état d'oxyde d'étain.

La liqueur, additionnée d'acide sulfurique, a été évaporée à sec; le résidu a été repris par l'eau et le sulfate de plomb est resté insoluble.

Nous avons traité la liqueur bouillante par l'hyposulfite de soude qui a précipité le cuivre à l'état de sulfure. Nous avons attaqué ce sulfure par l'eau régale; le soufre a été dissous par fil-

tration, et la liqueur traitée par l'acide sulfurique. Le cuivre, précipité de la liqueur par le fer à l'état métallique, a été reçu sur un filtre, lavé, séché, calciné, et enfin pesé à l'état d'oxyde de cuivre noir. Les liqueurs de lavage, qui renfermaient encore des traces de cuivre, ont été de nouveau traitées par l'hyposulfite de soude.

Dans la liqueur provenant de la séparation du sulfure de cuivre, nous avons ajouté de l'acide nitrique et nous avons chauffé à l'ébullition pour décomposer l'hyposulfite. Après filtration, nous avons versé un excès d'ammoniaque qui a précipité des traces d'oxyde de fer. Enfin la liqueur filtrée a été traitée par l'hydrogène sulfuré qui n'a produit que quelques flocons indosables de sulfure de zinc.

Nous avons pensé que l'oxyde de fer donné par l'analyse et qui s'élève à :

0,0014 pour le n° 1;
0,0014 pour le n° 2;
0,0012 pour le n° 3;

provient du burin qui a servi à réduire le bronze en limaille. Aussi nous n'en avons pas tenu compte dans la formation du tableau de l'analyse.

Nous avons ainsi obtenu les résultats suivants :

	1	2	3	Moyenne.
Etain	21,36	20,86	20,92	20,91
Plomb	2,96	2,85	2,41	2,74
Zinc	traces	traces.	traces.	traces.
Cuivre	75,68	76,29	77,07	76,35
	100,00	100,00	100,00	100,00

La composition chimique, comme on voit, varie d'une manière notable suivant les différentes parties de la cloche. La proportion d'étain diminue de la partie supérieure à la partie inférieure; il en est de même de la proportion de plomb, tandis que, par contre, la proportion de cuivre va en augmentant.

Ce résultat n'a rien d'étonnant si l'on réfléchit que le cuivre et l'étain se combinent difficilement et que leur union n'est jamais bien intime. Dans l'opération du moulage, il s'opère un commencement de liquation et l'étain tend naturellement à se rendre dans la partie supérieure du moule en vertu de sa densité plus faible. Dans le moulage des canons, on a observé un fait analogue et l'on a reconnu que la proportion d'étain diminue de la culasse à la

partie supérieure de la masselotte (Regnault, *Traité de chimie élémentaire*, tome III, page 311).

Le plomb se comporte de la même manière que l'étain; mais ici on ne peut plus invoquer la différence de densité, le plomb étant beaucoup plus dense que le cuivre. Il est probable que ce métal est entraîné par l'étain pour lequel il a une grande affinité et avec lequel il s'allie facilement.

Notre analyse donne encore lieu à une observation importante. C'est que, contrairement à ce que croient plusieurs personnes, le plomb n'a pas toujours la propriété d'assourdir le son. La cloche de Mézières avait en effet un fort beau timbre, et comme du reste toutes les anciennes cloches, elle contenait une proportion notable de plomb.

5° *Cuivre raffiné du Chili.* — Deux échantillons de cuivre raffiné du Chili qui ont été remis au laboratoire de Mézières par M. Perrin, fondeur de cloches à Mohon, ont été analysés d'après le procédé que nous venons de décrire. Nous ajouterons que, pour doser l'argent, nous avons attaqué 3 grammes de matière par l'acide nitrique, et, dans la dissolution, nous avons précipité le métal par l'acide chlorhydrique.

Voici quels sont les résultats de l'analyse :

	1	2
Cuivre	99,721	99,742
Plomb	0,204	0,132
Argent	0,030	0,016
Fer	0,045	0,110
	100,000	100,000

6° *Bronze de coussinet.* — Un échantillon de bronze, envoyé par M. Viellard-Migeon, de Morvillars (Haut-Rhin), a présenté à l'analyse la composition suivante :

Etain	21,770
Plomb	2,535
Fer	0,262
Zinc	5,879
Cuivre (par différence)	69,554
Arsenic	traces.
	100,000

Ce bronze convient parfaitement pour toutes les circonstances dans lesquelles on a besoin d'un métal de dureté moyenne. On

l'emploie pour la fabrication des coussinets destinés à servir seulement de supports intermédiaires à des arbres tournant très-vite et à s'opposer à la flexion de ces arbres. Si le métal était trop mou, il s'userait rapidement; si au contraire il était trop dur, il userait le fer et s'écaillerait par morceaux. Le zinc donne du corps à l'alliage.

MÉMOIRE

SUR LES PRINCIPAUX CHAMPS DE FILONS DE LA SAXE ET DE LA BOHÊME SEPTENTRIONALE.

Par MM. MICHEL LÉVY et CHOULETTE, ingénieurs des mines.

PREMIÈRE PARTIE.

Section I. — Aperçu général des phénomènes de soulèvement dont ces contrées ont été le théâtre.

Les terrains stratifiés qui composent la Saxe sont, à l'ouest la granulite, au centre le gneiss gris et son manteau de schistes micacés et argileux, à l'est les terrains crétacés de la vallée de l'Elbe. La formation miocène à lignites de la Bohême septentrionale vient, au sud, se heurter au pied escarpé de l'Erzgebirge; le versant nord de cette chaîne de montagnes forme au contraire de vastes plaines doucement ondulées que limitent, d'une part, les escarpements de a granulite; de l'autre, les hauteurs granitiques et porphyriques qui bordent la vallée de l'Elbe.

Ces deux soulèvements latéraux sont jalonnés par une série de petits bassins où les terrains relativement récents, grauwackes siluriennes et dévoniennes, terrains houillers, rothliegendes, se présentent régulièrement stratifiés, et servent de support à quelques lambeaux de zechstein et de grès bigarré.

Les roches éruptives les plus diverses ont sillonné de filons et de dykes d'injection les formations que nous venons d'énumérer : granites, gneiss rouge éruptif, gabbros, dio-

rites et kersantons, porphyres de tous genres, depuis le porphyre granitoïde jusqu'au pechstein et aux argilophyres trachytiques, basaltes, phonolites, sources thermales, telles sont les productions de l'ordre igné qui accompagnent et expliquent les phénomènes variés et les nombreux remplissages que présentent les filons métallifères de la Saxe.

Nous nous proposons, comme but, de rechercher l'âge géologique de ces éruptions et de ces remplissages, ainsi que les relations qui existent entre cet âge et les directions qui les caractérisent.

CHAPITRE I. — DES TERRAINS STRATIFIÉS.

§ 1. *De la granulite.* — Elle se compose d'un mélange d'orthose grenu, de mica brun, de quartz lamelleux; le feldspath domine et donne à la roche un aspect cireux caractéristique. On y trouve, par place, des lambeaux de gneiss qui lui paraissent superposés (Auerswald) (*), et des traînées d'un granite à petits grains euritiques qui affectent souvent la direction N. 50° E. (**).

La schistosité paraît, en général, parallèle à la stratification qui, par places, n'est pas douteuse; leur direction commune oscille entre N. 30° à 40° E., ou N. 120° à 148° E. La granulite ainsi plissée et recouverte de micaschistes et de schistes argileux, en discordance de stratification avec elle (Hartha), a été postérieurement soulevée, et déchirant son manteau de schistes, elle a reparu sous la forme d'une ellipse allongée, dont le grand axe serait environ dirigé N. 50° E. (***).

(*) De Bonald. *Journal des mines*, nos 226, 227 et 228. (1816).

(**) Les directions seront toujours comptées dans les deux premiers quadrants N.-E., E.-S., à partir du N. vrai et dans le sens direct.

(***) Naumann et Cotta. *Explication de la carte géologique de la Saxe.*

Les schistes, régulièrement soulevés, plongent partout vers la partie extérieure de cette ellipse; ils sont d'ailleurs parallèles à ses bords déchiquetés en tronçons rectilignes, dont les directions sont toujours l'une des trois suivantes :

N. 36° à 44° E. (Hainichen, Rochlitz).
N. 63° E. . . . (Geringswalda à Hartha).
N. 90° E. . . . (Hartha à Dobeln).

§ 2. *Du gneiss gris* (*). — Le gneiss normal de la Saxe est une roche de couleur grise nettement feuilletée, présentant en général des indices non équivoques de stratification, et qui ne se distingue des micaschistes, auxquels il passe souvent, que par une certaine abondance de feldspath. Il se compose :

a) D'un quartz grenu gris blanc;
b) D'orthose brillant blanc jaune;
c) D'un mica noir magnésien.

L'oligoklase s'y présente rarement, rouge ou verte, à éclat mat. Les minéraux accidentels sont le mica blanc potassique, la chlorite, la tourmaline noire, l'épidote, le grenat, le rutile et les pyrites.

Le gneiss gris contient en moyenne (**) 64 à 66 p. 100 de silice; il se présente en abondance aux environs de Freiberg, de Marienberg, d'Annaberg, etc.

On y observe, par place, des modifications minéralogiques profondes qui correspondent à un fait géologique important : il se transforme en gneiss rouge éruptif, et relativement récent.

Le gneiss gris a été primitivement plissé et disloqué par un puissant soulèvement N. 135° E., dont l'axe principal paraît avoir été voisin de la vallée actuelle de l'Elbe. Son

(*) Müller. *Berg und Hüttenmännische Zeitung* (1er juillet 1863).
(**) Scheerer.

action est encore visible aux environs de Tharandt, à l'est et au sud de Freiberg (Rammelsberg, Brand, Erbisdorf), et en une foule d'autres points.

Le gneiss, ainsi plissé, a été soulevé en masse par un système N. 52° E., dont l'axe passerait un peu à l'ouest de Freiberg, près Braunsdorff et Gross-Schirma. Contemporain du soulèvement de la granulite, ce système a violemment soulevé et orienté les schistes qui recouvraient le gneiss ; ces derniers courent en effet N. 52° E. le long de sa frontière occidentale, avec un plongement de 50° N.-O.; ils ont dû former ainsi entre la granulite et le gneiss une sorte de coupe profondément creusée, et toute prête à servir de bassin aux terrains stratifiés postérieurs.

Il est à remarquer qu'à l'angle N.-O. du gneiss de Freiberg, où se rencontrent les axes des deux soulèvements plus haut cités, la transition d'influence se fait sentir assez brusquement sur le gneiss, comme si ce dernier avait été surtout plissé par la direction N. 135° E., puis soulevé en masse par le système N. 52° E.

§ 3. *Des schistes micacés et argileux.*— Les micaschistes servent presque partout de couverture au gneiss ou à la granulite; ils ne diffèrent du gneiss que par leur pauvreté relative en feldspath et leur richesse en quartz.

Les micaschistes ont subi, comme le gneiss, des actions métamorphiques postérieures à leur formation et au développement de leur schistosité. Ainsi, aux environs d'Ehrenfriedersdorf, il s'est développé dans leur pâte des noyaux de feldspath orthose, souvent très-volumineux, qui ont soulevé et même déchiré les feuillets schisteux, et donnent à la roche un aspect orbiculaire.

Sur ces micaschistes reposent en général des schistes argileux plus ou moins imprégnés de quartz (Thonschiefer); leurs couches se transforment quelquefois en schistes grünsteiniques, ou passent aux grauwackes azoïques à grains fins.

Les schistes qui servent de bordure à la granulite portent surtout les traces des deux derniers soulèvements que nous avons cités plus haut N. 50° E. sur les côtés E. et O., N. 90° E. au N., N. 95° E. au S.; il semble que le violent soulèvement à 135°, qu'a subi la granulite ait été antérieur au dépôt des schistes ; le plissement à 35° paraît aussi n'avoir agi sur les schistes qu'en déviant localement le système N. 50° E. qui y prédomine. Enfin les rides très-allongées que le système N. 90° à 95° E. a tracées dans les schistes, paraissent nettement postérieures à tous les autres accidents dont nous avons fait mention.

Le long de la frontière occidentale du gneiss, les schistes sont spécialement influencés par le soulèvement à 52° (Braunsdorf, Geyer) ; cette ride se heurte au N. et au S., contre les plis à 92° dont nous avons déjà parlé.

Aux environs de Schneeberg les schistes se plissent dans la direction N. 135° E. ; cette même direction est celle du gneiss du N.-E. (environs de Tharandt) ; il semble que le soulèvement N. 135° E., qui a plissé la granulite et le gneiss, soit antérieur au mouvement de même direction, qui a agi sur les schistes près de Schneeberg et de Tharandt ; nous verrons plus loin que c'est à des cassures de même direction qu'il faut rapporter les grands épanchements de granite ancien, certainement postérieurs aux schistes en question; le soulèvement N. 135° E. paraît donc avoir eu des retentissements pendant une longue période de temps.

Il serait cependant antérieur aux systèmes N. 50° E. et N. 92° E.; le plissement à 135° des schistes de Schneeberg vient en effet se buter contre une troisième ride E.-O., qui influence les schistes quartzeux des environs de Joachimsthal, et agit sur le relief même de la contrée. La ligne de faîte de l'Erzgebirze s'y infléchit en effet de la façon la plus remarquable.

En résumé, nous avons constaté jusqu'à présent l'influence de quatre systèmes de soulèvement bien distincts :

1° N. 35° E. Plissements de la granulite.
2° N. 135° E. Plissements violents de la granulite, du gneiss et des schistes en certains points.
3° N. 51° E. Soulèvement en masse de la granulite et du gneiss; plissements généraux des schistes.
4° N. 92° E. Rides allongées des schistes; trois zones principales : au N. de Freiberg, à la hauteur de Zwickau, aux environs de Joachimsthal.

§ 4. *Des grauwackes.* — Elles constituent une formation peu étendue, comprenant des couches azoïques, quelques couches siluriennes (cyatophyllum cespitosum) (*), et enfin une formation dévonienne (spirifer calcaratus) (**), qui sert de support au bassin houiller de Zwickau, mais dont les affleurements ne sont connus qu'imparfaitement, et seulement aux environs de Mobendorf (couches à atripa reticularis) (***).

La grauwacke est généralement à grain fin, très-quartzeuse; on y trouve des lits calcaires intercalés, et aux étages supérieurs de vraies coulées interstratifiées de grünsteins éruptifs.

La partie inférieure de cette formation paraît en concordance avec les Thonschiefers sur lesquels elle repose; certaines couches (environs de Riechberg) sont nettement influencées par la direction N. 92° E. Enfin un violent soulèvement N. 59° E. très-localisé, et dont les terrains houillers nous permettront de déterminer l'âge, a redressé et même renversé les grauwackes supérieures.

§ 5. *Terrains houillers et rothliegendes.* — Les terrains houillers de la Saxe se sont déposés, comme nous l'avons indiqué plus haut, soit dans le dernier plissement à 135°, qui précède et longe la vallée de l'Elbe (bassin de Plauen), soit dans l'enfoncement à 51°, très-rétréci vers le N., qui

(*) Naumann et Cotta.
(**) Geinitz. *Bassins houillers de la Saxe.*
(***) Naumann et Cotta.

sépare la granulite du gneiss gris (Ebersdorf-Hainichen-Frankenberg, Flöha-Gükelsberg, Zwickau).

Ils se composent de conglomérats, grès, schistes et couches de houille que l'on peut diviser en cinq zones (*), différentes par la flore qui les caractérise :

1° *Zone des lycopodiacées*, correspondant au culm de Silésie, de Thuringe et du Nassau, et en partie au millstone-grit (?). Elle comprend en Saxe les terrains houillers d'Hainichen-Ebersdorf-Frankenberg.

2° *Zone des sigillaires*, correspondant aux houilles maigres de Westphalie, et comprenant : *a*) les couches houillères inférieures de Flöha-Gükelsberg, qui sont en certains points directement superposées aux précédentes; *b*) la couche dite Planitzer à Zwickau; *c*) les lambeaux anthraxifères des environs de Brandau et d'Altenberg (?).

3° *Zone des calamites*, correspondant aux principaux bassins houillers de l'Europe, couche dite Russkohl à Zwickau.

4° *Zone des annulariés*, principaux bassins houillers de l'Europe : *a*) bassin de Plauen en Saxe; *b*) couches dites Neukohl et Schichtenkol à Zwickau; *c*) grès supérieurs de Flöha.

5° *Zone des fougères*, couches supérieures de Zwickau.

Le rothliegendes recouvre la plus grande partie de ces bassins houillers. Ses assises sont partout horizontales dans les bassins occidentaux ; à l'est le bassin de Plauen a été légèrement plissé par un soulèvement récent N. 127° E., qui a exhaussé le massif porphyrique, dès longtemps épanché, dont fait partie l'Eichberg près Potschappel. Ce plissement, qui intéresse certainement le rothliegendes, n'empêche pas de constater une légère discordance de stratification entre les couches houillères et le rothliegendes, d'une part, entre le rothliegendes inférieur et le supérieur, de l'autre.

(*) Geinitz.

Le terrain houiller de Zwickau est à peu près horizontal dans son ensemble; il est cependant en légère discordance de stratification avec le rothliegendes qui le recouvre plus horizontalement encore.

De grandes failles N. 130° E. ont sillonné les bassins houillers de Plauen et Zwickau, intéressant à coup sûr le rothliegendes inférieur, et probablement le supérieur. Nous citerons ici : *a*) le faisceau du *rother ochs*, près Potschappel, qui, avec une direction N. 127° E. et un plongement de 45° à 70° E., rejette les couches de 100 à 150 mètres vers l'est; *b*) celui de Zwickau qui, dirigé N. 138° E. et plongeant vers l'ouest, a rejeté les couches de plus de 500 mètres. Ce dernier faisceau se prolonge jusqu'aux environs de Schneeberg, où le *rother Kamm*, grand filon-faille à 130° (quartz ferrugineux) le continue, séparant le granite des micaschistes et produisant un rejet qui dépasse certainement 300 mètres.

Les terrains houillers d'Hainichen-Ebersdorf-Frankenberg et les couches inférieures de Flöha-Gükelsberg (zones I et II) ont été violemment pliés et relevés dans leur partie orientale par un soulèvement à 59°, qui a amené au jour le gneiss de Mobendorf, et renversé les grauwackes, que ce gneiss sépare partout des terrains houillers d'Hainichen. Les couches supérieures de Flöha reposent horizontalement sur le tout. Plusieurs raisons nous font supposer qu'il n'y a pas lieu de confondre ce soulèvement à 59° (de Hamersdorf à Hainichen) avec le grand soulèvement à 51° qui affecte la granulite et le gneiss gris :

1° On ne retrouve pas à l'ouest du gneiss de Mobendorf, dans le bassin houiller de Hainichen, la formation grauwackeuse, et réciproquement à l'est sur la formation de grauwacke, le terrain houiller. Le gneiss de Mobendorf était donc déjà formé avant le dépôt du conglomérat de fond du bassin d'Hainichen, et a, dès l'origine, séparé ce dernier des grauwackes; ce gneiss présente souvent d'ailleurs une

schistosité orientée à 90°, et doit dater du soulèvement de même direction qui a si nettement influencé les grauwackes de Riechberg; c'est en partie (*) un gneiss rouge éruptif.

2° Or le soulèvement à 90° est plus récent que celui de la granulite auquel la grauwacke de Riechberg paraît elle-même postérieure.

3° Dans une zone aussi resserrée que celle où s'est déposé le bassin d'Hainichen, et lorsque les schistes argileux qui en forment le fond, présentent sur les bords des directions qui ne varient qu'entre 48 et 52°, on s'expliquerait mal, en admettant un seul et unique soulèvement, des écarts de direction allant à 59° et même à 90°.

4° Enfin les couches houillères d'Hainichen reposent sur un conglomérat de fond, formé de blocs volumineux de grauwackes et de grünsteins, qui attestent un mouvement violent précédant le plissement général du bassin; or l'axe du soulèvement à 90°, passant à Riechberg, expliquerait tout à la fois la production, l'âge géologique et la position de ce conglomérat de fond qui paraît n'exister qu'au nord du bassin d'Hainichen.

De ce qui précède, on peut conclure : 1° que le soulèvement N. 51° E. de la granulite et du gneiss gris a précédé le dépôt des grauwackes dévoniennes, et par suite, l'apparition du gneiss rouge de Mobendorf, qui contient des fragments de ces grauwackes et leur est postérieur (**).

2° Que l'apparition de ce gneiss rouge est à rattacher au soulèvement N. 92° E.

3° Qu'un soulèvement N. 59° E., intercalé comme âge entre la zone à sigillaires et la zone à annulariés, a poussé ce gneiss comme un coin entre les grauwackes et le terrain houiller d'Hainichen.

§ 6. *Zechstein et trias.* — Ils ne se présentent qu'en

(*) Müller. *Berg und Hüttenmännische Zeitung* (1er juillet 1863).
(**) Müller.

lambeaux isolés au S. et à l'O. de la granulite ; le zechstein se compose de lits de calcaire dolomitique. le trias s'arrête au grès bigarré. Leur intérêt consiste en ce qu'ils déterminen l'âge de quelques éruptions porphyriques et donnent un minimum pour celui de certains remplissages métallifères.

Le bassin houiller et le rothliegendes de Plauen sont traversés par des fendillettes remplies de pyrites, galène, blende brune, calcite, dolomite, barytine et gypse. Le bassin de Zwickau contient des lits de sphérosidérite dont les rognons, dans leurs fissures, présentent les mêmes minéraux. On peut assigner à leur venue un âge minimum moins reculé : ils remplissent, en effet, toutes les fentes des calcaires très-disloqués qui constituent les lambeaux de zechstein, et en imprègnent souvent les couches inférieures.

§ 7. *Terrains jurassiques et crétacés.* — Les terrains crétacés se montrent en grande formation dans la vallée de l'Elbe ; ils recouvrent aussi par place, de leurs assises horizontales, les porphyres de Tharandt. On y distingue des conglomérats et des lits calcaires (pläner) alternant avec deux puissantes formations de grès (quadersandstein).

Les terrains crétacés de l'Allemagne du nord présentent de nombreux accidents N. 160° E., qui paraissent devoir se rattacher aux grands faisceaux de filons-failles de même direction (quartz ferrugineux) qui affectent les terrains anciens de la Saxe.

Les assises généralement horizontales des terrains crétacés de la vallée de l'Elbe ne sont pas relevées par les accidents de l'Erzgebirge, N. 57° E., qui ont fortement soulevé le Trias et le Jura de la Thuringe (*) ; mais d'Oberau à Hohnstein, le long du massif granitique qui suit la rive droite de l'Elbe, ces mêmes assises ont subi un dérangement brusque des plus accentués qui, disloquant les granites anciens et renversant les couches du quadersandstein supérieur, fait apparaître au jour des lits calcaires jurassiques (*). La direction de ce grand accident est N. 115° à 120° E. ; de puissants filons quartzeux de même direction ont été signalés au S.-E. de la vallée de l'Elbe.

(*) Elie de Beaumont. *Notice sur les systèmes de montagnes.*

§ 8. *Formation miocène à lignites.* — Elle s'étend en assises horizontales au pied de l'Erzgebirge, qui regarde la Bohême. Cependant divers indices permettent de supposer que cette formation a été légèrement plissée par un vaste soulèvement à 75°, postérieur à l'apparition des cônes basaltiques qui dominent les plateaux de la Saxe. On observe, en effet, au pied même des gneiss et des schistes violemment relevés dans la direction 57°, quelques longues ondulations des couches miocènes.

Cette même formation miocène ne paraît dans les plaines de la Saxe qu'en lambeaux pris sous les cônes basaltiques, et qui se prolongent quelquefois en ellipse vers le Nord, comme s'ils avaient été protégés contre une violente érosion par ces cônes eux-mêmes. Or, la direction N.-S. des axes des parties protégées, qui constituent comme les ombres portées des cônes basaltiques, indique que le mouvement qui a amené l'érosion devait être à peu près E.-O., c'est-à-dire perpendiculaire à la direction d'écoulement des eaux. Enfin les assises d'argiles, sables et quartz roulé, d'environ 40 mètres de puissance qui constituent un lambeau miocène sous le dôme basaltique du Scheibenberg, sont coupées et rejetées à leur extrémité N. par une faille N. 80° E., dont le plongement est de 65° N. (**).

§ 9. *Résumé du chapitre* I^er^. — Si nous cherchons à résumer, au point de vue des directions, ce qui précède, nous aurons la liste suivante des soulèvements, plissements et cassures qui ont affecté les terrains stratifiés de la Saxe.

(*) Elie de Beaumont. *Ibid.* — Daubrée. *Annales des mines*, 3^e^ série, t. XVIII, p. 477. — Cotta. *Geogn. Wanderungen.*

(**) Naumann et Cotta.

1° N. 35° E. Anciens plissements de la granulite.

2° N. 135° E. Plissements de la granulite et du gneiss, dont les derniers retentissements ont affecté les schistes en certains points.

3° N. 51° E. Soulèvement de la granulite. Soulèvement général et plissements locaux du gneiss, des schistes et des grauwackes inférieures.

4° N. 92° E. Soulèvement et plissement des schistes et des grauwackes.

5° N. 59° E. Soulèvement du gneiss de Mobendorf entre l'âge de la zone à sigillaires et celui de la zone à annularlés. Plissements violents des grauwackes dévoniennes et des terrains houillers inférieurs.

6° N. 130° E. Cassures et plissements des terrains houillers et du rothliegendes. Grandes failles avec quartz ferrugineux (rother Ochs, rother Kamm).

7° N. 57° E. Soulèvement de l'Erzgebirge intéressant les terrains triasiques et jurassiques de la Thuringe, laissant horizontales les assises crétacées de la Saxe.

8° N. 160° E. Cassures des terrains crétacés du nord de l'Allemagne. Filons-failles en Saxe (quartz ferrugineux).

9° N. 117° E. Soulèvement et cassures des terrains crétacés supérieurs de la vallée de l'Elbe, entre Oberau et Hohnstein. Filons-failles quartzeux.

10° N. 75° E. Dernier soulèvement de l'Erzgebirge postérieur à la formation miocène à lignites, se terminant par une violente érosion, du sud vers le nord, sur les grands plateaux de la Saxe.

CHAPITRE II. — DES ROCHES ÉRUPTIVES.

§ 1. *Granites.* — 1° ***Environs de Meissen.*** — Le granite et la syénite paraissent en grandes masses sur la rive gauche de l'Elbe; on y distingue (*) :

M_1) Un granite ancien, à gros grains, contenant deux feldspaths : orthose rouge, oligoclase jaune; un quartz gris, un mica noir magnésien. Cassures fréquentes N.-S.

M_2) Une syénite à gros grains, en dykes et filons dans le

(*) Naumann et Cotta.

précédent, contenant beaucoup d'orthose et de hornblende, un peu d'oligoklase et de mica noir, et parfois de très-petits cristaux de zircon. Cassures fréquentes à 80°.

M_3) Un granite à grains fins, relativement jeune, en filons dans les précédents; l'orthose rose y domine; le mica est peu abondant; le quartz lamelleux a une tendance à s'orienter. Cette leptynite est en relation avec des veines irrégulières de pegmatite rosée à gros grains (Plauen). Cassures N. 45° à 50° E. et N. 90° E.

Les épanchements M_1 et M_2 constituent une longue traînée dirigée N. 135° E. On peut constater quelques exemples nets de coulée du granite et de la syénite sur les thonschiefers à peu près parallèles qui bordent ces roches au N.-O.; le soulèvement à 135° aurait donc plissé d'abord schistes et gneiss, puis les cassures de même direction auraient servi d'issue à l'épanchement granitique.

2° *Environs de Schneeberg.* — A l'ouest de Schneeberg, le double massif granitique de Kirchberg et d'Eibenstock, qui se prolonge vers le Sud jusqu'aux environs de Carlsbad, se sépare des micaschistes voisins, suivant une frontière dirigée à 135°; parallèlement à cette frontière, et noyées dans les schistes, se présentent deux traînées de petits dykes granitiques, qui se rattachent à quelques centaines de mètres en profondeur au massif principal.

L'orientation des schistes voisins (*) les montre souvent en discordance avec la frontière granitique d'Eibenstock, vers laquelle ils plongent; mais leurs directions et leurs plongements indiquent qu'ils ont été nettement soulevés et déchirés par les traînées granitiques d'Oberschlema, Aue, Schwarzenberg : l'axe de l'ellipse de soulèvement est dirigé N. 130° E.

D'ailleurs l'étude des mines des environs de Schneeberg a démontré qu'au voisinage du fond granitique, sur lequel reposent les schistes encaissants, ces derniers sont traver-

(*) Müller. District métallifère de Schneeberg. Gangstudien, 1857.

sés par un grand nombre de petits filons de granite, nettement injectés dans des cassures dont les directions oscillent entre 135° et 145°. Il est intéressant d'avoir à constater que le granite de ces petits filons est en général très-analogue à celui des grands massifs ; et que les schistes paraissent, à leur voisinage, fort peu métamorphiques et ne sont nullement transformés en gneiss.

Les mêmes observations s'appliquent au passage des micaschistes au granite d'Ober-Schlema, passage qui peut s'observer au jour : les micaschistes, dirigés à 45°, et présentant de nombreuses fentes à 140°, sont en discordance avec la frontière granitique et reposent directement sur un granite à grains fins, légèrement décomposé et verdâtre, qui passe, quelques mètres plus loin, au granite à gros grains, à mica noir. Ici c'est donc le granite qui, postérieur aux schistes, semble avoir subi une transformation à leur voisinage.

On distingue aux environs d'Eibenstock et de Schneeberg :

S_1). Un granite à gros grains contenant deux feldspaths, et un mica noir, dans lequel la tourmaline se présente fréquemment, chassant autour d'elle le mica. Il lance dans les micaschistes des ramifications et de vrais filons, et présente partout une direction moyenne N. 137° E. Ce granite présente une texture porphyroïde ; son quartz vitreux s'isole en grains grossiers; les cristaux d'oligoklase sont parfois décomposés, transformés en kaolin jaune ou verdâtre. La pinite n'y est pas rare.

S_2). On y observe par place (*) des traînées de granite plus jeune à grain fin, pauvre en mica, facilement décomposable, qui affectent volontiers une direction N. 50° E.

Le granite S_1 contient d'ailleurs de nombreuses fentes à 50°, à 90°, quelques-unes N.-S., et enfin des réouvertures violentes en forme de filons-failles à 130° et à 160°, dont il a déjà été question plus haut. Les cassures N.-S. et E.-O. sont souvent injectées par des veines de pegmatite.

*) V. Oppe. Gangstudien, 1852.

3° *Environs de Geyer et d'Ehrenfriedersdorf.* — Le granite forme aux environs de Geyer trois pointements au-dessus des micaschistes qu'il a déchirés, celui du Greifenstein et ceux du Ziegelberg et du Geyerberg.

G_1). Ces trois massifs qui se rejoignent à une faible profondeur, sont composés d'un granite à deux feldspaths, essentiellement pauvre en mica. Le mica est généralement blanc potassique.

G_2). Il passe par place au greisen à gros grains avec mica, quartz, et, comme minéraux accidentels, la topaze et la tourmaline. Le Geyerberg est, de plus, entouré à la périphérie d'un manteau mince de granite à parties très-développées (stockscheider).

Les micaschistes des environs, orientés à 50°, paraissent peu dérangés, dans leur plongement vers le N.-O. (35 à 40°), par les pointements granitiques. Ils sont cependant antérieurs à ces granites : on trouve en effet constamment dans la roche éruptive des morceaux englobés de schistes à angles aigus, séparés du granite proprement dit par une double chemise quartzeuse, puis feldspathique (*).

Il faut conclure de ce fait, et du peu de profondeur de la formation schisteuse, que son plissement à 50° est contemporain de l'éruption granitique ; d'ailleurs schistes et granites sont traversés par de nombreuses fentes à 50° et à 90°.

4° *Altenberg et Zinnwald.* — Nous ne ferons que mentionner ici les granites d'Altenberg et de Zinnwald; ils présentent des roches tout à fait analogues, dans leurs modifications, à celles de Geyer.

A_1). Granite-porphyre à deux feldspaths, très-pauvre en mica (mica noir à Altenberg, mica blanc à Zinnwald).

A_2). Passage insensible au greisen avec parties souvent très-développées de quartz et de mica isolés.

L'axe des pointements granitiques, caractérisé par de

(*) Stelzner, 1865.

nombreuses cassures parallèles et perpendiculaires, paraît être orienté à 45° (ce fait est surtout visible à Zinnwald). Enfin quelques rejets à 90° traversent les granites d'Altenberg.

5° *Dans la Granulite.* — Granite à grains fins, mica foncé, feldspath rougeâtre abondant, de texture euritique, paraissant en bandes à 50° dans la granulite.

En résumé, les granites de la Saxe paraissent se rapporter à deux types principaux.

a). Granites anciens et syénites à gros grains, porphyroïdes, caractérisés par la direction N. 136° E., et dont l'épanchement, certainement postérieur au dépôt des schistes micacés et argileux, paraît se rapporter à la dernière période du soulèvement de même direction qui a plissé le gneiss, la granulite et les schistes par place. Cassures fréquentes à 135°, à 50°, à 90°, à 180°.

Ces épanchements se soudent quelquefois aux granites antérieurs à tous les terrains stratifiés, qui eux-mêmes se relient intimement au gneiss gris. On peut signaler la présence de ces roches, les plus anciennes de la Saxe, près Abertham, près Bobritsch et Naundorf; les gneiss sédimentaires paraissent les recouvrir, et nous retrouvons sur les limites de ces formations des phénomènes analogues à ceux qui caractérisent à Przibram la séparation entre les schistes et le granite.

b). Leptynites à grains fins et porphyres granitoïdes, pauvres en mica, passant volontiers à des roches exceptionnelles (Schörlfels, Topazfels, Berylfels, Greisen, Pegmatites). Ils seraient caractérisés par la direction N. 50° E., et leur épanchement, certainement postérieur aux schistes, paraît se rapporter au soulèvement de même direction de la granulite et du gneiss. Cassures fréquentes à 50°, à 90°. Les pegmatites se présentent souvent aussi dans les directions E.-O., N.-S.

§ 2. *Du gneiss rouge.* — Nous avons indiqué plus haut

que le gneiss gris se transformait par places en gneiss rouge d'origine éruptive, ou franchement métamorphique. Ce dernier est caractérisé minéralogiquement par la présence en certaine abondance d'un feldspath sodique généralement rougeâtre, et par la substitution absolue d'un mica blanc potassique à éclat argentin, au mica noir magnésien qui caractérise le gneiss gris.

Le gneiss rouge qui d'ailleurs passe souvent au blanc jaunâtre, contient 73 à 75 p. 100 de silice, c'est-à-dire 9 p. 100 de plus que le gneiss gris; son mica peut contenir jusqu'à 5 p. 100 d'eau (*). Il contient souvent de la tourmaline, des pyrites; son aspect le rapproche du granite-porphyre, et c'est à juste titre qu'on pourrait l'appeler gneiss-granite ou gneiss-porphyre.

Entre le gneiss gris et le rouge, trouvent place une foule de roches intermédiaires, qui semblent participer beaucoup plus des propriétés du gneiss éruptif que des gneiss stratifiés.

Le gneiss rouge se trouve en dykes dans les environs de Freiberg, de Geyer, de Marienberg, et en formations étendues près de Tharandt, de Schmiedeberg, etc.

Presque toujours en concordance de schistosité et de plongement avec les roches encaissantes, il passe sans transitions brusques à ces dernières: ainsi il se présente à Himmelfürst (près Brand) en bandes à 125°, parallèles aux autres gneiss de la contrée; à Geyer il forme dans le micaschiste des traînées dont la schistosité oscille entre 35 et 55°, comme celle de cette dernière roche.

Le gneiss rouge contient, englobés dans sa masse, des morceaux à angles aigus des roches encaissantes, gneiss gris, schistes, grauwackes grenues. C'est ainsi qu'on peut avancer que les gneiss de Braunsdorf (entre la grauwacke et les schistes anciens), et de Mobendorf (entre la grauwacke dévonienne, et les terrains houillers inférieurs),

(*) Scheerer.

sont en partie postérieurs aux grauwackes qui reposent sur eux : ils en contiennent des fragments (*).

Le gneiss rouge des environs de Schmiedeberg (**) présente, en maints endroits, des îlots de schistes et de grauwackes, qui d'après Müller ont dû constituer une vaste formation, disloquée et en partie transformée par l'éruption postérieure du gneiss rouge, dont la schistosité plonge faiblement de 15 à 30° S.-E. Cette transformation, nettement métamorphique, produit souvent, au contact du gneiss rouge et des schistes argileux, un trapp micacé (***), analogue aux kersantons éruptifs; au contact des grauwackes grenues, la roche produite est un quartzite compacte, à texture homogène.

En résumé, le gneiss rouge paraît avoir une origine franchement éruptive en bien des cas ; ses dykes, comme ceux des grünsteins, ont une tendance à s'intercaler entre les couches des roches encaissantes, à en adopter la schistosité, à y passer minéralogiquement par transitions insensibles; le gneiss rouge est certainement postérieur aux gneiss gris, aux schistes, aux grauwackes anciennes, il paraît en certains points plus jeune que les grauwackes dévoniennes. Ses directions les plus nettes sont 140°, 50°, 90°. Le gneiss rouge représenterait pour nous une dernière éruption granitique surtout abondante entre le soulèvement à 50° et le soulèvement à 90°, mais se prolongeant après ce dernier et intimement liée aux pegmatites et aux granites exceptionnels à mica blanc.

§ 3. *Des grünsteins* (*gabbros-diorites, kersantons, serpentines*).— Les roches grünsteiniques de Saxe présentent, au point de vue minéralogique, les plus nombreuses variétés ; on peut distinguer :

(*) Müller. Gneiss de l'Erzgebirge, *B. und H. m. Zeitung*. 1er juillet 1863.

(**) Müller. Environs de Schmiedeberg, 1867.

(***) Müller. *Jahrbuch* (Leonard et Geinitz), 1865.

1°). Les gabbros (Siebenlehn, Roswein), composés d'une pâte feldspathique avec labrador, bronzite, pyroxène, et passant volontiers par places à la serpentine.

2°). Les diorites à grains fins, à pâte feldspathique avec cristaux plus ou moins discernables d'amphibole, passant d'une part aux schistes grünsteiniques, de l'autre aux diorites micacées (Freiberg, Marienberg, Schneeberg).

3°). Les kersantons plus ou moins amphiboliques avec tous les passages entre le feldspath micacé et la diorite micacée, et comprenant les mélaphyres d'Himmelfürst et de Schneeberg; les wackes grises d'Annaberg et d'Ehrenfriedersdorf.

Toutes ces roches sont en général riches en éléments calcaires et font souvent effervescence, identiques en cela, comme pour les caractères physiques, aux grünsteins des environs de Przibram (*); on les trouve d'ailleurs quelquefois accolées à des couches calcaires ou dolomitiques (sud de Neudorf, à droite de la route d'Ober-Wiesenthal), avec développement de minéraux métamorphiques au contact des deux roches (serpentine, épidote, grenat). D'autres fois les Thonschiefers se transforment en schistes grünsteiniques, et se remplissent de noyaux calcaires soulevant la schistosité (Bodenbach).

L'analyse chimique d'un certain nombre de roches vertes de la Saxe nous induit à les classer, au point de vue de leur composition respective, en trois groupes bien distincts :

1° *Grunsteins proprement dits et gabbros.* (Roswein, Schneeberg, etc.)

Perte au feu.	2 à 4 p. 100, légère effervescence.
Richesse au silice.	40 à 42 p. 100
Portion attaquable par l'acide chlorhydrique concentré.	57 à 60 p. 100

(*) Mémoire sur les filons de Przibram et de Mies. *Annales des mines*, 1867.

Ces roches sont comparables aux basaltes, et quelquefois magnétiques comme eux.

2° *Kersantons à mica bronzé.* (Himmelfürst, Annaberg, etc.)

Perte au feu. . . . . 7 à 8 p. 100, vive effervescence.
Richesse en silice. . . . . 49 à 50 p. 100
Portion attaquable par l'acide chlorhydrique concentré. . 45 à 48 p. 100

Quelques-uns de ces kersantons sont manganésifères et magnésiens.

3° *Wackes grises à pâte indistincte.* (Ehrenfriedersdorf, Marienberg, etc.)

Perte au feu . . . . . 2 à 3 p. 100, pas d'effervescence.
Richesse en silice. . . . . 56 à 59 p. 100,
Difficilement attaquables par l'acide chlorhydrique concentré.

Nous donnerons plus loin l'analyse complète de quelques-unes de ces roches.

Les grünsteins présentent les minéraux accidentels les plus variés; c'est un fait remarquable à tous égards que la présence fréquente des sulfures en mélange intime dans leur pâte compacte ou schisteuse, mais presque toujours d'origine éruptive; certains dykes de grünsteins sont assez riches en minerais pour pouvoir être fructueusement exploités (Schwarzenberg); ils contiennent tous les éléments des remplissages si variés que nous présentent les filons concrétionnés de la Saxe: étain oxydé, bismuth natif, combinaisons du soufre, de l'antimoine et de l'arsenic avec le plomb, l'argent, le cuivre, le zinc, le fer, le cobalt, le nickel, etc., apatite, fluorine, etc., etc. Leurs affleurements, souvent transformés en argiles douces au toucher, contiennent parfois des rognons d'hématite, de fer carbonaté ou silicaté.

Les grünsteins se présentent en dykes, en lits d'injection ou en coulées plus ou moins stratifiées dans toutes les roches anciennes de la Saxe, y compris les granites, le gneiss rouge, et les grauwackes dévoniennes; les gabbros

et les serpentines se trouvent en relation de voisinage avec la granulite; les diorites vont volontiers avec les thonschiefers et les grauwackes; les kersantons préfèrent, comme roche encaissante, les micaschistes et le gneiss.

1°). Les grünsteins, en dykes et en filons nettement éruptifs, affectent généralement une des quatre directions suivantes :

N. 136° E. Diorites et calcaires de Neudorf dans le gneiss;
Kersantons d'Himmelfürst dans le gneiss;
Kersantons de Schneeberg dans les micaschistes;
Kersantons d'Annaberg dans le gneiss.
N. 51° E. Diorites de Schneeberg dans les schistes argileux;
Diorites près Lössnitz dans les schistes argileux.
N. 95° E. Serpentines et gabbros de Tirschheim entre les micaschistes et les schistes argileux;
Diorites près Lössnitz dans les schistes argileux.
N. 106° E. Dykes près de Zwönitz.

Nous devons mentionner ici la direction à 170° d'un faisceau de wackes grises, près Ehrenfriedersdorf, coupé par les filons d'étain à 90°; elle est à rapprocher de la faille séparative du gabbro de Roswein et des Thonschiefers voisins, de plusieurs cassures anciennes du gabbro de Siebenlehn, de la direction d'anciens filons quartzeux dans le gneiss gris d'Himmelfürst et dans les granites d'Eibenstock. Ces diverses cassures sont antérieures au soulèvement à 92°. Nous verrons plus tard qu'elles paraissent antérieures aux systèmes à 59° et 135° (filons quartzeux d'Himmelfürst et d'Himmelfahrt).

Quelques dykes de gabbros se sont épanchés en dômes, à la façon des basaltes (Roswein, Siebenlehn); ils ont choisi en général un point d'épanchement situé sur la ligne de partage de deux formations fortement soulevées. Les deux épanchements de Roswein et de Siebenlehn paraissent postérieurs aux Thonschiefers; ils sont traversés par de nombreuses fentes à 55° et à 90°.

2°). Les grünsteins en lits injectés, c'est-à-dire parallèles, en direction et en plongement moyen, à la schistosité de la roche encaissante, s'y fondant en certains points, mais d'ailleurs présentant des signes non équivoques d'injection ignée, sont les plus nombreux (Schwarzenberg, Schneeberg, serpentines de la granulite) ; ils affectent en général une des directions suivantes :

N. 130° E. . . . Serpentines de la granulite.
N. 128 à 165° E. Grünsteins métallifères de Schwarzenberg.
N. 30° E. . . . Quelques lits grünsteiniques à Schneeberg et à Schwarzenberg.
N. 90 à 95° E. . Amphibolites de Joachimsthal, avec rutile, grenat, fer oxydulé (*).

3°). Les grünsteins en lits véritables, c'est-à-dire en coulée sur les roches stratifiées, et postérieurement relevés avec elles, se trouvent nettement dans les couches supérieures de la grauwacke, et comme elle sont redressés par le soulèvement à 59° du gneiss de Mobendorf.

Leur âge peut se déduire des considérations précédentes et de ce double fait que 1°) le terrain houiller de Hainichen présente à sa base un conglomérat de blocs concassés de grauwackes et de grünsteins; 2°) les terrains stratifiés postérieurs ne contiennent plus trace d'éruptions grünsteiniques.

En résumé les grünsteins ont commencé à s'épancher en Saxe en même temps que se déposaient les schistes ; ils ont profité des fentes anciennes à 135°, des récentes à 50°, et leurs éruptions paraissent avoir été surtout abondantes après le soulèvement N. 92° E. et les quelques cassures N.-S. qui l'ont précédé. Ils sont tous antérieurs au soulèvement à 59°.

Les principales éruptions de grünsteins paraissent donc à peu près contemporaines de la production des gneiss rouges et des trapps micacés métamorphiques.

(*) A Rapprocher des roches d'Areudal.

§ 4. *Porphyres.* — Nous étudierons successivement :

A. *Les porphyres en relation avec les bassins houillers de l'Ouest.*

I. Porphyres interstratifiés d'Hainichen, Flöha, Zwickau.
II. Massif de Wurzen.
III. Dykes et filons porphyriques des environs de Freiberg.

B. *Les porphyres en relation avec les bassins houillers de l'Est.*

I. Massif de Meissen.
II. Massif de Tharandt.
III. Porphyres interstratifiés de Plauen.
IV. Dykes et filons porphyriques de Schmiedeberg et Altenberg.

A). I. *Coupe détaillée des bassins d'Hainichen, Flöha, Zwickau* (*).

1° *Conglomérat de fond*, avec morceaux de grauwacke et de grünsteins, sans trace de porphyre; ne paraît qu'au nord d'Hainichen, et se trouve violemment relevé à l'Est.

2° *Terrain houiller inférieur*, équivalent du millstone grit, ou du terrain anthraxifère? — a). Grès et schistes houillers d'Hainichen — Ebersdorf — Frankenberg (zone I à Lycopodiacés de Geinitz); violemment relevés à l'Est.

b). Grès, schistes et couches de houille, à Flöha-Gükelsberg (zone II, à sigillaires); relevés à l'Est.

Soulèvement du gneiss de Mobendorf.

3° *Terrain houiller supérieur* a). Conglomérat de morceaux de gneiss, de quartz et de schistes, à Flöha-Gükelsberg. — Assises horizontales.

H_1. Ce conglomérat est immédiatement recouvert et vernissé par un épanchement de porphyre rouge quartzifère qui a imprégné de quartz toutes les fissures du conglomérat et transformé, par places, en anthracite la houille des couches à sigillaires. — Direction caractéristique, N. 59° E.

(*) Naumann et Cotta. — Geinitz.

b). Grès kaolinisés et ferrugineux (Flöha); ont été transformés par les sources thermales émanant de H_1; accompagnés à Zwickau par les couches houillères à calamites et annulariés (zones III et IV); presque horizontaux.

c). Zone à Fougères de Zwickau (zone V); presque horizontale.

4° *Rothliegendes inférieur.*

a). Conglomérat gris, très-horizontal, en légère discordance avec la couche précédente.

b) et H_2. Argilophyres feldspathiques et grès alternants; reposent directement à Frankenberg, sur les couches à sigillaires; à Flöha, sur les couches à annulariés.

c) et H_3. Grès à éléments porphyriques alternant avec des porphyres feldspatiques, moins riches en quartz que H_1; direction des épanchements N. 125° E.

H_4. Porphyrites, mandelsteins, basaltites, avec noyaux orbiculaires de quartz améthiste, de talc, stilbite, fer oligiste, göthite, fer carbonaté, calcite, barytine. Plusieurs de ces trapps se sont certainement épanchés à basse température; ex. : dans le puits Glück-Auf, près Zwickau, on traverse, à partir de la profondeur de 55 mètres, dans le rothliegendes inférieur, 32 mètres d'alternances de mélaphyres et de mandelsteins à noyaux calcaires.

d). Étage de grès et de schistes post-porphyriques.

5° Rothliegendes supérieur, zechstein, grès bigarré.

H_5. Pechsteins, sorte de pétrosilex à pâte feldspathique résineuse, semi-fondue; en filons dans les porphyres précédents; ex. : (Mühlbach) filon de pechstein, à 30°, dans un argilophyre de la série H_2.

II. *Massif de Wurzen, Grimma.*

Large épanchement, recouvert de diluvium, dont l'axe principal paraît être à 160°, comprenant :

W_1) Un porphyre syénitique granitoïde;

W_2) Des porphyres quartzifères rouges et bruns, en filons dans W_1;

W_3) Des argilophyres blancs et verts, contenant des brèches de W_1 et W_2;

W_4) Des pechsteins en filons dans les précédents.

Les porphyres W_2 ont été trouvés à Rochlitz, dans les couches du rothliegendes inférieur.

III. *Environs de Freiberg.*

F_1) Porphyre quartzifère à grains fins de quartz, à pâte euritique très-compacte, d'un rose clair, plus ancien que la venue sulfurée. Ce porphyre se présente en longs filons peu puissants, dont les directions caractéristiques sont N. 55° E. (Rothenfurth), et N. 140° E., avec inflexions à 170°. (Lössnitz, Himmelfahrt, Morgenstern) (*).

F_2) Argilophyres dits Felsitfels (**). Feldspath et quartz en mélange intime, finement imprégné de galène lamelleuse, de blende noire, de mispickel argentifère (Weisserz). On les trouve :

a) Près Braunsdorf, dans les schistes noirs qui y forment la séparation à 52° entre le gneiss et les micaschistes (***). Ces schistes, qui ont subi des glissements énergiques, ont dû présenter aux roches éruptives un point de sortie facile; ils sont fortement métamorphisés, imprégnés d'une matière charbonneuse et traversés par de nombreux filons de felsitfels. Ces derniers paraissent souvent se terminer en lentilles et présentent rarement des salbandes nettes; leur direction moyenne est N. 15° à 30° E.

b) Dans la mine Morgenstern, au Rammelsberg, à l'est de Freiberg, le filon dit Abendstern mgg., dirigé N. 26° E., est accompagné (****) dans toute sa longueur par un filon

(*) Vogelgesang. Gangstudien, 1851.
(**) Müller. Gangstudien, 1849.
(***) A rapprocher des schistes noirs près la Lettenkluft à Przibram.
(****) Vogelgesang.

mince de felsitfels, composé d'une pâte pétrosiliceuse de couleur variable, avec noyaux de feldspath rouge et de quartz blanc.

Les porphyres F_2 sont antérieurs à la première venue sulfurée de Freiberg.

F_3) On connaît dans les environs de Siebenlehn, au nord de Freiberg, des argilophyres trachytiques, avec grains de quartz et cristaux de feldspath; l'orthose vitreux (sanidine) s'y développe en quantité notable.

Cette sanidine semble caractériser, en Saxe, les porphyres récents (pechsteins, argilophyres trachytiques), bien qu'on en ait signalé la présence, à l'état accidentel, dans les porphyres anciens.

a) Dyke de Bieberstein et faisceau de filons porphyriques; il coupe les mines d'Emanuel et de Vereinigtfeld. — Direction, N. 130° E.

b) Dyke d'Obergrüna et mine de Romanus. — N. 175° E. Ces deux traînées porphyriques se rencontrent dans le gabbro de Siebenlehn; elles coupent la première venue sulfurée et lui paraissent postérieures.

B. — I. *Massif de Meissen* (*).

M_1) Des argilophyres anciens avec brèches de morceaux granitiques ont recouvert le fond de syénite et de granite du bassin de Meissen. Directions. — N. 135° E., N. 165° E.

M_2) Un porphyre quartzifère rouge (Dobritzer) recouvre en coulées horizontales les argilophyres M_1. Le tout a été sillonné par les filons des porphyres qui suivent.

M_3) Porphyres feldspathiques bleu et brun, avec variétés absolument dépourvues de quartz et dans lesquelles se développent des cristaux de hornblende (Wilsdruffer). Leur direction dominante est N. 175° E.

M_4) Porphyre quartzifère rouge brun; certainement postérieur aux précédents. Direction, N. 145° E.

(*) Naumann et Cotta.

M_5) Pechsteins en filons à 30°, associés à des argilophyres trachytiques, dans la vallée dite Triebischthal.

II. *Massif de Tharandt.*

T_1) Porphyre rouge brun quartzifère, à fins grains de quartz, analogue à M_4.

T_2) Argilophyre gris, à grains quartzeux, accompagné de petites mouches de pyrite, galène, blende, mispickel, talc, identique aux felsitfels F_2 des environs de Freiberg.

T_3) Pechstein (Spechtshausen). Pâte pétrosiliceuse foncée, quasi-fondue, avec noyaux orbiculaires de feldspath et de porphyre T_1, non décomposés à la périphérie, blanchis à l'intérieur. — Direction, N. 30° E.

III. *Bassin de Plauen* (*).

Sur un fond de syénite, à l'est, de schistes, à l'ouest, on observe :

1° *Un vernis de porphyres;* P_1) argilophyre très-schisteux avec fentes à 135°.

P_2) Porphyre quartzifère rouge, rare au jour, très-connu dans les mines de houille. — Analogue à M_2.

P_3) Porphyre bleu feldspathique, avec nombreux cristaux de hornblende; il ne présente jamais d'amygdaloïdes comme les mandelsteins plus récents; il constitue le massif de l'Eichberg et se montre partout très-analogue à M_3. Direction dominante, N. 124° E.

2° Sur ces porphyres repose *le terrain houiller supérieur :*

Grès et schistes, avec une couche de houille exploitable, au-dessous de laquelle apparaissent par place des conglomérats de porphyre P_3.

3° *Rothliegendes inférieur.*

a) Conglomérat gris.

b) Grès, schistes, arkoses avec lits de calcaire, de dolomite et une petite couche de houille.

(*) Geinitz.

4° *Rothliegendes supérieur.*

a) Grès rouges et couches argileuses, ne reposant pas partout, en concordance de stratification sur le rothliegendes inférieur, bien qu'ils soient plissés, comme les terrains précédents, par un soulèvement à 127°.

b) Brèche porphyrique à morceaux aigus (P_2, P_3), disposée du N.-O. au S.-E. et se terminant au S.-E. par des psammites à grains fins.

c) Conglomérat de morceaux de gneiss et de porphyre brun de Tharandt T_1, venant du S.-O. au N.-E., et soulevé au N.-E. suivant la direction N. 125° E. Ce conglomérat domine les vallées (*).

5°) Porphyres récents, riches en sanidine; ils sont en relation avec la grande faille à 127° (rother Ochs), qui a intéressé tous les terrains stratifiés des environs de Plauen. On les trouve d'ailleurs épanchés sur le rothliegendes supérieur (Ober-Naundorf, Hähnischen, Moritzschacht).

IV. *Environs de Schmiedeberg* (**) *et d'Altenberg.*

A_1) Porphyre quartzifère en filons dans les gneiss (gris et rouge). Il est à grains moyens, rouge terne à jaune brun; l'orthose s'y développe en cristaux et se transforme volontiers en kaolin. On en connaît au moins trois faisceaux très-allongés et dirigés en moyenne N. 58° E., près Schmiedeberg.

A_2) Porphyre très-analogue, plus foncé; il se présente en masses et contient par place un peu de mica noir; on y trouve des brèches du porphyre précédent. A l'est d'Altenberg, dans une des mines des environs, on peut observer la séparation de ce porphyre A_2 avec les gneiss encaissants; elle se fait en forme de faille dirigée N. 177° E., plongeant de 55° O.; les gneiss, très-micacés, ont une schistosité parallèle, mais plongent de 50° vers l'Est.

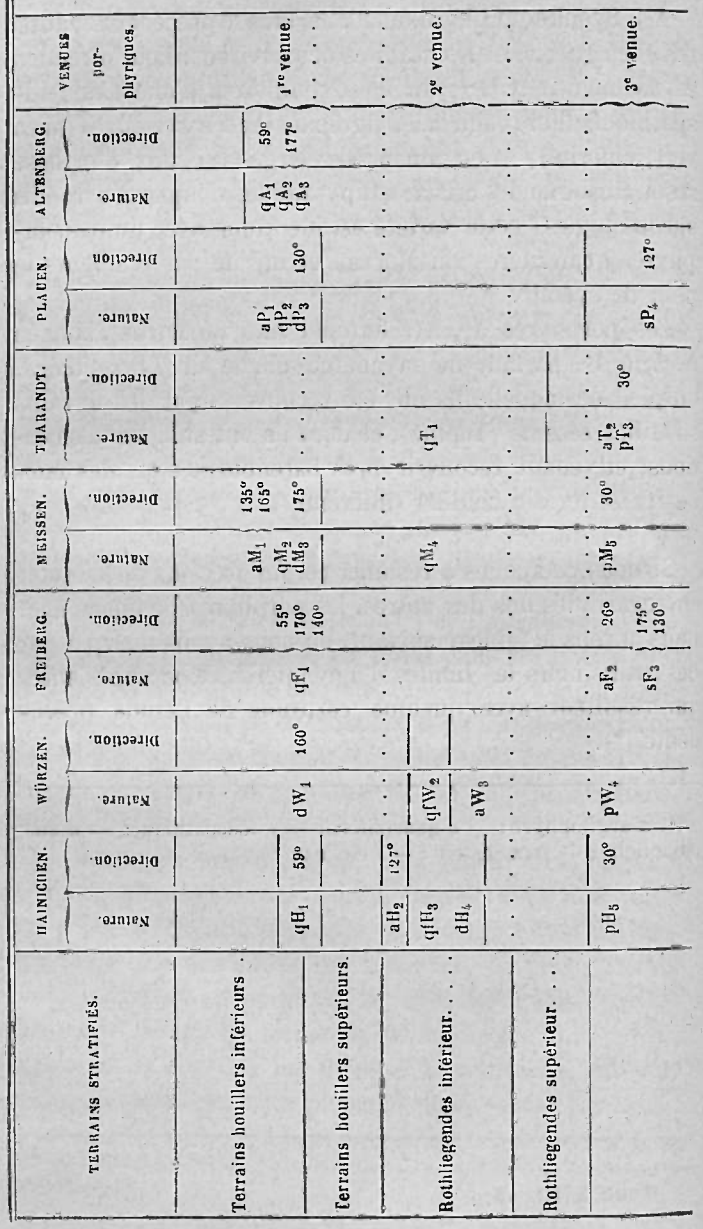
(*) Naumann et Cotta.
(**) Müller.

A_3) Syénite-porphyre, en filons dans le précédent et aussi dans les gneiss, et les granites des environs. Leur direction est la même : N. 177° E. Ils se composent d'une pâte feldspathique d'un rouge sale, tigrée de taches verdâtres (mica vert, chlorite), et englobant de larges cristaux d'orthose rosé, ainsi que des cristaux bipyramidés de quartz arrondis sur les angles; cette variété est identique avec un des porphyres quartzifères du Morvan et mérite peu d'ailleurs le nom de syénite.

Les porphyres A_2, A_3, forment une zone très-allongée N. 170° E, partant de la chaîne même de l'Erzgebirge, au pied de laquelle ils ont été recouverts par les terrains stratifiés récents (Teplitz), et dont ils ont subi les dislocations, et venant recouvrir près Bärenburg, etc., des lambeaux de terrain houiller (inférieur?).

Si nous cherchons à résumer ce qui précède, en mettant en regard les uns des autres, les porphyres de même âge, nous aurons le tableau suivant, où nous avons marqué par des traits noirs les limites d'âge inférieure ou supérieure, qui résultent avec quelque certitude de l'étude précédente (*).

(*) *a* argilophyre; — *q* quartzifère; — *f* fedspathique; — *d* amphibolique; — *p* pechstein; — *s* riche en sanidine.



Nous nous arrêterons à l'hypothèse qu'il y aurait eu trois venues porphyriques principales en Saxe.

La première (argilophyres, porphyres quartzifères, feldspathiques, amphiboliques), serait contemporaine des premières assises du terrain houiller supérieur; elle aurait injecté les fentes anciennes à 135°, les cassures dues au soulèvement du gneiss de Mobendorf N. 59° E., et des cassures légèrement postérieures N. 168° E.

La seconde venue (argilophyres, porphyres quartzifères et feldspathiques, mandelsteins) serait contemporaine du rothliegendes inférieur, dans lequel elle formerait des coulées interstratifiées (*).

La troisième venue (felsitfels, pechsteins, argilophyres trachytiques) caractériserait l'époque de la première venue métallifère sulfurée de Freiberg; elle serait certainement postérieure au rothliegendes supérieur, commencerait par des filons à 30° et se terminerait par des dykes à 130°.

§ 5. *Porphyres augitiques, basaltes et phonolites.* — Les basaltes de la Saxe constituent au pied même de l'Erzgebirge une longue traînée N. 65 à 70° E., à peu près parallèle à cette chaîne de montagnes, et qui réunit les deux massifs principaux de Schlackenwerth et du Mittel-Gebirge. Percés par places de pics aigus de phonolites, ils se sont épanchés tantôt sur la formation miocène à lignites, tantôt sur les terrains crétacés de la vallée de l'Elbe. Les phonolites leur paraissent en général légèrement postérieurs (**).

On trouve, assez loin de cette zone principale, sur les plateaux de la Bohême, quelques cônes basaltiques et volcaniques, qui paraissent en relation avec de grandes failles récentes à 34° et à 170°, traversant tout le pays.

D'autre part, sur les plateaux de la Saxe, paraissent plu-

(*) Ce groupe n° 2 serait tout à fait analogue aux porphyres de même âge, étudiés par M. Jacquot dans le bassin de la Saar, ains qu'aux mélaphyres d'Oberstein.

(**) Naumann et Cotta.

sieurs pointements basaltiques qui semblent avoir primitivement fait partie de longues et étroites coulées N.-S.; nous avons vu qu'ils se sont épanchés avant un dernier mouvement, suivi d'érosion, qui aurait soulevé l'Erzgebirge dans la direction E.-O.

Les basaltes de la Saxe sont en général riches en fer oxydulé magnétique; ils présentent souvent du péridot, toujours des cristaux d'augite. Ils sont accompagnés de filons et de failles E.-O. et N.-S., dont le remplissage offre parfois des particularités remarquables (*).

a). Près de Plauen, dans la syénite ancienne, on connaît deux filons de dolérite à aspect basaltique, dirigés N. 75° E., et coupés par une faille à 173°.

b). Près du Bärenstein, on a signalé des filons de wacke composée d'un conglomérat de basalte augitique avec ciment calcaire; leur direction est N. 175° E.

c). Dans les mines de Joachimsthal, nous aurons occasion d'étudier des filons de wacke basaltique et phonolitique, dont la direction dominante est N. 75 à 80° E.

d). Cotta cite un filon quartzeux de la direction N. 116° E., qui passerait nettement à travers un dyke de basalte et lui serait par conséquent postérieur (environs de Rumburg). Il faudrait donc admettre que quelques-uns des dômes basaltiques de la Saxe qui reposent au S.-E. sur les terrains crétacés sont antérieurs à cette direction N. 116° E.

En résumé, nous aurions la liste suivante des accidents qui ont amené ou disloqué les roches éruptives récentes de la Saxe :

1°). Basaltes au S.-E. (environs de Rumburg) antérieurs à la direction 116°?

2°). Basaltes de la Bohême en relation avec des failles à 34°?

3°). Basaltes de la Saxe, dolérites de Plauen, wackes de

(*) Naumann et Cotta.

Joachimsthal, en relation avec une première réouverture N. 78° E.

4°). Grands accidents à 170°, caractérisés en Bohême par des éruptions volcaniques (Wolfsberg), en Saxe par des réouvertures, des failles, etc. (conglomérat basaltique près le Bärenstein, faille près Plauen).

5°). Seconde réouverture E.-O. (faille du Scheibenberg), suivie d'une vaste érosion.

§ 6. *Sources thermales.* — Elles sont presque toujours en relation avec les filons à 160° (quartz ferrugineux), réouverts par le dernier soulèvement à 170°. Le voisinage des basaltes leur communique souvent des propriétés thermales remarquables.

Les sources de Carlsbad, Marienbad, Teplitz, etc., etc., sont sodiques, riches en acide carbonique avec traces de sulfates, de chlorures, de fluorures.

Plusieurs filons métallifères, trop profondément exploités, ont donné passage à des sources thermales minéralisées, quelquefois très-abondantes (Joachimsthal, Freiberg, etc.). Ces dernières sont souvent riches en acide sulfhydrique.

§ 7. *Résumé du Chap. II.* — Si nous cherchons à résumer ce qui précède, nous aurons la liste suivante des directions que les roches éruptives ont suivies de préférence en Saxe :

Gneiss gris.

1° N. 170° E. Cassures anciennes du gneiss, dykes de grünsteins.

Schistes anciens.

2° N. 136° E. Cassures et épanchements des granites à gros grains et syénites de la Saxe.

Grauwacke silurienne.

3° N. 50° E. Granite-porphyre, greisen, gneiss rouge, grünsteins, gabbros, serpentines.

Grauwacke dévonienne.

4° N. 95° E. Fin du gneiss rouge, nombreux dykes et filons de grünsteins, kersantons.
5° N. 106° E. Dykes de grünstein des environs de Zwönitz.

Terrain houiller inférieur.

6° N. 59° E. Première venue porphyrique.
7° N. 168° E. Suite de la première venue porphyrique.

Terrain houiller supérieur et rothliegendes inférieur.

8° Anciennes fentes à 137° réouvertes: seconde venue porphyrique.

Rothliegendes supérieur et terrains stratifiés suivants (?)

9° N. 28° E. Pechsteins et Felsitfels en relation avec la première venue sulfurée de Freiberg, et antérieurs à cette venue.
10° N. 130° E. Argilophyres trachytiques postérieurs à cette venue.

Terrains crétacés supérieurs.

11° N. 116° E. Accidents disloquant quelques basaltes au sud-est de la vallée de l'Elbe (?).

Formation miocène à lignites.

12° N. 34° E. Basaltes de la Bohême occidentale (?).
13° N. 78° E. Grand épanchement des basaltes au pied de l'Erzgebirge.
14° N. 170° E. Accidents postérieurs aux basaltes, sources thermales actuelles.
15° N. 75° E. Dernier soulèvement de l'Erzgebirge; accidents disloquant les basaltes.

Les épanchements de roches éruptives, mentionnés dans cette liste, nous présentent ce fait remarquable, qu'ils se groupent toujours de façon à offrir un terme acide, un terme basique, et souvent les intermédiaires. Ainsi, à côté

des granites anciens se trouvent les syénites; à côté des granites récents, les grünsteins; la première venue porphyrique nous présente des porphyres quartzifères, puis feldspathiques et enfin amphiboliques; la seconde venue nous offre, après les porphyres quartzifères et feldspathiques, la série des mandelsteins. A côté des felsitfels et pechsteins, se trouvent les argilophyres trachytiques, enfin les basaltes sont accompagnés d'éruptions phonolitiques. Quant à l'ordre dans lequel se produisent ces épanchements, il semble qu'en général la roche acide précède la basique; mais ce fait est loin d'être sans exception.

CHAPITRE III. — Comparaison des faits observés avec le tableau des systèmes de montagnes.

§ 1. *Tableau des systèmes de montagne.*—Nous donnons ci-contre la liste des systèmes de montagnes rapportés à Freiberg (longit. E. 11° 0′ 25″, latit. N. 50° 55′ 5″), et celle des soulèvements qui ont plissé les terrains stratifiés de la Saxe, ou produit des cassures par lesquelles se sont épanchées les roches éruptives; on verra que ces trois listes sont fort près de concorder entre elles. Les indications relatives à l'âge des soulèvements locaux, que les terrains fossilifères nous ont fournies, facilitent encore cette comparaison.

SYSTÈMES de montagnes.	AGE géologique.	Direction à Freiberg (*).	SOULÈVEMENTS DE LA SAXE. Numéros.	Age géologique local.	Direction.	RETENTISSEMENTS dans les terrains stratifiés.	ÉPANCHEMENTS ÉRUPTIFS.
Vendée.	Antésilurien.	169° 45′	1	Granites anciens.	170°	Fentes anciennes des granites et du gneiss gris, quelquefois disloquées par la schistosité.	
Longmynd.	Idem.	34° 37′	2	Granulite, gneiss gris.	34°	Anciens plissements de la granulite.	
Morbihan.	Idem.	140° 3′	3	Schistes.	135°	Plissements de la granulite, du gneiss gris, cassures des schistes.	
	Silurien.		—	Grauwackes.	—		Granites à gros grain, syénite.
Westmoreland.		63° 23′	4		51°	Soulèvement de la granulite, du gneiss gris, des schistes, des grauwackes.	
	Dévonien.		—	Grauwackes.	—		Granite-porphyre, gneiss rouge, greisen, grünstein.
Lands-End.		96° 29′	5		95°	Plissements violents des schistes et des grauwackes. Soulèvement de l'Erzgebirge.	
	T. carbonifère.		—		—		Gneiss rouge, grünstein.
Ballons.		111° 23′	6		106°	Plissements du gneiss et des micaschistes	
	T. anthraxifère.		—	T. houiller infér.	—		Grünstein.
Primitif de Lisbonne.		60° 29′	7		59°	Soulèvement du gneiss de Mobendorf, des grauwackes et des zones houilléres I et II.	Venue porphyrique n° I.
Forez.	Terrain houiller.	172° 0′	8	T. houiller supér.	168°	Plissements des schistes.	Suite de la venue porphyrique I.
Nord de l'Angleterre.		6° 52′				Légère discordance de stratification entre le rothligendes et le terrain houiller.	Idem.
	Rothliegendes et Zechstein.		—	Rothliegendes inf.	—		Venue porphyrique n° II.
Pays-Bas.		92° 15′					
	Grès des Vosges.		—		—		

Rhin.		24° 29′	9		28°		
	Trias.		—		—		Pechsteins et Felsifels.
Thuringerswald.		132° 29′	10		130°	Grandes failles intéressant les terrains houillers et le rothligendes.	Venue porphyrique n° III.
	Jura inférieur.		—		—		Argilophyres trachytiques, riches en sanidine.
Mont Seny.		43° 0′					
	Jura supérieur.		—	Jura.	—		
Côte-d'Or.		56° 19′	11		57°	Soulèvement de l'Erzgebirge.	
	Craie inférieure.		—	Craie inférieure.	—		
Mont Viso.		162° 23′	12		160°	Failles et filons des terrains crétacés du nord de l'Allemagne.	
	Craie supérieure(?)		—	Craie supérieure(?)	—		Premiers dômes basaltiques au S.-E. de l'Elbe (?).
	T. nummulitique.		—		—		
Pyrénées.	Éocène?	114° 15′	13		117°	Cassures et soulèvement de la craie supérieure dans la vallée de l'Elbe.	
Corse et Sardaigne.	Oligocène?	177° 42′					
Tatra.	et Miocène?	93° 42′		Miocène à lignite.			
Alpes occidentales.		32° 38′	14		34°	Failles de la Bohême occidentale (Mies).	
	Pliocène.		—		—		Basaltes du Wolfsberg (?).
Alpes principales.		79° 30′	15		78°	Soulèvement de l'Erzgebirge, intéressant le miocène à lignite.	
	Diluvium.		—		—		Basaltes et Phonolites de l'Erzgebirge.
Ténare.		168° 29′	16		170°	Réouvertures récentes (eaux minérales).	Tufs volcaniques, eaux minérales.
Etna-Ténériffe.		78° 19′	17		75°	Soulèvement de l'Erzgebirge, érosion des plateaux.	

(*) Les systèmes du Lands-End, du Rhin, du Thuringerwald, des Pyrénées et du Ténare sont représentés ici par des primitifs ou des octaédriques du réseau pentagonal.

§ 2. *Des réouvertures.* — Les dix-sept soulèvements, mentionnés dans ce tableau, comme ayant eu des retentissements en Saxe, peuvent se répartir en six groupes (*).

I.	N° 2. . .	34°	Moyenne. . . 32°.
	N° 9. . .	28°	
	N° 14. . .	34°	
II.	N° 3. . .	135°	Moyenne. . . 132° 30′.
	N° 10. . .	130°	
III.	N° 4. . .	51°	Moyenne. . . 55° 42′.
	N° 7. . .	59°	
	N° 11. . .	57°	
IV.	N° 1. . .	170°	Moyenne. . . 167°.
	N° 8. . .	168°	
	N° 12. . .	160°	
	N° 16. . .	170°	
V.	N° 5. . .	95°	Moyenne. . . 82° 42′.
	N° 15. . .	78°	
	N° 17. . .	75°	
VI.	N° 6. . .	106°	Moyenne. . . 111° 30′.
	N° 13. . .	117°	

§ 3. *Des quelques anomalies que présente le précédent tableau.* — 1°). Le soulèvement n° 4, dont l'âge et la direction concordent approximativement avec le Westmoreland, en diffère cependant d'environ 12°; il semble que cette déviation ne soit pas un fait accidentel dans le centre de l'Europe; nous avons déjà eu occasion de signaler aux environs de Przibram une déviation analogue du même système.

(*) Nous rapprochons de ces moyennes les directions des six grands cercles primitifs du réseau pentagonal qui passent le plus près de la Saxe.

I. Rhin.	24° 29′
II. Thuringerwald.	132° 29′
III. Lisbonne.	60° 29′
IV. Tenare.	168° 29′
V. Lands-End.	96° 29′
VI. Pyrénées.	114° 15′

2°). Le soulèvement n° 6 du gneiss de Mobendorf présente une réelle importance; il semble légèrement antérieur au soulèvement du Forez, et se montre en Saxe avec une netteté d'âge et de direction remarquable.

Il paraît de plus avoir eu des retentissements considérables dans plusieurs autres contrées; on a depuis longtemps signalé dans le Nassau et le Hartz des réouvertures du Westmoreland qui ont violemment plissé les couches dévoniennes, et même les assises houillères, laissant horizontales les couches du rothliegendes et du trias (*).

M. Grüner (**) cite des filons et amas de quartz concrétionné, des dykes de porphyre quartzifère, enfin des plissements du terrain anthraxifère, ayant une direction moyenne N. 60 à 65° E. aux environs de Saint-Étienne, et de Sainte-Foye l'Argentifère. L'âge de ces plissements et de ces épanchements serait à rapporter à la fin de la période équivalant au millstone-grit, et à peu près contemporain du soulèvement du Forez; dans la description géologique du département de la Loire, M. Grüner présente le système N. 65° E. comme un soulèvement lent pendant le cours de la période houillère; il est inutile d'insister sur le parallélisme presque absolu de ces faits avec ceux que nous avons exposés page 139.

Tous ces accidents longent le grand cercle de Lisbonne, auquel ils sont parallèles; la direction si nette du plissement de Hainichen est, à quelques minutes près, celle de ce grand cercle lui-même (***).

(*) Élie de Beaumont. *Notice sur les systèmes de montagnes.*

(**) Grüner. *Annales de la Société d'agriculture, etc., de Lyon,* 1857.

(***) Depuis que ce mémoire a été remis à la commission des Annales, M. Vézian a fait connaître (Besançon, 1870), dans un mémoire sur les filons de Zell-sur-Moselle, des faits nouveaux relatifs au soulèvement en question.

Section II. — Veines stannifères.

La plupart des mines d'étain de la Saxe sont aujourd'hui abandonnées ; toutes celles du massif granitique d'Eibenstock, du stockwerk de Geyer, des environs de Marienberg, de Schmiedeberg, sont dans ce cas, et nous n'avons pu visiter que les exploitations suivantes, qui ne peuvent donner qu'un simple aperçu des remplissages stannifères de la Saxe :

1° *Maurizi-zeche*, dans le granite près Abertham et Joachimsthal ;

2° *Kleine mittlere vierung*, dans les micaschistes près Ehrenfriedersdorf ;

3° *Stockwerk et filons d'Altenberg et de Zinnwald* dans le granite et le porphyre.

Toutes ces exploitations réunies n'occupent guère plus de 400 ouvriers ; en 1867 la production totale en étain de la Saxe n'avait pas dépassé 130 tonnes, représentant une valeur de 300.000 francs environ. Cette production a sensiblement augmenté en 1869, et les travaux sont activement poussés à Altenberg et à Zinnwald, en raison même du prix élevé de l'étain.

CHAPITRE I. — ABERTHAM.

§ 1. *Constitution géologique des environs.* — Les filons d'étain des environs d'Abertham se trouvent dans le massif granitique de Platten, qui n'est lui même qu'une annexe du grand massif d'Eibenstock, dont il n'est séparé que par une étroite bordure de schistes. Le granite est à gros grains avec feldspath blanc, mica noir et abondance de tourmaline. Au voisinage des filons d'étain le feldspath devient rouge ; le mica et la tourmaline diminuent, et le granite prend un aspect grenu porphyroïde.

Les micaschistes, qui recouvrent le granite, ont été certainement soulevés par lui ; ce soulèvement N. 92° E., avec plongement habituel vers le nord, est à rapporter au Land's-End.

§ 2. *Directions des filons stannifères.* — Les filons exploités dans la mine dite Maurizi-Zeche, se composent de fentes minces dont l'orientation ordinaire est

N. 28 à 35° E. . . . . H_2

ou

N. 155 à 165° E. . . . . H_{11}

Le filon principal est formée de deux veines H_2 avec plongement de 80° vers l'ouest, qui se suivent parallèlement à 3 ou 4 mètres de distance ; dans l'intervalle qui les sépare, le granite est complétement imprégné de petits cristaux d'étain, composant parfois des mâcles multiples fort compliquées. Cette imprégnation n'est pas du tout analogue à celle que présente le greisen normal de la Saxe ; les cristaux d'oxyde d'étain sont très-visibles, isolés dans la roche à laquelle ils donnent un aspect grenu, le granite lui-même ne semble pas attaqué ; il est pauvre en mica et en quartz, riche en feldspath rouge. L'imprégnation est surtout considérable aux points de croisement des veines H_2 entre elles ou avec les H_{11}.

§ 3. *Remplissages.* — Les filons d'Abertham se sont montrés très-pauvres en minéraux accidentels ; nous y pouvons signaler le mispickel, la tourmaline, et enfin comme minéral fréquent, mais bien postérieur à la formation stannifère, les micas d'urane, surtout le vert (chalcolite) ; c'est un minéral habituel des filons d'hématite rouge de l'Erzgebirge ; il s'y présente en réouverture et se rattache à une formation toute récente, contemporaine de certains basaltes. On connaît d'ailleurs plusieurs pointements basaltiques au voisinage de la Maurizi-Zeche.

Au Nord, tous les filons de cette mine sont coupés et

rejetés par une puissante faille argileuse N. 92° E., plongeant de 80° vers le sud; dans le massif même d'Eibenstock on connaît les traces d'une foule d'anciennes exploitations stannifères dont les principaux filons étaient dirigés N. 90° E. et N. 50° E.; ces directions peuvent être relevées à 1 kilomètre à l'ouest de la Maurizi-Zeche; la direction N. 90° E. était remarquable par la fréquence du feldspath dans le remplissage des filons (*).

§ 4. *Comparaison avec les systèmes de montagnes.* — Nous rapporterons :

Les filons H_{11}.	au système de la	Vendée.
H_2.	—	du Longmynd.
H_4.	—	Westmoreland.
H_6.	—	Land's-End.

Les H_6 ont été probablement réouverts par les Alpes principales auxquelles on doit rapporter la faille N. 92° E.

CHAPITRE II. — EHRENFRIEDERSDORF.

§ 1. *Constitution géologique des environs.*—Les environs d'Ehrenfriedersdorf sont constitués par un micaschiste à mica brun, généralement très-quartzifère, mais présentant par place des noyaux de feldspath développés postérieurement à la schistosité. Cette dernière a pour orientation moyenne N. 50° E. avec plongement de 40° vers le N.-O.; à l'est elle paraît se rapprocher de la direction N.-S., mais alors son plongement diminue beaucoup et n'atteint pas 15°.

Les micaschistes contiennent des lits de calcaire et de schistes imprégnés de fer oxydulé magnétique, avec grenat, pyrite de fer et de cuivre, mispickel, blende brune, etc.

Le gneiss rouge paraît en lambeaux souvent allongés

(*) V. Oppe. Ces filons stannifères sont en relation avec des filons de pegmatite.

dans le sens de la schistosité des micaschistes encaissants. Il est en relation avec les célèbres pointements granitiques des environs immédiats de Geyer, à l'ouest d'Ehrenfriedersdorf.

Au S.-E., vers Sauberg, on connaît dans les micaschistes des faisceaux de grünsteins éruptifs que les mineurs appellent wackes (*) ; leur pâte noirâtre laisse apercevoir de petites lamelles de mica. Ils ressemblent assez, comme aspect général, aux wackes d'Annaberg, et sont coupés par les filons d'étain. Leur direction habituelle est N. 165° E.; quelques-uns d'entre eux affectent aussi une direction N. 48° E., il est rare que leur puissance dépasse quelques mètres.

Nous rapportons au Westmoreland l'orientation habituelle des micaschistes, du gneiss rouge, des granites et de quelques-uns des grünsteins ; les autres paraissent remplir d'anciennes fentes de la Vendée.

§ 2. *Directions des filons métallifères.* — On connaît aux environs d'Ehrenfriedersdorf des filons d'étain, et des filons barytiques qui coupent les précédents.

Les filons barytiques affectent en général une des deux directions

H_{5-6}.	N 80° E.
H_{10}.	N. 160° E.

Les filons stannifères ont pour orientation,

H_3.	N. 55° E.

ou

H_6.	N. 85° E.

§ 3. *Des rejets.* — Les filons barytiques H_{10}, H_{5-6} coupent et rejettent les filons stannifères, fentes et remplissages; les H_{5-6} plongent en général vers le nord, tandis que

(*) Ces wackes contiennent 55,9 p. 100 de silice; leur perte au feu est de 1,65 p. 100 ; elles ne font pas effervescence avec les acides, qui les attaquent difficilement.

les H_6 stannifères ont un plongement ordinaire vers le sud. Il est à remarquer que les filons H_{5-6} sont fréquemment accompagnés de failles stériles de même direction, et que leur remplissage paraît disloqué.

Les filons stannifères H_3 ont été surtout abondants aux environs de Geyer, et surtout riches dans l'un des pointements granitiques qui y ont soulevé les schistes, auxquels le granite est postérieur. Il est prouvé (*) que les filons H_3 se prolongent dans les micaschistes et y ont même été exploités. Les filons sont rejetés, dans le Stockwerk de Geyer, par une veine H_{5-6}, N. 84° E., plongeant vers le sud, et qui nous paraît être un ancien filon H_6, postérieurement réouvert et rempli d'un quartz hornsteinique. Nous verrons plus loin que ce quartz doit être rapporté à la venue ferrugineuse de l'Erzgebirge, qui a immédiatement précédé la venue barytique à Ehrenfriedersdorf.

Les filons stannifères H_6 dominent aux environs d'Ehrenfriedersdorf et de Sauberg; ce sont les seuls qui soient actuellement exploités; ils paraissent couper les H_3, et se composent de faisceaux parallèles, comprenant chacun une douzaine de petites fentes très-rectilignes : on en connaît trois dans la mine dite kleine mittlere Vierung, distants l'un de l'autre d'une quinzaine de mètres, et d'une puissance moyenne de 6 mètres chacun.

§ 4. *Remplissages.* — Les filons H_{5-6} et H_{10} contiennent surtout des micaschistes broyés; ils présentent par places du quartz, de la barytine, de la fluorine, des pyrites de cuivre et de fer (voyez plus loin les venues V_3, V_4); on y a signalé quelques minéraux argentifères, argent rouge, sulfuré.

Les filons d'étain présentent trois apparences distinctes sur lesquelles nous allons insister.

1°) Dans le granite et le gneiss rouge des environs de

(*) Daubrée. *Annales des mines*, 3e série, t. XX. — Stelzner. *Gisements stannifères de Geyer*, 1865.

Geyer, les fentes stannifères se réduisent à de minces filets de quartz, finement imprégné d'oxyde d'étain (0,28 p. 100); les salbandes sont elles-mêmes transformées en greisen et se relient intimement au remplissage des filons; le feldspath a généralement disparu, le mica blanc, en petites houppes clair-semées, se mélange au quartz hyalomitique de cette venue; les druses y sont très-rares.

2°) Dans les micaschistes, les salbandes s'accusent nettement, et se distinguent des filons, qui deviennent plus puissants et dont l'allure se régularise; le mica brun des schistes est généralement verdi sur quelques centimètres d'épaisseur; le remplissage se compose d'un quartz blanchâtre ou jaunâtre à éclat gras, dont la tendance à former des cristaux incomplets ou coniques, fortement striés transversalement aux faces du prisme, est remarquable; dans ce quartz se développent des cristaux et des mouches d'étain, de wolfram, de mispickel, accompagnés de fluorine massive et cristallisée, de topaze, quelquefois d'émeraude, rarement de tourmaline; le mica blanc se présente dans les druses en fine couverture; il est fréquemment accompagné par une substance stéatiteuse jaunâtre, translucide et très-douce au toucher. Comme minéraux accidentels, on peut citer le molybdène sulfuré, le fer oligiste, la scheelite, l'apatite, les pyrites de fer et de cuivre.

Cette venue qui est la plus fréquente à Ehrenfriedersdorf, se présente aussi par place dans le granite et dans le gneiss rouge, lorsque les veinules qui y constituent les filons, s'élargissent.

3°) Les faisceaux H_6, actuellement en exploitation au S.-E. d'Ehrenfriedersdorf, présentent un remplissage analogue au précédent : le quartz y est plus cristallin, à éclat quasi-vitreux, la fluorine violette en masses très-abondantes par places, un minéral chloriteux d'un vert foncé y remplace le talc, enfin les filons présentent très-souvent des veinules de feldspath rose concrétionné, entourant les mi-

néraux précédents et les mouches d'oxyde d'étain. L'orthose constitue souvent même l'unique gangue du minerai ; cette gangue est d'autant plus caractéristique, que ce feldspath ne présente aucune trace de transformation ultérieure ou d'altération, et que son aspect contraste avec l'état stéatiteux du feldspath que contient quelquefois le greisen (*).

Quelques-unes des veinules H_6 contiennent un remplissage analogue au greisen finement imprégné ; ces veinules, dont le plongement diffère du plongement général du faisceau, rencontrent les fentes feldspathiques et sont coupées par ces dernières.

§ 5. *Exemples d'intersections et de remplissages.* — La direction moyenne du faisceau principal exploité dans la *kleine mittlere Vierung* est N. 80° E. avec plongement de 80° vers le S. Il passe nettement au travers d'un filon de grünstein de 2 mètres de puissance N. 168° E. avec un plongement de 70° vers l'E. et se fait couper par de petites failles N. 160° E. plongeant vers l'O. Le faisceau se compose d'une douzaine de veinules stannifères généralement feldspathiques aux points riches ; la veinule du toit, remplie d'un quartz grenu finement imprégné d'étain (greisen), plonge plus que les autres et les rencontre en hauteur ; elle se fait couper par leur remplissage dans lequel l'étain est toujours en mouches ou en gros cristaux. Le mispickel s'associe volontiers au wolfram, rarement à l'étain.

A l'avancement vers l'Est, le faisceau stannifère se trouve accompagné par un filon barytique de même direction N. 78° E. avec plongement de 70° vers le N., qui rejette de 2 mètres les petites veines stannifères ; ce croiseur contient par places de la fluorine, de la barytine et

(*) Dans ces remplissages, la venue feldspathique est tout à fait analogue à celle de certains filons stannifères de Montebras (Creuse), qui d'ailleurs se rapportent aux mêmes systèmes de direction. (Notes inédites de M. Moissenet.)

des mouches de pyrite de cuivre ; il est accompagné par quelques failles de même direction, absolument stériles, et dont l'une (schwebende) plonge à peine de 25° vers le N.

A l'étage de la galerie d'écoulement, à 90 mètres à l'Est du puits d'extraction, ces diverses fentes ont donné la coupe verticale représentée Pl. VIII, *fig.* 1, qui résume bien les faits observés.

§ 6. *Comparaison avec les systèmes de montagnes.* — En résumé nous considérons comme plausible l'assimilation suivante des divers systèmes de filons observés à Ehrenfriedersdorf, avec les systèmes de montagnes.

Filons H_3. .	Westmoreland. . .	Greisen, quartz.
H_6. .	Land's-End.	Greisen, quartz, feldspath.
H_{5-6}.	Pays-Bas.	Barytine et fluorine.
H_{12}. .	Mont Viso.	Idem. Idem.
H'_{5-6}	Alpes principales.	Minéraux argentifères.

Pour les trois derniers systèmes nous renvoyons aux faits observés dans les champs de Freiberg, d'Annaberg et de Joachimsthal.

CHAPITRE III. — ALTENBERG, ZINNWALD.

§ 1. *Constitution géologique.* — Les mines d'Altenberg et de Zinnwald occupent actuellement environ 300 ouvriers ; le minerai exploité à Altenberg se compose presque exclusivement d'un greisen très-quartzeux, finement imprégné d'étain, et en contenant environ 0,30 p. 100. A Zinnwald on exploite aussi certains granites imprégnés d'étain, mais une partie du minerai extrait provient de véritables filons stannifères et se présente en mouches ou en cristaux ; la teneur moyenne des roches extraites est de 0,50 p. 100.

La constitution géologique de ces deux célèbres gise-

ments, quoique fort étudiée et souvent décrite (*), ne paraît pas à l'abri de toute discussion; nous adoptons, de préférence aux autres hypothèses, celle qui consiste à admettre que les deux pointements granitiques d'Altenberg et de Zinnwald se sont épanchés avant l'immense coulée de porphyres qui les a enveloppés comme un manteau.

Cette coulée porphyrique qui s'est épanchée à travers des fissures N. 175°E., dont on trouve la trace dans le gneiss sous-jacent, se compose d'une traînée de même direction de porphyres rouges quartzifères, traversés par des filons de porphyre vert à apparence syénitique. Leur direction que nous rapportons au Forez, et le fait qu'ils ont recouvert certains lambeaux de terrains anthraxifères nous les font rattacher aux porphyres du groupe n° I (page 144).

A Altenberg, le passage du porphyre quartzifère au granite se fait d'une façon insensible et par gradations : le porphyre dont la pâte feldspathique rouge ou brun foncé admet des noyaux de quartz enfumé brillant, passe d'abord à une roche brune quartzeuse et feldspathique, dans laquelle le quartz paraît en lamelles et non plus en noyaux; puis vient une leptynite porphyroïde blanc-rosée à grain fin, pauvre en mica (mica noir), avec grands cristaux de feldspath, largement développés et contenant plus de 75 p. 100 de silice. Le quartz y forme souvent, comme dans l'Elvan du Cornwall, des cristaux bipyramidés, qui font de la roche un porphyre quartzifère. Ce granite-porphyre compose à vrai dire le pointement d'Altenberg : à 220 mètres de profondeur, on ne trouve plus guère que lui; mais plus haut, au centre du pointement, parait un greisen verdâtre ou noirâtre, à grains fins, presque exclusivement composé de mica foncé, de chlorite et de quartz. Les analyses de

(*) Daubrée, *Annales des mines*, 1849.
Müller. *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 22 mai 1865. — Scheerer, *id.*, 1863.

Scheerer semblent prouver que ce greisen provient d'une modification du granite précédent.

Le passage entre cette singulière roche et le granite se fait insensiblement, mais il est constant que le granite en contient des veinules, et l'on peut même saisir quelquefois, au centre de ces veinules, les minces fissures qui ont donné passage aux émanations transformatrices.

A Zinnwald, la roche dominante est un greisen à gros grains, identique à celui de Geyer, et composé comme lui de quartz évidemment cristallisé, et de mica blanc; la cassure des grains de quartz est blanche à éclat gras, bien différente de l'éclat vitreux des grains de quartz enfumé du porphyre voisin. Le greisen passe en profondeur et sur les bords à un granite également porphyrique, blanchâtre à feldspath argilo-sableux.

§ 2. *Direction des cassures du granite, remplissages.* — Le stockwerk d'Altenberg est aujourd'hui complétement concassé; de violents éboulements ont comblé les vides énormes creusés par les anciens mineurs, et l'exploitation se continue actuellement à travers une masse de blocs de toute grosseur dont l'abatage se fait par simple éboulement à l'extrémité des galeries, soigneusement soutenues par un boisage complet. Le greisen y est traversé, ainsi que le granite, par une multitude de fendillettes contenant surtout du fer oligiste, du molybdène sulfuré, et de la fluorine; on y voit aussi, mais plus rarement, des veines plus puissantes remplies d'un quartz à éclat gras, avec mica lithique en bandes largement développées (Pycnite); la topaze a été signalée à Altenberg dans une roche talqueuse; enfin l'étain, le wolfram, le bismuth natif, le mispickel, le cuivre sulfuré se présentent parfois; l'étain et le bismuth natif recherchent le greisen fortemen chloriteux. Les cassures affectent en général une direction N. E.-S. O.

A Zinnwald le pointement granitique s'est divisé hori-

zontalement en segments superposés ; les fentes ainsi produites se sont postérieurement remplies, et constituent de vrais filons-lits, horizontaux au centre du dôme, et dont le plongement sur les bords ne dépasse pas 25°. On connaît à Zinnwald 8 filons-lits principaux ; et un bien plus grand nombre de trums (*) ; l'espacement moyen des filons-lits exploitables est de 15 mètres ; il paraît diminuer en hauteur.

Leur remplissage se compose :

a) D'une bande de mica lithique largement développé, d'une couleur plombée, dont la face appuyée sur la salbande est plane, et ne se relie pas intimement au greisen ou au granite encaissant.

b) D'un ruban de quartz souvent puissant, composé de gros cristaux agglomérés, ou d'une multitude de lamelles bizarrement enchevêtrées ; la cassure de ce quartz est grisâtre ou jaunâtre à éclat gras ; il présente quelquefois des druses de dimensions considérables, et s'y développe en gros cristaux opaques, à double pointement.

Le quartz est parfois remplacé par un feldspath orthose rosé, à larges clivages cristallins.

c) Le tout se termine par une seconde bande de mica lithique symétrique avec la première.

C'est en beaux cristaux dans les druses du quartz, ou en mouches entre le mica et le quartz, que se présentent le plus souvent l'étain, le wolfram, le molybdène sulfuré, la fluorine, la scheelite, etc.

Outre ces filons-lits, le stockwerk de Zinnwald présente de vrais filons verticaux, généralement moins puissants que les précédents, mais offrant un remplissage identique qui passe des uns aux autres sans coupure. Ces filons ont une des deux directions

H_3. . . . . N. 48° E. qui est la plus fréquente.
H_9. . . . . N. 135° E.

(*) Ramifications secondaires d'un filon principal.

Leurs fentes paraissent souvent déviées ou même rejetées au passage des filons-lits ; néanmoins on peut en suivre quelques-uns sur de grandes longueurs, et leur allure est régulière en direction et en profondeur.

On voit que les filons stannifères proprement dits sont ici de vraies pegmatiques rubannées et concrétionnées, à rapprocher des Topazfels, Berylfels et pegmatites du granite d'Eibenstock et de Schlackenwald.

§ 3. *Directions des cassures du porphyre. — Remplissages.*—Les fentes H_3 et H_9 ont été violemment réouvertes postérieurement à l'épanchement des porphyres voisins, et quelques-unes d'entre elles se sont transformées en failles qui rejettent de 15 mètres et plus les filons-lits, fentes et remplissages, tout en présentant par place des traces de ce même remplissage. Les réouvertures à 50° et à 135° se prolongent dans le porphyre : la réouverture H'_3 rejette la réouverture H'_9.

On trouve aussi aux environs d'Altenberg et de Zinnwald dans le porphyre quartzifère et syénitique les directions de cassures suivantes :

H_{11}. . . . . N. 170° E
H_6. . . . . N. 84° E.
H_2. . . . . N. 20° E

Quelques-unes de ces fentes ont été exploitées pour étain ; le porphyre aux salbandes en paraît imprégné, et le filon même contient quelquefois, dans un feldspath argileux imprégné d'hématite rouge, des cristaux d'étain oxydé.

Dans ces mêmes filons on a signalé la blende noire et la galène, enfin quelques-unes des failles de Zinnwald ont contenu de la barytine (*).

Il est hors de doute que les fentes qui traversent le porphyre contiennent de l'étain chimiquement entraîné ; mais elles paraissent se relier intimement aux failles qui ont réouvert à Zinnwald les anciens filons vraiment stanni-

(*) Müller.

fères, et constituer ainsi un gisement tout spécial de peu d'importance, dont il faut surtout se garder de confondre l'âge géologique avec celui des véritables venues stannifères de Zinnwald et Altenberg.

§ 4. *Comparaison avec les systèmes de montagne.* — En résumé nous croyons pouvoir rapporter les anciens filons H_8 et les quelques fentes perpendiculaires H_9 qui les accompagnent, au système du Westmoreland. Ce système serait ainsi caractéristique des fentes stannifères que contiennent les stockwerks de Saxe (Geyer, Altenberg, Zinnwald).

Les filons H_{11} seraient dus au Forez	}	Remaniements d'étain ; traces de blende et galène.
H_6	—	aux Pays-Bas. . .	
H_2	—	au Rhin.	
H'_9	—	au Thuringervald.	} Barytine.
H'_3	—	à l'Erzgebirge. . .	

Section III. — Remplissages sulfurés anciens. — Champs de fractures de Freiberg et de Marienberg.

EIBERG.

CHAPITRE I. — Constitution géologique du champ de Freiberg.

§ 1. *Distribution topographique.* — Les environs immédiats de Freiberg constituent un pays peu accidenté, à travers lequel la Mulde, coulant du sud vers le nord, s'est creusé une vallée d'une médiocre profondeur, dont les nombreuses sinuosités paraissent volontiers affecter les directions N. 138° E. et N. 30° E.

Les épanchements grunsteiniques de Siebenlehn et de

Roswein constituent quelques escarpements qui tranchent avec les lentes ondulations que présente partout le gneiss des environs.

Les mines qui se rattachent naturellement à celles des environs immédiats de Freiberg, s'étendent au sud jusqu'à Brand et Erbisdorf, au nord jusqu'à Siebenlehn et Gersdorf, près Roswein, formant ainsi un champ d'exploitation quatre fois plus long que large, et dont les affleurements ont pu être suivis d'une part jusqu'à la vallée de l'Elbe, de l'autre jusqu'à Marienberg.

§ 2. *Données statistiques.* — Les mines de Freiberg ont occupé pendant l'année 1867-68 (*), 7.500 ouvriers et contre-maîtres travaillant dans plus de 150 districts différents ; elles ont produit environ 31.500 tonnes de minerai préparé qui a donné :

30 tonnes 520 kilogrammes	d'argent.	
4.530	—	de plomb.
69	—	de cuivre.
586	—	de zinc.
0	—	6 kilogrammes de nickel et cobalt.
300	—	d'arsenic.
1.400	—	de soufre.

Le tout représentant une valeur d'environ 6.292.000 fr.

D'après M. de Bonnard, les mines de Freiberg occupaient, en 1808, 5.000 ouvriers répartis dans 150 districts, et produisaient annuellement environ 12 tonnes d'argent.

La production suit depuis quelques années une marche ascendante ; de grandes compagnies se sont formées, englobant les petites mines, et les ressources dont elles disposent ont permis de pousser les travaux en profondeur : quelques exploitations sont actuellement à près de 600 mètres, on épuise les anciens travaux inondés pour les reprendre ; enfin une nouvelle galerie d'écoulement débou-

(*) *Jahrbuch für den Berg und Hütten-Mann*, 1869.

chant au loin dans la vallée de la Mulde (Rothschönberger Stolln) a été entreprise et avance rapidement.

En 1867-68, il a été abattu environ 56.000 m^3, dont 6.000 de minerai à scheider, 9.000 de minerai à bocarder et 41.000 de stérile. Ce vide créé doit correspondre à 240.000 m^3 de stérile, laissés dans les mêmes filons et qui ne seront probablement plus explorés dans l'avenir. Chaque mètre cube abattu contenait en moyenne une valeur de 107 francs.

§ 3. *Situation des principales mines.*

Premier groupe. — Au voisinage immédiat de Freiberg se trouvent :

a) Au N.-O., le centre de Gross-Schirma (mine de Churprinz) ;

b) A l'est, la mine d'Himmelfahrt;

c) Plus loin au S.-E., la mine de Morgenstern et les anciennes exploitations du Rammelsberg (Friedrich, etc.).

Deuxième groupe.— Au sud de Freiberg, on connaît :

a) A l'extrémité S.-O. du champ de cassure, près Brand et Erbisdorf, la grande mine d'Himmelfürst ;

b) Au S.-E., la mine Mord-Grube ;

c) Au sud, la mine Beschert-Glück.

Troisième groupe.—Au nord de Freiberg, on peut citer:

a) A l'extrémité N.-O. du champ, la mine de Segengottes à Gersdorf, près Roswein;

b) Plus près de Freiberg, les centres de Braunsdorf et Voigtsberg (Gesegnete Bergmanns Hoffnung, Alte Hoffnung Gottes, etc.);

c) Au nord, les exploitations de Siebenlehn (Romanus, Vereinigt-feld), d'Obergrüna et Drehfed (Emanuel).

§ 4. *Constitution géologique de la contrée.*

Premier groupe. — Les environs immédiats de Freiberg sont presque exclusivement constitués par le gneiss gris, sillonné par quelques rares traînées de granite, de gneiss rouge et de porphyre.

La schistosité du gneiss gris présente à Himmelfahrt une orientation moyenne N. 106° E., avec un faible plongement de 5 à 25° vers le sud. Cette orientation paraît se modifier légèrement à l'est, vers le Rammelsberg ; une longue traînée interstratifiée de gneiss rouge (*), dont la puissance varie de 50 à 200 mètres, y affecte la direction N. 130° E. On connaît aux environs quelques autres lambeaux de gneiss rouge et un long filon porphyrique, celui de Lössnitz, qui traverse les mines d'Himmelfahrt et de Morgenstern, et dont les affleurements sont visibles en bien des points, notamment près des usines de la Mulde.

Ce filon de porphyre quartzifère, dont la puissance moyenne est de 10 mètres, présente deux directions caractéristiques N. 140° E., et N. 170° E. Sa pâte feldspathique compacte, de couleur claire, admet une foule de petits grains brillants de quartz enfumé, et quelques rares cristaux d'orthose blanc; elle est pyriteuse par places. La composition et la direction de ce porphyre nous ont amenés (page 141) à le ranger dans le groupe n° 1 des porphyres antérieurs au terrain houiller.

La mine Morgenstern contient aussi un filon de felsitfels à pâte pétrosiliceuse, N. 26° E., qui accompagne sur toute sa longueur le filon Abendstern mgg.

La structure de ce premier groupe se résumerait donc ainsi : gneiss gris... plissements dus au Morbihan et au Land's-End.— Gneiss rouge... affecte la direction des anciennes cassures du Morbihan. — Porphyre quartzifère... injecte des cassures du Morbihan et du Forez. — Felsitfels à pâte pétrosiliceuse... injecte des cassures du Rhin.

Deuxième groupe.—Les environs de Brand et Erbisdorf sont composés par un certain nombre de variétés gneisiques qui présentent des passages entre le gneiss gris et le gneiss rouge (**).

(*) Vogelgesang.

(**) Müller. — Förster. *District d'Himmelfürst*, 1869.

a) Le Brander-gneiss est une roche éminemment schisteuse, identique au gneiss gris des environs de Freiberg.

b) Le Himmelfürster-gneiss paraît reposer sur le précédent, et présente une structure quasi-granitique ainsi qu'une partie des caractères minéralogiques du gneiss rouge. Il contient un lit de micaschistes granatifères très-quartzeux et très-schisteux, et se trouve séparé du Brander-gneiss par une traînée de gneiss rouge éruptif.

c) Le Vegefahrter-gneiss, qui se rattache intimement au précédent, paraît très-riche en mica, et isole des lentilles de quartz à éclat gras.

d) Les gneiss rouges éruptifs (Borstendorf, etc.) se présentent, avec leur texture granitoïde habituelle, dans toutes les formations précédentes, y compris les micaschistes granatifères. Leurs traînées dépassent rarement 20 mètres de puissance. Ils sont souvent en relation avec des dykes ou même de vrais filons de quartz ancien, parfois accompagné de mica foncé, largement développé en empilements hexagonaux (Prinz-Albert St., septième étage, à Himmelfürst).

Toutes ces roches sont disposées en bandes parallèles à la schistosité dont la direction moyenne est N. 124° E. avec oscillations entre 100° et 140°, et le plongement de 30° vers le sud. Les filons de quartz ancien sont généralement N.-S.

La mine Himmelfürst contient des filons de kersanton dioritique, analogue à celui de Przibram, avec la même pâte feldspathique foncée et le mica bronzé qui les caractérisent (*). Ils coupent toutes les roches précédentes, y

(*) L'analyse complète de ces kersantons nous a donné les résultats suivants :

Perte au feu	7,80	Vive effervescence.
Silice	49,20	Proportion attaquable par l'acide chlorhydrique concentré : 48 p. 100.
Alumine	20,20	
Protoxyde de fer	6,23	
Manganèse	traces	
Chaux	9,00	
Alcalis (autre échantillon)	7,00	
	99,43	

compris les filons quartzeux anciens, et présentent une direction N. 123° à 140° E., avec un plongement de 60 à 80° vers le S.-O.

En résumé, ce groupe offre une structure que l'on peut rapporter tout entière au système du Morbihan, légèrement influencé par le Land's-End, et peut-être par les Ballons. Les filons de quartz ancien remplissent des fentes que nous serons conduits à rapporter au système antésilurien de la Vendée.

Troisième groupe. — *a*) La mine de Segengottes, près Gersdorf, se trouve presque en entier dans le dôme que forme en ce point le gabbro de Roswein, qui s'est épanché d'une part sur la granulite, et se trouve en contact de l'autre avec les Thonschiefers vers l'Est, et les micaschites au S. et au N. Les filons métallifères, riches dans le gabbro, s'appauvrissent presque toujours dans les schistes.

Le gabbro de Roswein se compose d'une pâte noirâtre basaltique, dans laquelle on distingue de petits cristaux brillants de pyroxène, et des noyaux vers translucides de serpentine cristallisée. Naumann y signale le labrador. Ce grünstein, légèrement magnétique, est riche en chaux (*). Les filons qui le traversent se chargent de calcite et de dolomite. Nous avons eu l'occasion d'y voir un filon de feldspath rouge (pegmatite), dirigé à peu près E.-O. La granulite sur laquelle le grünstein repose, est très-compacte et presque exclusivement composée d'un feldspath jaunâtre cireux; il y passe par gradations lentes et semble avoir métamorphisé cette roche sur une épaisseur de quelques

(*) L'analyse complète de ce gabbro nous a donné les résultats suivants :

Perte au feu	3,85	Très-légère effervescence.
Silice	40,40	Proportion attaquable par l'acide chlorhydrique concentré 57 p. 100.
Alumine	20,90	
Protoxyde de fer	10,00	
Chaux	22,00	
Alcalis et magnésie (autre échantillon)	4,00	
	101,15	

mètres. Cependant la séparation donne de l'eau. La granulite présente des lits ou bancs très-nets dirigés N. 27° à 33° E., avec un plongement de 25° vers le S.-E.; elle en offre outre des cassures fréquemment orientées N. 58° E. avec un plongement moyen de 40° vers le sud.

Vers le N., la frontière de ce grünstein affecte la direction N. 90° E., qui est aussi celle des micaschistes qui paraissent soulevés par lui; vers le S., il les a irrégulièrement déchirés; vers l'est, il est séparé des Thonschiefers qu'il paraît avoir soulevés, par une faille argileuse aquifère que la mine de Segengottes permet d'étudier à diverses profondeurs : elle a une direction moyenne N. 175° E., un plongement de 20 à 30° vers l'est, et contient par places un remplissage quartzeux, dolomitique et pyriteux. Les Thonschiefers présentent à son voisinage une schistosité concordante avec elle, et dont l'orientation est d'autant plus remarquable que la direction générale du système de schistes, auxquels ils se rattachent, est N. 90° E. Les Thonschiefers au voisinage du grünstein sont souvent blanchis et argileux.

b) Les environs de Siebenlehn sont constitués par un gabbro qui passe par places à la serpentine et se trouve en relation au N. avec les thonschiefers, à l'O. avec les micaschistes, à l'E. et au S. avec le gneiss gris.

La serpentine y forme une traînée N. 90° E. présentant des veinules de fer oxydulé magnétique dont elle est d'ailleurs finement imprégnée, ainsi que de pyrite; elle paraît fortement chargée de chaux et contient comme minéraux accidentels le talc, la chlorite, l'asbeste (*).

Le gabbro est essentiellement composé d'un feldspath gris bleuâtre (labrador) souvent moucheté de blanc (enstatite) et de vert (bronzite, pyroxène) (**). Il contient par places des

(*) Müller.

(**) Perte au feu. . . . . 2,2 p. 100. Légère effervescence.
Richesse en silice. . . 46,8 p. 100.

veinules et même des filons d'un feldspath orthose rouge qui prend en certains endroits une grande puissance et se transforme en une pegmatite à grands éléments : quartz blanc à éclat gras, feldspath rouge cristallin, larges empilements de mica noir extrêmement brillant, baguettes courbées et cassées de tourmaline traversant toute la pâte qui s'est moulée sur elles.

Le gabbro de Siebenlehn est séparé des thonschiefers au N. par une faille contenant de la calcite, du quartz, des pyrites, et souvent aussi un feldspath orthose rouge : cette faille est dirigée N. 135° E. et plonge vers le N. Les filons métallifères que contient le grünstein, sont remarquables par leur richesse en chaux. Il est traversé, comme nous l'avons vu (page 142), par deux dykes de porphyres trachytiques récents dont les directions sont N. 130° E. et N. 170° E.

c) La grande formation de gneiss, qui commence au S. de Siebenlehn, débute par une zone de gneiss gris orientée à 120°, de Breitenbach à Obergrüna; près de Drehfeld se montre une formation de gneiss rouge à texture granitique.

A l'Ouest, le gneiss gris très-schisteux avec bandes de gneiss à grain fin (granulit-gneiss de Müller), présente une orientation N. 52° E. près Klein-Voigtsberg; un dérangement à 15° près Gross-Voigtsberg et une frontière nette à 52° avec un plongement de 45 à 60° vers le N.-O., de Braunsdorf à Gross-Schirma; au delà commence la zone de schistes noirs qui sépare le gneiss des micaschistes, et où se trouvent de nombreuses éruptions de felsitfels.

En résumé la structure de ce groupe est à rapporter aux systèmes du Longmynd pour la granulite, du Morbihan et du Westmoreland qui semblent avoir seuls agi sur le gneiss, du Land's-End pour les schistes.

Deux dômes de grünsteins ont choisi les frontières de séparation des formations précédentes pour s'épancher; ils sont certainement postérieurs au gneiss et à la granulite,

et probablement aux schistes qu'ils ont soulevés et métamorphisés. Ils sont traversés par des éruptions de serpentine contemporaines du Land's-End, et par des filons de feldspath rouge et de pegmatite qui affectent des directions E.-O. et N.-S., à rapporter également au Land's-End. L'âge de l'épanchement du gabbro lui-même nous paraît peu antérieur à ce système. Il est vraisemblable que les deux épanchements de Siebenlehn et de Roswein se rattachent à la longue traînée grünsteinique N. 50° E. dont les nombreuses coulées traversent et recouvrent les grauwackes de Mobendorf; ils sont exactement au point de croisement d'un faisceau Westmoreland avec un faisceau Land's-end.

Enfin des filons de porphyre quartzifère à 55° (système de Lisbonne), d'argilophyres à 26° (Rhin), de porphyres trachytiques à 170° (Forez réouvert) et à 130° (Thuringerwald), se présentent dans le troisième groupe en relations intéressantes avec les remplissages métallifères.

CHAPITRE II. — DES FILONS MÉTALLIFÈRES AU POINT DE VUE DE LEURS DIRECTIONS ET DE L'AGE RELATIF DES FENTES QU'ILS REMPLISSENT.

§ 1. *Directions des filons.* — Si l'on jette les yeux sur une carte (*) (Pl. VII), représentant les filons de Freiberg et la nature de leur remplissage dominant, on sera frappé de ce fait que le remplissage sulfuré à galène argentifère, qui forme la principale richesse du champ d'exploitation est réparti dans de nombreuses fentes dont les directions sont presque toujours comprises entre 0° et 90°.

Des croiseurs dont les directions oscillent entre 90° et 160°, coupent les filons précédents et présentent un remplissage tantôt simplement stérile, tantôt barytique avec ou sans accompagnement de fluorine, de minéraux cuprifères, de galène pauvre en argent, etc.

(*) Voir la carte à grande échelle de Weinhold, complétée par Müller, 1866.

Ces croiseurs ont souvent contenu, à leurs intersections avec les filons précédents, une venue argentifère sporadique qui paraît plus jeune que toutes les autres.

Nous admettrons que ces divers remplissages se son succédé dans l'ordre suivant, que nous chercherons à justifier plus tard :

1° Quartz ancien Q.

2° Remplissage talqueux avec cristaux de mispickel T.

3° Venue sulfurée à galène riche S_1 tantôt exclusivement composée de sulfures, tantôt quartzeuse (qS_1), tantôt enfin dolomitique ($S_1 b$).

4° Venue barytique B_1.

5° Venue barytique, avec accompagnement de fluorine et de minéraux cuprifères B_2.

6° Venue sulfurée à galène pauvre S_2, avec quartz et fluorine.

7° Venue barytique concrétionnée avec fluorine grenue B_3.

8° Venue calcifère et dolomitique C.

9° Venue argentifère sporadique A.

Filons anciens.—Les directions des filons anciens, c'est-à-dire de ceux dont les fentes existaient avant la venue S_1, se laissent grouper le long d'axes très-rectilignes, dont quelques-uns peuvent être suivis sur une grande longueur, et l'étude géométrique des plans de mine permet d'en dresser un premier tableau :

Filons à 8° importants.
— 24° les plus importants.
— 49° assez rares.
— 64° très-importants.
— 80° très-rares.

1° *Filons* N. 8° E.

FAISCEAUX. — Direction, plongement, longueur.	DISTRICTS.	NOMS des filons.
a. — N. 12° E. — O. 60°. Longueur : 11 kilom.(*).	Halsbrücke.	Nachtigall.
	Prophet Samuel.	Himmelfahrt Christi.
	Beschert Glück.	Clemens.
	Himmelfürst.	Kaiser Heinrich.
b. — N. 7° E. — O. 70°. Longueur : 5 kilom.	Beschert Glück.	David.
		Johannes.
	Himmelfürst.	Prinz Albert.
		Himmelfürst.
c. — N. 5°,30' E. — O. 55°. Longueur : 15 kilom.	Freundliche Gesellschaft. . .	Trum.
	Himmelfahrt	Königseer.
		Selige Trost.
		Erzengel.
	Junge Hohe Birke.	Junge Hohe Birke.
	Vereinigt Feld.	Rudolph.
		Felix.

(*) Ce faisceau rencontre dans la mine Beschert Glück un groupe de filons à 24° et paraît l'arrondir.

2° *Filons* N. 24° E.

Ces filons paraissent avoir joué un rôle prépondérant dans toute la partie est et sud du champ de Freiberg; ils ont été, pour la plupart, suivis sans discontinuité d'Himmelfahrt à Himmelfürst, et c'est à leurs intersections avec les autres axes de filons anciens que se trouvent les plus riches exploitations. Dans sa partie largement exploitée, cette zone à 24° s'étend sur une longueur de 15 kilomètres et une largeur de 3 kilomètres, entre Freiberg et Hilbersdorf, d'une part, Nieder-Langenau et la forêt dite Freiberger Rathswald, de l'autre. Elle se prolonge probablement vers le S.-O. jusqu'aux environs de Marienberg où le Kaiser Heinrich sp. et quelques autres filons reproduisent à peu près sa direction, et où d'ailleurs on retrouve le remplissage qui la caractérise à Freiberg. Elle se décompose assez nettement aux environs de Freiberg, en cinq faisceaux principaux très-rectilignes, savoir :

FAISCEAUX.	DISTRICTS.	NOMS DES FILONS.
a. — N. 24° E. — O. 65°.	Sous Freiberg.	Silberner Bergmann.
	Himmelfürst.	Adler Flügel.
	Himmelfahrt.	Ludwig St.
		Thurmhof.
	Beschert Glück.	Johann Georgen.
b. — N. 26° E. — E. 80°.	Einigkeit.	Wilhelm.
		Sonnen Wirber.
	Himmelfürst.	Gregorius.
		Beschert Glück.
		Jung Niklas.
	Himmelfahrt.	Jupiter.
		Frisch Glück.
		Junger Löwe.
	Kröner.	Heinrich.
c. — N. 19° E. — O. 80°.		Kröner.
		Hohe Birke.
	Mord Grube.	Loth.
		Tscherper Roth.
		Mord Gruber.
	Vereinigt Feld.	Robert.
		Weisser Schwann.
	Morgenstern.	Gotthold.
	Junge Hohe-Birke.	Freudenstein.
		Weisser Löwe.
d — N. 25° E.		Drei Eischner.
	Vereinigt Feld.	Johannes.
		Christoph.
		Felix.
e — N. 29° E. — O. 75°.	Morgenstern.	Ludwig St.
		Abendstern.
	Vereinigt Feld.	Gottlob.
		Gerhardt.

Les filons à 24° se rencontrent encore en alignement net au N.-O. de Freiberg, de Friedeburg à Grüneburg, et de Lössnitz à Hals.

On en trouve aussi de nombreux exemples dans les mines des environs de Braunsdorf et dans celles de Siebenlehn; mais les filons n'y ont plus été suivis sur de grandes longueurs.

3° *Filons* N. 49° E.

Ils paraissent constitués par d'anciennes fentes réouvertes en diagonales entre les faisceaux à 24°. Nous n'en signalerons qu'un seul faisceau, surtout important à Himmelfahrt et Morgenstern (Abraham mgg., Morgenstern mgg., Unschuld mgg.), mais dont on peut suivre le prolongement vers le S.-O. jusqu'aux environs de Saint-Mi-

chaelis près Himmelfürst (Wille Gottes mgg.). — Son plongement moyen est de 85° vers l'ouest.

4° *Filons* N. 64° E.

Ils sont surtout abondants au N.-O. de Freiberg où ils constituent la majeure partie des filons exploités; on en connaît cependant un faisceau au sud de Freiberg. Leur plongement moyen est de 75° vers le nord.

FAISCEAUX.	DISTRICTS.	NOMS DES FILONS.
a — 65°.	Friedrich (Rammelsberg). . .	Neue Hoffnung Mgg.
	Himmelfürst.	Concordia.
		Glückauf.
b. — 64°.	Rade Grube.	Abraham.
		Wilhelm.
Longueur : 3 kilom.	Alte Hoffnung Gottes.	Unverhofft Glück.
c. — 65°.	Emmanuel.	Reimsberger Glück.
Longueur : 2 kilom.	Hilfe Gottes.	Friedrich.
d. — 64°.	Romanus.	Bruno.
		Numa.
Longueur : 2 kilom.	Vereinigt Feld (Siebenlehn).	Ernst.
e. — 62°.	Segen Gottes.	Maria.
		Joseph.
		Wolfgang.

5° *Filons* N. 80° E.

Plongeant vers le nord, ces derniers forment quelques faisceaux vraiment distincts des précédents; l'un d'eux comprend Helmrich et Traugott sp. (Gesegnete Bergmanns Hoffnung), et Michaeli sp., et se prolonge ainsi sur près de 3 kilomètres de long; on peut citer encore quelques trums de Concordia et de Jung sp. (Himmelfürst), comme offrant nettement la même direction; nous verrons bientôt que l'étude de détail des intersections et des diverses ramifications filonniennes assigne à cette direction une importance, que n'aurait pas fait soupçonner le peu de développement des filons très-anciens qui la suivent.

Croiseurs. — Les filons du deuxième groupe dont les fentes paraissent postérieures à l'arrivée du remplissage S_1,

ont été beaucoup moins suivis en longueur que ceux du groupe précédent; cependant l'un d'eux, le Halsbrückner sp., a été exploré et est connu sur une longueur de plus de 6 kilomètres. Il se compose de trums à 99° et à 126°; le système à 99° contient les remplissages S_2, B_3; le système à 126° présente les remplissages B_1 et B_2.

On connaît aussi des croiseurs à 160° et à 116°; le remplissage B_2 est fréquent dans les filons à 160°; les fentes à 116° sont en général des failles stériles. Ces divers croiseurs plongent vers le sud dans la partie méridionale du champ, vers le nord dans la partie septentrionale.

1°) *Croiseurs à* 99°. — Ce sont de beaucoup les plus nombreux; ils paraissent dans toutes les parties du champ de Freiberg :

Krebs sp. à Segen gottes; Holländer sp. à Gesegnete Bergmanns Hoffnung; Drei Prinzen sp. à Churprinz; Schwarze Farbe sp. à Beschert Glück, etc.

2°) *Croiseurs à* 116°. — Ils ne se présentent en faisceau nettement accusé qu'au S.-O., à Himmelfürst, et au N.-O. près Roswein (Kaiser Heinrich sp.).

3°) *Croiseurs à* 126°. — Ils constituent deux faisceaux principaux, tous deux aux environs immédiats de Freiberg.

a) Faisceau à 126° alignant, sur une longueur de 6 kilomètres, le Saturnus sp., le Christoph Fl., le Laura Fl. (Morgenstern), le Hoffnung sp., le Neue Hoffnung sp., l'Eduard sp. (Himmelfahrt).

b) Faisceau à 126° alignant, sur une longueur de 7 kilomètres, le Drei Fürsten sp. (Beihilfe), le Halsbrückner sp., le Ludwig sp. (Churprinz).

4° *Croiseurs à* 160°. — Ils forment près Brand (Vertrau auf Gott, Teich Fl., etc.) une seule zone, mais d'une longueur et d'une importance exceptionnelles, puisqu'on en retrouve le prolongement à Segen Gottes, à plus de 25 kilomètres de distance.

A Segen Gottes, cette zone est représentée par le filon Elias Fl., dont la direction est N. 154° E.

§ 2. *Des intersections.* — L'étude attentive de l'allure des filons en profondeur, et de leurs intersections respectives, conduit à modifier singulièrement le tableau relativement simple, que l'on pourrait, à première vue, dresser de leur histoire; un premier fait d'une grande importance consiste en ce qu'un certain nombre des filons du deuxième groupe sont doubles : on en peut citer de chacune des quatre séries ci-dessus énumérées, qui sont coupés par le remplissage S_1, ou le contiennent plus ou moins disloqué par de violentes réouvertures, et côte à côte avec les remplissages plus récents. Nous donnerons comme exemple, pour les filons à 99°, le Drei Prinzen sp. (Churprinz), le Krebs sp. (Segen Gottes), le Schwarze-Farbe sp. (Beschert Glück); pour les filons à 116°, un certain nombre des croiseurs à faible plongement de la partie méridionale de Himmelfürst; pour les filons à 126°, le Neue Hoffnung sp. (Himmelfahrt) et presque tous les filons barytiques de Morgenstern ; enfin pour les croiseurs à 160°, la plupart des filons de cette direction à Himmelfürst : Vertrau auf Gott, Teich Fl., etc.

On arrive ainsi à la conviction que les réouvertures ont joué à Freiberg un rôle prépondérant, et la complication même des phénomènes tend à faire penser que la plupart des fentes sont à rapporter à d'anciens systèmes de montagnes.

L'étude des faits qui paraissent dominer les détails ne nous en paraît pas moins importante, et nous la résumerons ici, en donnant un premier aperçu de l'ordre d'âge que les intersections réciproques assignent aux directions précédemment citées.

GROUPES DE FILONS.	Direction.	REMPLISSAGES.
	degrés.	
1er Groupe. — Filons à.	49 80 64	S_1.
2e Groupe. — Filons à.	8 24	
3e Groupe. — Croiseurs à.	126 160	B_1, B_2.
4e Groupe. — Croiseurs à.	99 116	S_2, B_3.

§ 3. *Tableaux des intersections et des réouvertures observées.*—Nous donnons, dans les tableaux qui suivent, les exemples d'intersections que l'étude de détail des mines de Freiberg nous a présentés. Les filons y sont rangés par ordre d'âge, en commençant par les plus anciens.

DISTRICT MINIER.	ÉTAGE (1).	NOM DU FILON rejeté.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).	NOM DU FILON rejetant.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).
Filons H_{11-12}. — N. 172° E.											
Intersection avec les filons H_9.											
Himmelfürst. . . .	6-7	Trums de Léopold. .	degr. 170	»	Q	*a*	Kersantons.	degr. 140	»	»	*a*
Intersection avec les filons H_3.											
Himmelfahrt. . . .	3 1/2	Trum.	175	»	Q	*a*	Moritz Mgg.	49	E.	S_1	*a*
Intersection avec les filons H_2.											
Himmelfürst. . . .	6-7	Trums.	170	»	Q	*a*	Leopold St.	24	»	S_1	*a*
Filons H_9. — N. 135° E.											
Intersection avec les filons H_3.											
Himmelfahrt. . . .	3 1/2	Trum d'Hoffnung Sp.	140	S.	Q	*a*	Trum de Moritz Mgg.	50	E.	S_1	*a*
Intersection avec les filons H_{11}.											
Himmelfürst. . . .	8	Trum d'Auguste Sp.	130	N.	S_1	*a*	Kalb St.	160	O.	S_1b	*a*
Intersection avec les filons H_2.											
Morgenstern. . . .	»	Friedrich Sp. . . .	130	S.	$S_1B_1B_2$	*r*	Abendstern Mgg. . .	28	O.	S_1	*a*
Intersection avec les filons H_{8-9}.											
Himmelfahrt. . . .	11	Tr. de Neue Hoffn. Fl.	139	S.	S_1	*a*	Neue Hoffnung Fl. .	130	S.	B_1B_2	*r*
Intersection avec les filons H_{7-8}.											
Beschert Glück. . .	»	Tr. de Ferdinand Fl.	139	N.	S_1b	*a*	Friedrich August. . .	113	S.	stérile	*n*
Filons H_3. — N. 46° E.											
Intersection avec les filons H_6.											
Himmelfürst. . . .	7	Trum.	49		stérile	?	Jung Sp.	89	S.	stérile	*r*
Intersection avec les filons H_4.											
Friedrich.	1-2	Tr. d'Hoffnung Mgg.	45	E.	S_1	*a*	Hoffnung Mgg. . . .	65	E.	S_1	*a*
Idem.	1	Glück Mgg.	46		S_1	*a*	Idem.	70	E.	S_1	*a*
Intersection avec les filons H_{0-1}.											
Himmelfürst. . . .	7	Molchner St.	45	O.	S_1b	*a*	Himmelfürst St. . .	7	E.	S_1b	*a*
Intersection avec les filons H_2.											
Himmelfahrt. . . .	9 1/2	Gottlob Mgg.	45	E.	S_1	*a*	Christian St.	21	S.	S_1	*a*
Intersection avec les filons H_{8-9}.											
Himmelfahrt. . . .	10-10 1/2	Abraham Mgg. . . .	45	E.	$T\text{-}S_1$	*a*	Neue Hoffnung Fl. .	130	S.	B_1B_2	*n*
Idem.	10 1/2	Idem.	48	E.	$T\text{-}S_1$	*a*	Christian Fl.	134	S.	B_1	*n*
Idem.	2	Cornelius Mgg. . . .	40	droit	S_1	*a*	Hoffnung Sp.	125	S.	B_1	*n*
Idem.	3 1/2	Kirschbaum Mgg. . .	40	O.	S_1	*a*	Trum d'Hoffnung Sp.	138	S.	B_1	*n*
Intersection avec les filons H_{10}.											
Segen Gottes. . . .	2	Trum de Maria. . . .	52	O.	qS_1b	*a*	Faille.	150	»	stérile	*n*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Morgenstern. . . .	»	Morgenstern Mgg. . .	45	O.	S_1	*a*	Guten Morgen. . . .	102	S.	B_1B_2	*r*

(1) On compte en moyenne 48 mètres par étage.
(2) *a*. Filons anciens dont les fentes existaient avant la venue S_1. | *n*. Filons nouveaux dont les fentes sont postérieures à S_1. *r*. Filons doubles : fentes anciennes réouvertes.

DISTRICT MINIER.	ÉTAGE (1).	NOM DU FILON rejeté.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).	NOM DU FILON rejetant.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).
Filons H_6. — N. 90° E.											
Intersection avec les filons H_4.											
Segen Gottes. . . .	1-2	Krebs Sp.	degr. 93	S.	qS_1bB_2	*r*	Maria.	degr. 58	N.	qS_1bB_2	*r*
Intersection avec les filons H_{0-1}.											
Beschert Glück. . .	2	Schw. Farbe Sp. . . .	92	S.	stérile	*r*	Clemens St.	12	O.	S_1b	*a*
Idem.	2	Walter Sp.	95	S.	stérile	*r*	Idem.	12	O.	S_1b	*a*
Gesegnete Bergmanns Hoffnung.	»	Helmrich Sp. . . .	80	N.	qS_1	*a*	Gottlieb St.	14	O.	qS_1	*a*
Idem.	»	Idem.	80	N.	qS_1	*a*	Johannes St.	7	O.	qS_1	*a*
Churprinz.	8	Drei Prinzen Sp. . .	85	N.	stérile	*r*	Trums.	8	»	qS_1	*a*
Intersection avec les filons H_2.											
Himmelfürst. . . .	7	Trum.	103	»	qS_1	*a*	Leopold St.	24	»	qS_1	*a*
G. Bergmanns Hoffnung (3). . . .	»	Helmrich Sp.	80	N.	qS_1	*a*	G. B. Hoffnung Mgg.	30	O.	qS_1	*a*
Idem.	»	Idem.	80	N.	qS_1	*a*	Christoph Mgg. . . .	33	O.	qS_1	*a*
Churprinz.	8	Drei Prinzen Sp. . .	85	N.	stérile	*r*	Ferdinand St. . . .	22	O.	qS_1	*a*
Intersection avec les filons H_{8-9}.											
Morgenstern. . . .	2	Nimmdich in acht. .	92	S.	S_1B_2	*r*	Tr. de Guten Morgen.	130	O.	B_1B_2	*n*
Michaeli.	»	Michaeli Sp.	82	N.	qS_1	*a*	Otto Fl.	135	S.	B_1	*r*
Intersection avec les filons H_{10}.											
Segen Gottes. . . .	1 1/2	Moses Mgg.	80	N.	qS_1B_2	*r*	August Fl.	157	E.	B_2	*n*
Churprinz.	8	Drei Prinzen Sp. . .	85	N.	stérile	*r*	Neptune Fl.	152	droit	stérile	*n*
Segen Gottes. . . .	2-3	Krebs Sp.	93	S.	qS_1b	*r*	Faille.	155	»	stérile	*n*
Idem.	3	Idem.	93	S.	qS_1b	*r*	Elias Fl.	152	droit	B_2	*n*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Gesegnete B. Hoffnung.	»	Kelmrich Sp. . . .	80	N.	qS_1	*a*	Holländer Sp. . . .	99	N.	B_1	*r*
Churprinz.	»	Drei Prinzen Sp. . .	85	N.	stérile	*r*	Drei Prinzen Sp. . .	99	N.	S_2B_3	*r*
Filons H_4. — N. 64° E.											
Intersection avec les filons H_2.											
Romanus.	Wolfst.	Bruno Mgg.	67	N.	qS_1	*a*	Tr. de Vespasian St.	23	O.	qS_1	*a*
Vereinigt feld. . .	Stolln.	Ernst Mgg.	67	N.	qS_1	*a*	Trums.	24	O.	qS_1	*a*
Intersection avec les filons H_{10}.											
Christ Bescherung.	»	Wilhelm.	64	N.	qS_1	*a*	Friedrich Fl.	157	E.	stérile	*n*
Segen Gottes. . . .	3	Joseph Mgg.	65	N.	qS_1b	*a*	Elias Fl.	152	droit	B_2	*n*
Idem.	2 1/2	Wolfgang Mgg. . . .	64	N.	qS_1b	*a*	August Fl.	160	E.	C	*n*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Segen Gottes. . . .	3	Joseph Mgg.	65	N.	qS_1b	*a*	Faille.	107	»	stérile	*r*
Intersection avec les filons H_1.											
Friedrich.	2	Hoffnung Mgg. . . .	67	E.	S_1	*a*	Wolfgang St. . . .	5	O.	stér. A	*r*
Filons H_{11}. — N. 167° E.											
Intersection avec les filons H_{0-1}.											
Vereinigt-feld. . .	Stolln.	Fortuna St.	169	»	qS_1	*a*	Trums.	7	»	qS_1	*a*

(1 et 2) Voir les notes explicatives à la page 184. | (3) Müller.

DISTRICT MINIER.	ÉTAGE (1)	NOM DU FILON rejeté.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (1).	NOM DU FILON rejetant.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).
			degr.					degr.			
Intersection avec les filons H_{5-6}.											
Himmelfürst. . . .	7	David Fl.	161	O.	S_1b	*a*	Concordia Mgg. . . .	75	S.	S_1C	*r*
Idem.	7	Felix Fl.	178	O.	S_1b	*a*	Idem.	82	S.	S_1C	*r*
Intersection avec les filons H_2.											
Himmelfürst. . . .	6-7	Seidenschwanz. . . .	162	E.	S_1	*a*	Molchner St.	26	O.	S_1	*n*
Intersection avec les filons H_{8-9}.											
Mordgrube.	5	Leander Fl.	168	O.	S_1	*a*	Faille.	122	»	stérile	*n*
Intersection avec les filons H_{10}.											
Himmelfürst. . . .	»	Teich Fl.	165	O.	S_1b	*a*	Teich Fl.	165	O.	B_2S_1b	*r*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Himmelfürst. . . .	7	Jupiter Fl.	158	O.	S_1b	*a*	Jung Sp.	99	»	stérile	*r*
Idem.	»	Idem.	160	O.	S_1	*a*	Donat Sp.	100	S.	id.	*n*
Mordgrube.	5	Tobias Fl.	165	»	S_1	*a*	Tr. de Jung Himmlisch Heer. . . .	97	S.	id.	*n*
Intersection avec les filons H_{7-8}.											
Himmelfürst. . . .	2	Seidenschwanz. . . .	162	E.	S_1	*a*	Donat Sp.	112	S.	stérile	*n*
Filons H_{0-1}. — N. 6° E.											
Intersection avec les filons H_{5-6}.											
Beschert Glück. . .	5-6	Johannes St.	10	droit	S_1b	*a*	Tr. de Friedrich Sp.	75	S.	C	*r*
Intersection avec les filons H_2.											
Himmelfahrt. . . .	8-8 1/2	Erzengel.	3	O.	S_1	*a*	Frischglück St. . . .	27	O.	S_1	*n*
Mordgrube. . . .	3	Jung Mordgrübner. .	5	O.	S_1	*a*	Loth St.	23	O.	S_1	*n*
G. Berg. Hoffnung.	»	Gottlieb.	12	»	qS_1	*a*	Christoph Mgg. . . .	33	»	qS_1	*n*
Intersection avec les filons H_{8-9}.											
Himmelfahrt. . . .	10 1/2	Trum.	7	»	S_1	*a*	Neue Hoffnung. . . .	130	S.	B_1	*n*
Himmelfürst. . . .	8	Silberfund St. . . .	8	droit	S_1bC	*a*	August Sp.	125	N.	stérile	*r*
Idem.	7	Victoria St.	3	O	S_1b	*a*	Idem.	125	N.	id.	*r*
Mordgrube. . . .	5	Leander St. (au N.).	0	O.	S_1	*a*	Heinrich Sp.	122	S.	C	*n*
Idem.	5	Gross Schönberg St.	5	O.	S_1	*a*	Idem.	122	S.	C	*n*
Intersection avec les filons H_{10}.											
Beschert-Glück. . .	5-6	Johannes St.	14	droit	S_1b	*a*	Grüngarten Fl. . . .	150	O.	stérile	*r*
Himmelfürst. . . .	7	Dorothea St.	70	E.	S_1b	*a*	Vertrau auf Gott. . .	163	O.	id.	*r*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Beschert-Glück. . .	5-6	Johannes.	7	droit	S_1b	*a*	Tr. de Friedrich Sp.	102	S.	stérile	*r*
Idem.	5-6	Idem.	7	id.	S_1b	*a*	T. de Schwarze Farbe.	89	S.	id.	*r*
Intersection avec les filons H_{7-8}.											
Beschert-Glück. . .	4	Johannes.	10	droit	S_1b	*a*	T. de Schwarze Farbe.	114	S.	stérile	*r*
Idem.	5-6	Idem.	0	»	S_1b	*a*	Tr. de Friedrich Sp	119	S.	C	*r*
Mordgrube. . . .	3	Jung Mordgrübner. .	5	O.	S_1	*a*	Trums.	113	»	stérile	*n*
Filons H_{5-6}. — N. 81° E.											
Intersection avec les filons H_{10}.											
Himmelfürst. . . .	7	Jung Sp.	75	S.	stérile	*r*	Vertrau auf Gott Fl.	163	O.	S_1bB_1	*r*

(1 et 2) Voir les notes explicatives à la page 184.

DISTRICT MINIER.	ÉTAGE (1)	NOM DU FILON rejeté.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).	NOM DU FILON rejetant.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouvertures (2).
			degr.					degr.			
Filons H_2. — N. 24° E.											
Intersection avec les filons H_{8-9}.											
Morgenstern. . . .	»	Abendstern Mgg. . .	25	droit	S_1	*a*	Friedrich Sp.	126	S.	B_1B_2	*r*
Himmelfahrt. . . .	7	Frischglück.	26	O.	S_1	*a*	Neue Hoffnung Fl. . .	130	S.	B_1	*n*
Idem.	2	Glückstern.	20	O	S_1	*a*	Hoffnung Sp.	125	S.	B_1	*n*
Idem.	9 1/2	Frischglück.	17	O.	S_1	*a*	Failles.	130	»	stérile	*n*
Idem.	5	Krieg-und-Friede. .	26	»	S_1	*a*	Hoffnung.	128	S.	id.	*n*
Mordgrube. . . .	5	Loth St.	17	O.	S_1	*a*	Faille.	132	»	C	*n*
Himmelfahrt. . . .	»	Ludwig St.	23	O.	S_1	*a*	Ludwig Sp.	126	»	B_1A	*n*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Himmelfürst. . . .	6-7	Leopold St.	24	»	S_1b	*a*	Jung Sp.	85	S.	stérile	*r*
Idem.	7	Idem.	24	»	S_1b	*a*	Donat Sp.	105	S.	C	*n*
Mordgrube. . . .	5	Loth St.	17	O.	S_1	*a*	Jung Himmlisch Heer Sp.	95	»	stérile	*r*
Churprinz.	6	Friedrich St.	25	O.	qS_1	*a*	Tr. de Drei Prinzen.	95	»	B_3	*r*
Filons H_{8-9}. — N. 129° E.											
Intersection avec les failles H_{3-4}.											
Friedrich.		Tr. de Saturnus. . .	135	S.	B_1	*n*	Neue Hoffnung. . . .	57	E.	stérile	*r*
Intersection avec les filons H_{6-7}.											
Churprinz.	»	Ludwig Sp.	120	N.	B_1	*n*	T. de Drei Prinzen Sp.	100	N.	S_2B_3	*r*
Morgenstern. . . .	2	Tr. de Guten-Morgen Sp.	132	S.	B_1	*n*	Trum.	102	S.	B_2	*r*
Intersection avec les failles H_{2-3}.											
Himmelfahrt. . . .	8-8 1/2	Unbennannt.	129	S.	B_1	*n*	Tr. de Frischglück. .	25	O.	stérile	*r*
Morgenstern(3). . .	»	Jacob Sp.	130	S.	B_1	*n*	Tr. de Ludwig St. . .	29	O.	id.	*r*
Idem(3).	»	Abraham Sp.	130	S.	B_2	*n*	Idem.	29	O.	id.	*r*
Failles H_{3-4}. — N. 57° E.											
Filons H_{10}. — N. 155° E.											
Intersection avec une faille E. O.											
Segen Gottes. . . .	1 1/2	August Fl.	157	N.	B_2	*r*	Faille.	75	S.	stérile	*n*
Filons H_{6-7}. — N. 99° E.											
Intersection avec une nouvelle réouverture E. O.											
Churprinz.	»	Drei Prinzen Sp. . .	99	N.	S_2	*r*	Drei Prinzen.	99	N.	B_3	*r*
Filons H_{7-8} — N. 114° E.											
Failles H_1. — N. 5° E.											
Failles H_{2-3}. — N. 28° E.											
Réouvertures récentes O. E.											

(1 et 2) Voir les notes explicatives à la page 184. | (3) Vogelgesang.

Les observations qui précèdent ne suffisent pas à classer définitivement, l'une par rapport à l'autre, toutes les fentes qui y sont mentionnées : les intersections relatives aux anciens filons réouverts sont rarement nettes, et d'ailleurs plusieurs faisceaux n'ont pas encore été explorés à leurs points de rencontre.

Nous mentionnons dans le tableau qui suit les points de repère que nous donnent néanmoins ces observations ; ils ne sont pas eux-mêmes à l'abri de toute controverse.

Tout au moins ressort-il de cet ensemble de faits qu'il existe à Freiberg plus de seize systèmes de fentes différents, car malgré les incertitudes que nous venons de signaler, il est facile de voir qu'aucun d'eux ne peut rentrer dans un des précédents : ils diffèrent tous les uns des autres par l'âge ou pour la direction. Pour une telle complication de phénomènes, les intersections, avec leurs causes multiples d'erreur, ne suffisent plus : on ne doit leur demander que des points de repère qui permettent de comparer avec sûreté le tableau des systèmes de filons à celui des soulèvements qui ont eu des retentissements au voisinage.

Ordre chronologique.	SYSTÈMES DE FILONS et de failles.	REMPLISSAGES.	
1	H_{11-12}	Antérieur à Q	
2	H_9	— Q	
3	H_3	— T	
4	H_6, H_{11} ?	— S_1	
5	—, H_4	— S_1	
6	—, H_{11}	— S_1	
7	H_{0-1}	— S_1	
8	—, H_{5-6}	— S_1	
9	H_2	— S_1	
10	H_{8-9}	Antérieur à B_1	Postérieur à S_3
11	—, H_{3-4}	— B_2	— B_1
12	—, H_{10}	— B_2	
13	H_{6-7}, H_{7-8}	Antérieurs à S_2	Postérieurs à B_2
14	—, H_1	Antérieur à A.	Postérieur à B_2
15	—, H_{2-3}		— B_2
16	Réouvertures EO.	Antérieures à A.	Postérieures à B_2 et S_3

4. *Comparaison avec les systèmes de montagnes.* — Si nous nous reportons au tableau des systèmes de montagnes de la Saxe (page 152), nous pouvons, dès à présent, assimiler avec quelque probabilité

Les filons	H_9	aux anciennes fentes	du Morbihan.
—	H_3	—	du Westmoreland.
—	H_6	aux retentissements	du Land's-End.
—	H_2	—	du Rhin.
—	H_{8-9}	—	du Thuringerwald.
—	H_{7-8}	—	des Pyrénées.
Les réouvertures	E.-O.	—	des Alpes principales.

Ces points de repère vont nous permettre de déterminer les systèmes auxquels il faut rattacher les réouvertures des filons H_{11-12}, H_6, H_4, H_{0-1} et H_2 (*).

1° *Réouverture des filons* H_{11-12}. — *a*) Les fentes H_{11-12}, qui sont remplies de quartz ancien antérieur aux Kersan-

(*) Nous admettrons comme démontré, pour le champ de Freiberg, le principe suivant : les réouvertures violentes d'anciennes fentes déjà existantes ne sont produites en général que par des systèmes de montagnes à peu près parallèles ou plus rarement perpendiculaires aux directions des réouvertures.

Nous entendons par réouverture violente une réouverture par *glissement* avec accompagnement de glaces et d'argiles étirées aux salbandes : les réouvertures par écartement sont plus rares et présentent des caractères tout différents ; le remplissage nouveau y est en général continu. Tels ne sont pas les phénomènes qui ont accompagné la plupart des réouvertures à Freiberg ; le remplissage S_1 dans les anciens filons, B_1 dans les filons H_{8-9}, B_2 dans les H_{10} de Segengottes, sont les seuls remplisssages *continus*. Les remplissages qui ont suivi les réouvertures, sont au contraire en colonnes séparées par de longs intervalles stériles ; exemple : les remplissages S_2 et S_3 dans le Drei Prinzen Sp ; le remplissage B_2 dans les H_6 réouverts ; le remplissage argentifère A dans la plupart des croiseurs.

Dans l'hypothèse où le frottement intervient, le phénomène des réouvertures est comparable au phénomène des cassures proprement dites : dès lors le principe du parallélisme des accidents contemporains lui est applicable.

tons d'Himmelfürst, et probablement contemporain du gneiss rouge, ne peuvent être rapportées qu'au système de la Vendée ; elles se présentent d'ailleurs dans le champ de Freiberg, comme antérieures à toutes les autres cassures, y compris les H_9 et les H_8.

b) Les filons H_{11} sont certainement antérieurs aux H_{0-1} et postérieurs aux H_9 ; nous avons vu que la direction H_{11-12} a subi des réouvertures d'importance inégale, la première à peu près contemporaine du Land's-End, la seconde à rapporter au Forez, et à l'époque des éruptions de porphyres n° 1 ; c'est au Forez qu'il faut sans doute rapporter le plus grand nombre des filons H_{11}.

c) Les filons H_{10} ne nous ont pas offert à Freiberg d'intersection nette avec les H_{8-9} ; à Himmelfürst, ils se présentent constamment comme de simples réouvertures des anciennes fentes H_{11} ; à Segen Gottes, au contraire, comme des fentes récentes à remplissage B_2, coupant le remplissage S_1 ; dès lors, leur assimilation n'est possible qu'avec le système du mont Viso, que nous savons déjà très-marqué dans la Saxe, où il constitue de puissants filons ferrugineux : l'étude de détail des remplissages nous amènera à préciser cette analogie.

2° ***Réouvertures des filons*** H_6. Un des faits les plus importants qui résultent des observations consignées au paragraphe précédent, est l'ancienneté et le nombre considérable des fentes H_6, pour la plupart stériles, que présente le champ de Freiberg. Tous les filons de cette direction qu'il nous a été donné d'étudier de près : le Drei Prinzen Sp. à Churprinz, les prétendus croiseurs stériles ou barytiques des mines Beschert Glück, Morgenstern, etc., sont des filons doubles, rarement minéralisés; mais dont les fentes primitives sont antérieures au remplissage S_1, et aux systèmes H_{0-1}, H_2.

a) Dès lors, les filons H_6 ne peuvent être assimilés qu'au Land's-End, dont nous avons vu les nombreux et remarquables retentissements sur la géologie générale de la Saxe. Leur direction est assez variable : ils oscillent entre 80° et 100° ; toutefois le nombre des fentes comprises entre 90° et 100° est de beaucoup le plus considérable. Cette incertitude dans la direction des filons H_6 s'explique par ce fait que le Land's-End a aussi agi dans les environs de Freiberg sur la schistosité des roches encaissantes : ce sont plutôt des fentes de plissement que des failles produites à grande distance par le contre-coup d'un système éloigné ; dans de pareilles conditions, le parallélisme des accidents n'est jamais très-rigoureux.

b) Ceux des filons H_6 dont la direction est voisine de 80°, ont été probablement réouverts par le système H_{5-6}, qui nous présente quelques exemples de fentes postérieures aux filons H_{0-1} ; comme d'ailleurs elles contiennent le remplissage S_1, on ne peut les assimiler qu'au système des Pays-Bas.

c) Ceux des filons H_6, dont la direction est voisine de 100°, ont été violemment réouverts par les filons H_{6-7}, et ces derniers sont en relation constante avec les fentes généralement stériles du système H_{7-8} (Pyrénées) qui leur paraissent contemporaines : nous citerons ici l'exemple des filons Friedrich Sp., Schwarzfarbe Sp. (Beschertglück).

d) Le Drei Prinzen sp. offre le cas relativement rare d'un filon H_{6-7} minéralisé; le remplissage S_2 qu'il contient par place en abondance, y a été concassé par une violente réouverture, et ses morceaux aigus sont entourés par un remplissage concrétionné de barytine B_3. Or la réouverture qui a donné passage au remplissage S_2 doit être rapportée aux Pyrénées ; nous verrons d'autre part qu'un dernier soulèvement E.-O., postérieur à tous les autres remplissages, a précédé la venue argentifère A ; il faut donc rapporter la réouverture B_3 à un système compris entre les Pyrénées et les Alpes principales : le Tatra seul nous paraît remplir les conditions d'âge et de direction nécessaires.

c) Citons enfin ici cette dernière réouverture E.-O. antérieure à la venue argentifère, probablement contemporaine des Alpes principales, et que nous aurons occasion d'étudier en détail, à Joachimsthal (*).

3°) *Réouverture des filons* H_4. — *a*) Les filons H_4 se distinguent des fentes H_3 par leur orientation moyenne qui en diffère de plus de 18°, par la direction très-rectiligne en faisceaux très-allongés que présentent les fentes H_4, tandis que les veines H_3 sont en général sinueuses et peu suivies en longueur; enfin nous avons cité quelques exemples d'intersections d'ailleurs difficiles à observer, qui tendent à établir la priorité des filons H_3. Ces derniers se rapportent vraisemblablement au Westmoreland, tandis qu'il y a toute probabilité pour que les filons H_4 aient été produits par le système du gneiss de Mobendorf (primitif de Lisbonne), qui leur est à peu près parallèle, et dont les traces violentes sont si nettes dans le voisinage immédiat de Freiberg.

b) La mine de Friedrich nous présente l'exemple très-net d'une réouverture H_{3-4}, postérieure au remplissage B_1. Le filon Neue-Hoffnung mgg. N. 57° E., plongeant vers le sud, rempli d'un quartz, avec mouches de pyrite cuprifère à rapporter au remplissage S_1, est traversé au voisinage de Saturnus sp., N. 132° E., par une multitude de veinules barytiques à remplissage B_1 ; plusieurs des trums de Neue-Hoffnung ont, postérieurement à B_1, subi des réouvertures le long de leurs salbandes, et ces réouvertures rejettent plusieurs fois les filets barytiques (Pl. VIII, *fig.* 2).

Quelques filons anciens H_4 de Segen Gottes ont été réouverts postérieurement au remplissage S_1 et ont admis le remplissage B_2 dans leur réouverture (ex. Maria mgg.).

En résumé la réouverture H_{3-4} paraît peu importante :

(*) Un des puits de Churprinz a laissé jaillir en profondeur une source thermale.

elle est postérieure à B_1 et antérieure à B_2 ; c'est probablement un des rares retentissements que le système de l'Erzgebirge et de la Côte-d'Or ait eus dans les plaines de la Saxe.

4° *Réouverture des filons* H_{0-1}. — *a*) Le système H_{0-1} est nettement intercalé à Freiberg entre le soulèvement H_4 (Lisbonne), et les filons H_2 (Rhin). Dès lors il ne peut y avoir aucun doute relativement à son assimilation avec le système du nord de l'Angleterre. Comme vérification, les filons H_{5-6} (Pays-Bas) lui paraissent postérieurs, et les filons H_{11} (Forez) lui sont antérieurs.

b) La mine de Friedrich nous présente un filon H_{0-1}, le Wolfgang st. N. 5° E., plongeant vers l'ouest, que les anciens mineurs ont activement exploité aux étages supérieurs, et qui en profondeur se comporte comme un large faisceau de failles stériles, présentant seulement quelques traces de fluorine et de remplissage argentifère. Ces failles sont postérieures au remplissage S_1 et paraissent couper le remplissage B_1. Le seul système de montagnes postérieur au Thuringerwald qui puisse être comparé à la réouverture du Wolfgaug, est celui de la Corse et de la Sardaigne (*).

5° *Réouverture des filons* H_2. — *a*) Les filons H_2 qui se rapportent si exactement, comme direction et comme âge relatif, au système du Rhin, sont les plus récents des filons anciens, antérieurs au remplissage S_1 ; les exemples de rejet de ces filons, fente et remplissage, par les H_{8-9} à remplissage barytique B_1, sont pour ainsi dire classiques.

b) Un fait moins connu, et cependant assez général à Freiberg, consiste dans la réouverture de ces filons H_2, qui sont quelquefois accompagnés aux salbandes par des failles argileuses, non-seulement postérieures au remplis-

(*) On sait combien le système de la Corse et de la Sardaigne est important, au point de vue des remplissages sulfurés récents, en Hongrie et en Toscane. Peut-être serait-il intéressant de reprendre l'exploration du Wolfgang st.

sage S_1, mais aussi coupant les barytines B_1 et B_2. Ce phénomène se trouve être, à Schneeberg, non plus l'exception, mais la règle, ainsi que nous le verrons plus tard.

Frischglück st., N. 21° E., dans la mine Himmelfahrt, nous en a présenté un exemple remarquable au sud de Neue Hoffnung Fl., dans les abatages entre le 8 et le 8 1/2 étage. Il y coupe, aux salbandes, un croiseur barytique B_1, dont le remplissage traverse néanmoins la venue sulfurée S_1 qui remplit Frischglück st. (Pl. VIII, F. 3).

Ludwig st. (*) coupe de même le Jacob et l'Abraham sp., ainsi que leurs remplissages B_1 et B_2 ; il ne contient lui-même que des morceaux de quartz pris dans des argiles (Pl. VIII, *fig.* 4).

Enfin certains filons de la mine de Himmelfürst, H_{0-1} et H_2, ont subi une réouverture violente qui a été postérieurement remplie par une calcite blanche, englobant des morceaux concassés de remplissage S_1 : ainsi le Silberfund st. H_{0-1}, entre le huitième et le neuvième étage est croisé et rejeté de cette façon par un beau trum exclusivement calcifère et pyriteux ; la direction de ce trum est comprise entre 20 et 30°.

Nous résumerons les faits qui précèdent dans le tableau suivant, dans lequel nous avons mis en regard :

1°) Les systèmes de filons, de croiseurs et de failles, avec les réouvertures auxquelles ils correspondent ;

2°) Les systèmes de soulèvements que l'étude générale de la Saxe nous a conduits à admettre ;

3°) Enfin les principaux systèmes de montagnes de l'Europe.

(*) Vogelgesang.

SYSTÈMES de montagnes de l'Europe.	Direction.	Systèmes de la Saxe	Direction.	RETENTISSEMENTS PRÈS FREIBERG.	Systèmes de filons.	Réouvertures.	Direction.	Remplissages.
	degr.	nos	degr.				degr.	
Vendée	170	1	170		H_{11-12}	»	172	Q
Longmynd	35	2	34					
Morbihan	140	3	135	Gneiss gris et rouge près Brand — Filons de porph. I, de Kersantons.	H_9	»	135	Q S_1
Westmoreland	63	4	51	Gneiss près Braunsdorf	H_3	»	46	T S_1
Land's-End	96	5	93	Gneiss près Freiberg : Gabbros, Serpentine, Pegmatites	H_6	H'_{11-12}	90	S_1
Ballons	111	6	106	Gneiss d'Himmelfürst				
Lisbonne	60	7	59	Filons de porphyre I	H_4	»	64	S_1
Forez	177		168	Filons de porphyre I et III	H_{11}	H''_{11-12}	167	S_1
N. de l'Angleterre	7				H_{0-1}	»	6	S_1
Pays-Bas	92	8			H_{5-6}	H'_6	81	S_1
Rhin	24	9	28	Filons de felsitfels (porphyre III)	H_2	»	24	S_1
Thuringerwald	132		130	Filons de porphyre trachytique III	H_{8-9}	»	129	B_1 B_2
Mont Seny	43	10						
Côte-d'Or	56	11	57		H_{3-4}	H'_4	57	stérile
Mont Viso	162	12	160		H_{10-11}	H''_{11-12}	155	B_2
Pyrenées	114	13	117		H_{7-8}	H'_8	116	S_2
Corse et Sardaigne	178				H_1	H'_{0-1}	5	st. et A
Tatra	94				»	H''_6	»	B_3
Alpes occidentales	33	14	34		H_{2-3}	H'_2	28	st. et C
Alpes principales	79	15	78		H_{5-7}	H'^{V}_6	»	A
Ténare	168	16	170					
Etna-Ténériffe	78	17	75					

Nous ferons au sujet du tableau précédent les observations suivantes : malgré la complication que présentait la liste complète des filons et des failles observées à Freiberg, cette liste qui se compose de dix-huit systèmes ou réouvertures différents, coïncide d'une façon remarquable avec la liste des soulèvements que l'étude géologique du pays nous avait fait reconnaître, indépendamment des phénomènes filonniens; elle répond aussi très-exactement à la série générale des systèmes de montagnes de l'Europe, et présente par rapport à cette série quelques points de repère sur lesquels il convient d'insister dès à présent.

Tels sont, par exemple, les deux systèmes du Rhin et du Thuringerwald, que reproduisent avec la plus grande netteté les filons H_2 et H_{8-9} des environs immédiats de Freiberg. Telles sont aussi les nombreuses réouvertures des filons H_6 (Land's-End, Pays-Bas, Pyrénées, Tatra, Alpes principales).

Un seul de ces systèmes de réouverture, celui des Pyrénées, s'éloigne d'une façon notable de la direction du Land's-End : nous avons vu que son action s'est manifestée, surtout au sud de Freiberg, près Brand et Erbisdorf, où il a produit des fentes stériles N. 114° E., et violemment réouvert les anciens filons H_6 : les fentes à 114° présentent de plus cette particularité qu'au S.-O. de la mine Himmelfürst, à l'extrémité même du champ d'exploitation actuel de Freiberg, elles ont réouvert d'anciennes fentes d'un faible plongement (40 à 60°) vers le sud, et qui sont précisément parallèles à la schistosité de la roche encaissante N. 116° E. ; ces anciens filons que nous avons à dessein omis des classifications précédentes, sont certainement à rapporter à la cause même qui a influencé en dernier lieu la schistosité aux environs d'Himmelfürst; peut-être y a-t-il lieu d'y voir un retentissement du système des ballons, qui a d'ailleurs si peu agi sur les terrains stratifiés de la Saxe. Les quelques épanchements de grünstein, affectant dans les thonschiefers une direction N. 110° E., sont toujours à la limite d'une des trois zones si caractérisées que les plis du Land's-End y ont tracées, et aux points où ces plis se raccordent avec ceux des autres systèmes.

CHAPITRE III. — Des remplissages.

§ 1. *Remplissages au point de vue géologique.* — Nous donnons ici une liste générale des remplissages que présentent les filons de Freiberg, liste qui s'applique d'ailleurs à tous les filons métallifères de la Saxe, postérieurs aux filons d'étain.

Nous chercherons ensuite à justifier l'ordre adopté, par quelques-uns des exemples que présentent les mines de Freiberg.

Venues anciennes, accidentelles à Freiberg.

Q. Quartz cristallisé souvent accompagné de mica, cassure à éclat gras, couleur d'un blanc jaunâtre. Ce quartz a été signalé dans les filons H_{11-12} et H_9 ; il est à Himmelfürst probablement contemporain du gneiss rouge, et certainement antérieur aux kersantons.

T. Mélange d'un remplissage talqueux, argileux, blanc verdâtre, avec des cristaux souvent assez développés de mispickel, isolés dans la pâte, et développés en semis uniforme.

Nous ne l'avons trouvé que dans les filons H_3 à Himmelfahrt.

V_1. *Venue sulfurée.* S_1.—Elle se présente à Freiberg dans tous les filons anciens, y compris les H_2 ; elle se compose généralement des remplissages suivants :

1°) Quartz ancien grenu, grisâtre, à cassure cireuse, paraissant souvent imprégner la roche encaissante, et généralement accompagné de mouches de pyrite et de mispickel, ou de cristaux de Weisserz (mispickel argentifère de Braunsdorf, contenant 3 à 6 p. 1000 d'argent).

2°) Mélange caractéristique de blende noire, galène, pyrite (fer et cuivre), et mispickel. Dans ce mélange, la blende paraît souvent la plus ancienne; puis vient la galène contenant 1,5 à 2 p. 1000 d'argent; on peut constater la trace d'une petite dislocation précédant l'arrivée des pyrites, souvent très-abondantes; les fendillettes d'arrivée de ces pyrites rejettent alors les veinules de galène et de blende noire; mais elles contiennent aussi ces deux minéraux, ce qui semble prouver une série de dissolutions et de dépôts successifs.

3°) Quartz coupeur après dislocation, tantôt en veinules, tantôt en veines comparables au reste du remplissage ; ce quartz est très-blanc et sa cassure présente un éclat laiteux.

4°) Manganèse carbonaté et dolomite rose.

5°) A ces carbonates succède ou se mêle un quartz cristallisé semi transparent, à cassure vitreuse, avec mouches de galène contenant jusqu'à 5 millièmes d'argent, et traînées plus rares de mispickel, de blende brune, de poly-

telite (tétraédrite argentifère et très-peu cuprifère), d'argent rouge non remanié et bien en place, d'argent sulfuré, etc.

6°) Dolomite plus récente rose, rouge ou jaune.

V_2). *Venue barytique* B_1. — Elle remplit les filons H_{8-9}, et quelquefois les H_6 réouverts.

Baryte sulfatée, blanche ou rouge à grandes faces, de clivage généralement seule, quelquefois accompagnée d'un quartz grenu grisâtre avec mouches de galène, bournonite, cuivre gris.

V_3). *Venue ferrugineuse* F_1. — Elle remplit certains filons H_{8-9}, H_{10}, mais se présente très-rarement à Freiberg.

a) Quartz grenu ferrugineux d'un rouge mat (Rother Horn).

b) Quartz cristallin améthiste, souvent concrétionné, à cassure vitreuse.

c) Fer oligiste en cristaux et hématite rouge compacte; ne se présente guère à Freiberg que dans les druses de la barytine B_1.

V_4). *Venue barytique* B_2, *avec fluorine* R_1, *et minéraux ferreux* F_2. Elle se présente à Freiberg dans les filons H_{10}.

a) Fluorine cubique présentant des colorations variées, formant de grandes druses; quelquefois accompagnée d'un fer carbonaté dolomitique jaune-miel, et presque toujours caractérisée par la présence en quantité notable de minéraux cuprifères, cuivre gris, cuivre pyriteux.

b) Barytine blanche ou rouge, très-analogue à B_1; présentant un plus grand nombre de petites facettes cristallines.

Les filons F_1 sont en partie contemporains de la venue V_4; à l'hématite rouge succède une hématite brune et des minerais manganésifères certainement postérieurs à B_1.

V_5). *Venue sulfurée* S_2 *avec fluorine* R_2. — Elle n'a été signalée jusqu'à présent que dans les réouvertures H_{6-7}, contemporaines des Pyrénées. Elle se compose d'un quartz

blanc à cassure saccharoïde, identique au Zucker-quartz de Schneeberg. Il se présente en mélange intime avec la fluorine massive et cristallisée, et contient de grandes mouches de galène à clivages brillants, très-pauvre en argent (4 à 6 dix-millièmes). Elle est parfois accompagnée d'une blende jaunâtre.

C'est à cette période que nous rapportons certaines combinaisons antimonifères et cobaltifères (Mobendorfer spiessglaserz Formation).

V_6) *Venue barytique* B_3 *avec fluorine* R_3. — Réouverture violente des H_{6-7} déjà remplis de la venue S_2. Elle comprend une barytine concrétionnée jaunâtre, avec alternances de fluorine et lits intercalés de marcassite et de galène concrétionnées.

V_7 *Venue de calcite*. C. — Contemporaine des réouvertures H_{2-3} (Alpes occidentales).

La calcite se présente à Freiberg avec des âges très-différents, et, notamment près des grünsteins, il doit y en avoir de très-ancienne. Néanmoins elle ne paraît guère dans les druses que postérieurement à toutes les venues précédentes, et nous avons eu occasion d'en signaler la présence à l'état de venue puissante dans certaines réouvertures très-récentes. Elle y est fréquemment associée à des dolomites de coloration variée. La pechblende et l'arsenic natif, dont on a signalé la présence à Freiberg, doivent lui être adjoints.

V_8 *Venue argentifère*. A. — Minéraux d'argent en druses au croisement des filons récents réouverts par les dernières secousses EO (Alpes principales), avec les anciens filons à remplissage S_1.

§ 2. *Des groupement habituels des minéraux et des relations qui existent entre les diverses venues.*

Q. Quartz ancien. — Le Moritz mgg H_3 (Himmelfahrt, 3 1/2 str.), au voisinage de Hoffnung Sp., coupe, fente et remplissage, deux filons argileux avec veinules de quartz

ancien, H_9 et H_{11-12}. On peut facilement constater dans le croiseur une veinule continue de galène S_1 (Pl. VIII, *fig.* 5).

Dans les abatages voisins de Moritz mgg., les apparences se modifient de la façon indiquée Pl. VIII, *fig.* 6, et l'on peut voir dans cet exemple la complication que les phénomènes de réouverture introduisent à Freiberg : le filon Hoffnung Sp., H_{8-9}, qui est voisin du point étudié, a réouvert un certain nombre des anciennes fentes H_{11-12} et H_9 ; celles-ci ont rejeté les veinules de galène du Moritz mgg. ; puis une réouverture H_{3-4} a fait jouer les salbandes de ce dernier filon, de manière à donner les rejets multiples observés en dernier lieu.

T. *Remplissage talqueux mispickélifère.* — Il se présente en abondance dans le Gottlob mgg. H_3 (Himmelfahrt), en compagnie du remplissage S_1, qui lui paraît nettement postérieur et remplit, de ses veinules, les fendillettes de la roche talqueuse.

V_1. *Remplissage sulfuré* S_1. — Les différents minéraux qui composent la grande venue métallifère de Freiberg, se trouvent très rarement tous ensemble dans les mêmes filons ; ils forment volontiers certains groupements caractéristiques, auxquels les mineurs allemands ont donné des noms spéciaux.

1°) *Edle-quartz-Formation.* — Association des quartz n°s 1, 3 et 5 (§ 1, page 198) avec le mispickel et les minéraux argentifères. Cette association se présente souvent en compagnie des sulfures n° 2 qui sont alors plus argentifères que de coutume, et quelquefois avec la dolomite n° 6.

2°) *Kiesige - Formation.* — Association des quartz et sulfures n°s 1, 2, 3, fréquemment accompagnés de la dolomite n° 6.

3°) *Edle-braunspath-Formation.* — Association des sulfures, quartz et carbonates n°s 4, 5, 6, fréquemment accompagnés des venues n°s 1, 2.

1°) L'*Edle-quartz-Formation* paraît surtout au nord et

au nord-ouest de Freiberg ; presque exclusivement quartzeuse près des épanchements porphyriques de Braunsdorf, elle est accompagnée, dans le gabbro de Siebenlehn, par une puissante formation de calcite, qui paraît surtout en réouverture dans les H_2 des mines Romanus et Vereinigt-feld ; dans le gabbro de Roswein, on constate, outre la calcite, une venue dolomitique antérieure aux barytines.

Ainsi la mine gesegnete Bergmanns-Hoffnung, à Braunsdorf, nous présente les associations suivantes :

a) Quartz ancien et blende noire (n°s 1 et 2).

b) Quartz récent (n° 5), cristallisé dans les druses, et contenant dans ses cassures de l'argent rouge et de la pyrite (Pl. VIII, *fig.* 7).

Le filon H_6 Krebs mgg. à Segen Gottes, dans les abatages au-dessous du 2^{me} étage, présente un exemple de ces diverses associations ; très-puissant et composé d'un grand nombre de veines en faisceau, il offre dans chacune d'elles les remplissages suivants (Pl. VIII, *fig.* 8) :

a) Quartz ancien (n° 1).

b) Sulfures métallifères (n° 2) intimement reliés au quartz précédent ; la pyrite, avec enduits rouges oxydés, y domine et présente une richesse de 1 millième d'argent.

c) Dolomite jaunâtre (n° 6), contenant des morceaux cassés à angles aigus du remplissage précédent.

d) Le même filon présente par places, sur la dolomite précédente, des filets de fluorine avec enduits cuivreux R_1,

e) et une barytine compacte à petites facettes B_2, avec druses de cristaux de barytine, de quartz et de calcite.

L'apparence générale de ce remplissage est nettement rubannée ; une faille béante H_{10} (157°) coupe le filon précédent et son remplissage, y compris la dolomite ; ajoutons que cette faille appartient à un système de fentes dans lesquelles on trouve les remplissages R_1 B_2 (Elias fl.)

Le Wolfgang mgg. H_4 (2 1/2 étage), le Moses mgg. H_6

(abatages au-dessus du 1 1/2 étage) présentent le même remplissage que le Krebs mgg.

2°) La *Kiesige-Formation* paraît surtout dans les mines des environs immédiats de Freiberg; elle est activement exploitée à Himmelfahrt, dont les filons nous en offrent de nombreux exemples ; ainsi le Frischglück St. H_2 nous présente le remplissage suivant :

a) Blende noire et galène à reflets foncés (n° 2).

b) Veines multiples de pyrite de fer coupant (*a*).

c) Quartz blanc laiteux, en large bande de réouverture, au cœur du filon (n° 3).

Le Gottlob mgg H_3, en un point où son remplissage talqueux mispickélifère n'existe pas, nous a présenté la coupe suivante :

a) Quartz grisâtre à éclat gras avec mouches de pyrite de fer (n° 1).

b) Blende noire (n° 2).

c) Galène à clivages courbes au cœur du filon, avec veinule continue de pyrite de cuivre, mispickel, pyrite de fer, moulant les angles de la galène.

Enfin l'Erzengel mgg., H_{0-1}, non loin de son croisement avec le Frischglück st. (6 — 7e étage), présente la coupe suivante :

a) Quartz et cristaux de mispickel (n° 1).

b) Blende noire avec veinules de galène plus récente (n° 2).

c) Mispickel massif, quartz, mouches de pyrite et de galène (n° 2).

d) Quartz blanc laiteux (n° 3), avec druses de cristaux de calcite, et veinules de braunspath rose (Pl. VIII, *fig.* 9).

Nous avons vu que la *Kiesige-Formation* se présentait aussi dans les mines du Nord (Gersdorf, Braunsdorf) ; nous n'en donnerons qu'un exemple fourni par le Traugott mgg. (Gesegnete Bergmanns Hoffnung) H_{5-6} :

a) Quartz grisâtre à texture grenue (n° 1).

b) Blende et galène (n° 2).

c) Pyrite de fer (n° 2).

d) Quartz blanc laiteux en large veine (n° 3) (Pl. VIII, *fig.* 10).

Cette même venue existe et paraît dominer dans les filons des mines du Sud, où elle est en relation avec la *Braunspath-Formation;* ainsi dans les abatages entre le 7me et le 8me étage de la mine Himmelfürst, le Molchner st. H_2 croise et rejette le Seidenschwanz Fl. H_{10-11} (Pl. VIII, *fig.* 11) ; l'ancienne fente H_{10-11} est argileuse au point même d'intersection ; rejetée d'environ 1m.50 dans l'angle aigu, elle présente à quelques centimètres de là un remplissage de pyrite avec galène. La fente H_2 se bifurque au N.-E., et présente au toit un remplissage quartzeux avec mouches de mispickel, qui remplit exclusivement le filon au point même où il coupe la fente du Seidenschwanz ; le trum du mur contient :

a) Le même quartz avec mispickel (n° 1).

b) Un mélange de galène et pyrite, identique à celui que contient le Seidenschwanz (n° 2).

c) Des veinules récentes de dolomite rougeâtre.

La *Kiesige-Formation* présente dans les mines Morgenstern et Friedrich, à l'est de Freiberg, une richesse inaccoutumée en pyrite cuivreuse.

3°) L'*Edle-braunspath-Formation* paraît surtout au sud et au sud-ouest de Freiberg ; la mine Beschert-Glück, entre Freiberg et Brand, en présente des exemples remarquables : ainsi le Ludwig St. H_2 offre dans ses nombreuses ramifications, souvent presque horizontales :

a) Un mélange de quartz ancien (n° 1) avec blende noire et pyrites.

b) Une dolomite rose avec délits pyriteux et galénifères.

c) Une bande dolomitique jaunâtre avec infiltrations quartzeuses.

Très-souvent son remplissage se compose seulement :

a) D'un manganèse carbonaté rose contenant un quartz cristallisé (ayant la semi-transparence du camphre) avec mouches de galène, mispickel, fahlerz argentifère et argent rouge, le tout bien compacte.

b) D'une dolomite jaunâtre en veinules coupeuses.

Le Traugott st. présente, dans la même mine, le remplissage suivant :

a) Galène en masses clivables cubiques.

b) Blende noire et pyrite de fer, traversées de veinules quartzeuses.

c) Dolomite rose, contenant des lamelles cassées de la pyrite précédente.

V_2, V_3, V_4. — *Venues barytique, ferrugineuse, fluorée.* — Les exemples de croisements des filons à remplissage S_1, par les veines contenant les barytines B_1 ou B_2, sont excessivement nombreux à Freiberg. Nous avons déjà eu occasion d'en signaler quelques-uns; nous en citerons un ici qui montrera de quelle façon les fentes H_{8-9} se sont quelquefois superposées à d'anciens filons H_9, précédemment remplis par S_1. Le rejet de l'Abraham st. H_3, par le Neue Hoffnung Fl. H_{8-9}, se fait, au 10 1/2 étage d'Himmelfahrt, en un point où le filon H_{8-9} s'est ouvert au mur de quelques anciennes fentes H_9, qui le rejoignent sous un angle très-aigu (Pl. VIII, *fig.* 12).

Le Neue Hoffnung Fl. présente comme unique remplissage une barytine rouge compacte à grandes faces de clivage.

Les fentes H_9 contiennent :

a) Quartz et blende noire (n^{os} 1 et 2).

b) Veinule de galène (n° 2).

c) Barytine blanche massive.

d) Fluorine incolore avec druses de fluorine violette.

L'Abraham st. contient :

a) Galène (n° 2) avec mouches de pyrite et de mispickel.

b) Veinule de quartz plus récent (n° 3).

Le Neue Hoffnung Fl. présente en certains points un remplissage plus complexe : on y observe des veinules de quartz grenu avec mouches de galène courant entre deux filets de barytine l'une rouge, l'autre blanche (10^{me} étage, près Abraham st.); quelquefois aussi la barytine y est accompagnée d'une dolomite, tigrée de taches de fahlerz.

La venue B_1 ne se montre guère qu'aux environs de Freiberg, dans les filons H_{8-9}, ou à côté d'eux dans les H_6 réouverts. Le remplissage du Halsbrückner sp. H_{8-9}, suivi sur une grande longueur, en donne un exemple net ; on y a trouvé (*) :

a) Un quartz grenu, grisâtre, avec mouches de galène pauvre, de fahlerz, de bournonite, en petite quantité ;

b) Ce quartz est tantôt antérieur, tantôt intimement mélangé à la barytine massive qui compose pour ainsi dire à elle seule le remplissage normal du filon (B_1) ;

c) Cette barytine, blanche ou rouge, présente souvent dans les druses des cristaux de fer oligiste, représentants rudimentaires de la grande venue ferrugineuse qui se montre si développée dans le granite d'Eibenstock, et sur la ligne de faîte de l'Erzgebirge (F_1) ;

d) Puis vient comme minéral accidentel la dolomite ferrugineuse ou le fer carbonaté (F_2) ;

e) Et avec ou après lui une venue relativement importante de fluorine, accompagnée de pyrite cuprifère (R_1) ;

f) A la fluorine succède un quartz récent qui a une grande tendance à pseudomorphiser l'ancienne barytine ; il présente parfois aussi les formes de la dolomite ; à ce quartz est souvent associée une blende jaune à grains fins ; nous le rapportons à la venue V_5;

g) Enfin on trouve dans les druses des boules concrétionnées de barytine fibreuse rouge ou jaune (V_6), et des cristaux de calcite.

Les croiseurs des mines du N.-O. contiennent surtout la

(*) Müller.

venue V_4 qui y paraît très-développée : ainsi l'Elias fl. qui coupe à Segen Gottes toutes les fentes à remplissage S_1, présente presque constamment :

a) Une fluorine à grands cristaux cubiques, avec accompagnement de pyrite de cuivre, de fahlerz, d'enduits cuprifères ;

b) Une barytine rose à petites facettes ;

c) Des druses de barytine et de calcite cristallisées.

Ce remplissage a pénétré, comme nous l'avons vu, les réouvertures des anciens filons (Krebs, Maria, Moses) ; on y trouve, associés à la barytine, des cristaux de fer oligiste (Maria).

Les croiseurs des mines du sud, H_{6-7}, H_{7-8}, sont au contraire généralement stériles, ou seulement dolomitiques et calcifères. La barytine et la fluorine ne s'y présentent guère que dans les H_{10-11} réouverts, et seulement à l'état de masses isolées : ainsi le Vertrau auf Gott fl. (Himmelfürst) H_{10-11}, assez près du point où il rejette la fente stérile du Jung sp. H_{6-7}, contient par place de magnifiques poches de barytine :

a) Blende noire (S_1 n° 2) ;

b) Barytine blanche en masse (B_1) ;

c) Fer carbonaté en cristaux lenticulaires jaune-miel (F_2) ;

d) Barytine blanche cristallisée ;

e) Cristaux de marcassite.

Les mines de l'est présentent dans leurs filons, pour la plupart réouverts, la venue cuprifère et barytique V_4, elle y est par place en relation avec la barytine V_2 ; et ces exemples sont d'autant plus intéressants qu'ils se présentent plus rarement : dans la mine Morgenstern, près du nouveau puits au deuxième étage, le Guten morgen sp. présente une série d'anciens trums H_{5-6} (on y a trouvé le remplissage S_3), coupés et rejetés par des fentes H_{8-9}. Les deux systèmes de filons contiennent de la barytine B_1 massive, mais une réouverture postérieure paraît avoir disloqué les trums H_{5-6}, et on y trouve par place de la fluorine R_1 et de la barytine B_2 avec enduits cuivreux. Un de ces trums traverse nettement, avec son remplissage récent, un filon H_{8-9} et son remplissage B_1 (Pl. VIII, *fig.* 13).

Nous avons déjà cité (*) l'exemple de l'Abraham sp. H_{8-9} coupé par le Ludwig st. réouvert et argileux (page 194, Pl. VIII, *fig.* 4) ; l'Abraham sp. se compose de deux trums :

1°) Au toit, barytine blanche B_1 avec quelques mouches de galène, et druses de pyrite et de barytine cristallisée ; ce trum est souvent argileux ;

2°) Au mur, barytine rouge, fluorine, pyrites de fer et de cuivre, fahlerz, galène, argent sulfuré et natif (**).

Le deuxième trum paraît plus jeune que le premier ; ils coupent tous les deux, à peu de distance de la faille du Ludwig st., le Johannes st. qui n'a pas été réouvert.

V_5, V_6. — *Venue sulfurée* S_2, *barytique* B_2. — Le remplissage sulfuré S_2 ne se présente avec une certaine abondance, près Freiberg, que dans le filon Drei Prinzen sp. de la mine Churprinz ; nous avons eu occasion de prouver (page 191) que le Drei Prinzen sp. est un ancien filon H_6 qui a subi des réouvertures violentes, postérieures au Ludwig sp. H_{8-9}, et au remplissage habituel de ce dernier (B_1, B_2).

Le Drei Prinzen sp., très-irrégulièrement rempli, présente en certains points une puissance considérable qui peut atteindre 6 mètres ; il se compose alors d'un faisceau de veines parallèles, remplies de la même façon et contenant (Pl. VIII, *fig.* 15) :

a) Un quartz grenu cristallin à cassure saccharoïde, avec druses et mouches de fluorine, masses clivables brillantes de galène foncée, et noyaux de calcédoine avec paillettes de blende jaunatre (V_5) ;

b) D'alternances, souvent très-nombreuses, de barytine

(*) Vogelgesang.
(**) Vogelgesang.

concrétionnée jaunâtre, de fluorine grenue, de marcassite et de galène fibreuse en minces délits et en rognons (V_6). Le remplissage (*b*) enveloppe et contourne par place des morceaux concassés du précédent.

Le remplissage du Drei Prinzen sp. existe, quoique moins développé dans un trum H_{6-7} d'August fl. à Segen Gottes; mais il y est superposé à la venue V_4, qui s'y trouve magnifiquement développée (1 1/2 étage). Nous avons déjà vu que les mêmes venues V_5 et V_6 se sont présentées en réouverture dans le Halsbrückner sp.

V_7. La *Venue calcitique* se montre avec une certaine abondance à Siebenlehn, où elle a réouvert les filons H_2, et dans la partie O. de la mine Himmelfürst. Ainsi le filon Silberfund st. H_{0-1}, entre le 7me et le 8me étage, au nord de l'August fl., présente le remplissage suivant :

a) Mélange de blende noire, de sulfures et de galène riches et argent ;

b) Veinule de dolomite rose traversant (*a*) ;

c) Large bande de calcite blanche massive, englobant des morceaux cassés du remplissage précédent ;

d) Druses de dolomite jaune avec cristaux d'argent rouge et d'argent sulfuré (Pl. VIII, *fig.* 14).

Bien qu'il soit difficile de préciser l'âge de toutes les calcites que présentent les filons de Freiberg, on peut cependant avancer qu'elles sont en général très-récentes, postérieures aux barytines, et en liaison avec la réouverture des filons H_2.

V_8. La *Venue argentifère* récente de Freiberg présente, au point de vue de l'exploitation, une très-grande importance ; elle produit environ le tiers de l'argent qui sort des usines, et a souvent fourni des amas contenant plus de 8.000 francs de ce métal au mètre cube.

Nous avons déjà vu qu'elle se trouve au croisement des filons réouverts, barytiques ou stériles, avec les filons à remplissage S_1, et en général dans la réouverture des

croiseurs. Ainsi, dans la mine Himmelfahrt, au croisement du Ludwig St. H_2 (remplissage S_1) avec le Ludwig Sp. H_6 réouvert (remplissage B_1), on a trouvé sur une hauteur d'environ 50 mètres, et principalement dans le croiseur H_6, un amas de minerais argentifères dont la valeur a dépassé 5 millions de francs.

Il se composait principalement d'argent rouge antimonial et arsenical, argent sulfuré, argent natif; le tout associé à une dolomite jeune ; l'amas s'est terminé haut et bas par des masses de galène pauvre, reposant directement sur la barytine B_1. Nous avons vu, provenant de cet amas, des cristaux d'argent sulfuré sur lesquels se greffaient des filaments d'argent natif, superficiellement transformés en argent sulfuré ; des cristaux d'argent rouge pseudomorphisés en argent sulfuré, et recouverts de fins cristaux de pyrite ; l'argent rouge foncé paraît plus vieux que le clair.

Les minéraux argentifères de cette venue se présentent souvent, dans les druses du Halsbrückner sp. au-dessus de tous les autres remplissages; nous les avons signalés aussi dans les réouvertures du Teich fl., et de plusieurs filons de Segen Gottes.

Il nous reste, pour terminer cette longue énumération, à mentionner la présence assez rare, dans les druses, des minéraux du cobalt, du nickel, du bismuth, de l'antimoine, de l'arsenic et de l'urane. Ces minéraux paraissent postérieurs aux barytines, et antérieurs à la venue argentifère.

§ 3. *Remplissages au point de vue minéralogique.* — Le tableau qui suit contient les minéraux qui ont été signalés dans les diverses venues de Freiberg.

V_1	Galène argentifère, blende, mispickel, pyrite de fer et de cuivre, argento-pyrite, cuivre gris, bournonite, argent rouge, argent sulfuré, stéphanite, miargyrite, polybasite, feuer-blende, schilfglaserz, xanthocon, argent natif.
	Dolomite, manganèse carbonaté, quartz laiteux.

Les druses sont très-rares dans les remplissages anciens de Freiberg, et ne se présentent qu'à Braunsdorf dans l'edle-quartz-Formation (minéraux argentifères).

V_2 { Galène pauvre, cuivre gris, bournonite.
Barytine, anhydrite (?).
Dolomite, quartz hornsteinique.

La barytine B_1 offre des druses avec cristaux opaques mal formés, dans lesquels on reconnaît cependant la face P très-développée, les faces a^2, e^1, $b^{1/2}$; sur ces cristaux reposent souvent des lamelles de fer oligiste (Pl. VIII, *fig* 16).

V_3 { Fer oligiste, hématite rouge.
Rother horn, améthyste.

V_4 { Pyrite de cuivre, cuivre gris.
Barytine, fluorine, dolomite, fer carbonaté, apatite.

La fluorine en cubes, le fer carbonaté en cristaux lenticulaires jaune-miel, la dolomite en petits rhomboèdres s'y présentent souvent dans les druses.

C'est à cette venue que nous rapportons les belles tables rectangulaires de barytine cristallisée blanche opaque, que l'on trouve fréquemment déposées sur la barytine B_1, mais souvent séparées de cette dernière par une couche de fer carbonaté; ces tables présentent sur les angles des faces nombreuses, dont l'étude de détail contraste avec leur apparente simplicité; la face P est très-développée, puis viennent les faces a^1. a^2, e^1, g^1 et sur les angles M, $b^{1/2}$, b^2, g^2, h^2 (Pl. VIII, *fig.* 17); on y a signalé des pseudomorphoses en quartz de cristaux d'apatite.

V_5 { Galène pauvre, blende jaune.
Fluorine, quartz saccharoïde.

C'est à cette venue que nous rapportons la formation cobaltifère, très-rare à Freiberg; on y a signalé les minéraux suivants :

Bismuth natif, bismuth sulfuré, smaltine, chloantite, nickéline, arsenic natif, réalgar.

La venue antimonifère de Mobendorf est, peut-être aussi, de cette époque;

Hétéromorphite, berthiérite, steinmannite, bournonite, kermésite, valentinite.

Ces minéraux se trouvent quelquefois recouverts à Braunsdorf par des cristaux de barytine présentant les faces P, M, a^4; ces cristaux sont transparents et englobent par place le remplissage antimonifère.

V_6 { Marcassite, galène fibreuse.
Barytine, fluorine concrétionnées.

La galène se présente quelquefois dans les druses en beaux cristaux d'un gris d'acier, offrant les faces du cube et de l'octaèdre. C'est à cette venue que nous rapportons les rognons de barytine fibreuse rougeâtre, qui se déposent quelquefois dans les druses de fluorine R_1 et de barytine B_2; ces rognons rugueux à l'extérieur, et naturellement fissurés, présentent dans leur cassure une structure cristalline rayonnée.

V_7 { Calcite.
Dolomite récente.

Elles se présentent fréquemment dans les druses des venues précédentes, la dolomite toujours en rhomboèdres, la calcite en scalénoèdres dans les barytines, en prismes hexagonaux à pointement rhomboédrique dans la venue S_2.

V_8. Tous les minéraux argentifères, cités page 209, ont été signalés dans la venue V_8; l'argent rouge, l'argent sulfuré, l'argent natif et la pyrite y dominent.

Citons enfin, comme remaniements tout à fait récents, des cristaux de gypse et les minéraux d'oxydation (*).

(*) Nous croyons utile de donner ici un aperçu des principales

CHAPITRE IV. — Age des remplissages, points riches.

§ 1. *Age des remplissages.*—Il se déduit nécessairemen des considérations exposées dans le chapitre précédent. Nous résumons cette comparaison dans le tableau qui suit, où nous avons mis en regard les âges des remplissages et ceux des roches éruptives.

---

formes cristallines que présentent les galènes, barytines et calcites de Przibram.

Galène de la première venue (triasique). . . . . cubes.
— de la 2e venue et des remaniements. . . . cubo-octaèdres.
— des remaniements récents (Steinmannite) octaèdres.

Barytine I.
- *a*) Druses habituelles. Cristaux roses opaques; faces P très-développée, e^1, a^2 (Pl. VIII, *fig.* 18).
- *b*) Premiers remaniements. Prismes opaques rosés, à faces également développées M, M, P.

Barytine II.
Formation exclusivement drusique; cristaux incolores transparents.
- *a*) Druses contemporaines de la Goethite, faces P assez développée, a^2 allongée, M (Pl. VIII, *fig.* 19).
- *b*) Remaniements postérieurs à la venue argentifère; faces un peu courbes; P, a^2 développées en longueur; e^3 très-courbe (Pl. VIII, *fig.* 20).
- *c*) Barytine II normale, postérieure à la venue argentifère; faces a^2 très-développée en longueur, P rudimentaire; pointement compliqué $Mg^2g^1e^1b^{1/2}$ (Pl. VIII, *fig.* 21).

Calcite I. . . . . Scalénoèdres.
Calcite II. . . . . Empilements de rhomboèdres.—Prisme hexagonal et pointement rhomhoédrique.
Calcite III. . . . . Rhomboèdres groupés uivant les trois faces, apparence euilletée avec angles rentrants.

SYSTÈMES de montagnes.	Filons.	contiennent.	coupent.	AGE DES REMPLISSAGES.	AGE DES ROCHES éruptives.
Vendée.	H_{11-12}	QV_1			
Longmynd.					
Morbihan.	H_9	QV_1			
Silurien.					Granites à gros grains.
Westmoreland. . . .	H_3	TV_1			
Dévonien.					Granites-porphyres.
Land's-End.	H_6	V_1		Quartz Q (?). Remplissage talqueux mispickélifère T (?).	Gneiss rouge, grünsteins.
Terr. carbonifères.					
Ballons.					
Terr. anthraxifères.					
Lisbonne.	H_4	V_1			
Forez.	H_{11}	V_1			
Terrains houillers. .					Venue porphyrique I.
Nord de l'Angleterre.	H_{0-1}	V_1			
Rothliegendes et Zechstein.					Venue porphyrique II.
Pays-Bas.	H_{5-6}	V_1			
Grès des Vosges. .					
Rhin.	H_2	V_1			Pechsteins, felsitfels. } Venue porphyrique III.
Trias.				Venue sulfurée V_1.	
Thuringerwald. . . .	H_{8-9}	V_2V_3	V_1		Argilophyres trachytiques. . . . . } Venue porphyrique III.
Jura inférieur. . . .				Venue barytique V_2.	
Mont Seny.				Commencement de la venue ferrugineuse V_3.	
Jura supérieur. . . .					
Côte-d'Or.	H_{3-4}	V_3V_4	V_1V_2		
Craie inférieure. . .				Suite de la venue V_3.	
Mont Viso.	H_{10-11}	V_3V_4	V_1	Venue fluorée, barytique et cuprifère V_4.	Premiers basaltes au S.-E. de l'Elbe (?).
Craie supérieure (?) **et nummulitique.**					
Eocène. Pyrénées.	H_{6-8}	V_5	V_2		
Eocène. Corse et Sardaigne.	H_1	V_8		Venue sulfurée V_5.	
Eocène. Tatra.	H_6	V_6	V_5		
Miocène.				Venue barytique V_6.	
Alpes occidentales. .	H_{2-3}	V_7	V_1V_2		
Pliocène.				Venue calcitique V_7.	Basaltes de Bohême.
Alpes principales. .	H_{5-7}	V_8			Basaltes de la Saxe.
Ténare.				Venue argentifère V_8.	
Etna-Ténériffe. . . .					Tuffs volcaniques, eaux minérales.

La venue sulfurée qui joue à Freiberg le rôle principal, serait donc triasique, la première venue barytique aurait presque immédiatement succédé aux fentes de Thuringer-

wald et correspondrait au lias et aux terrains jurassiques inférieurs (*). La venue ferrugineuse se continuerait à travers les périodes jurassiques et crétacées, et ferait place vers l'époque de la craie supérieure, à une seconde venue barytique avec accompagnement de fluorine et de minerais de cuivre. Puis viendrait, après le soulèvement des Pyrénées, une seconde venue sulfurée, principalement galénifère, à Freiberg; nous verrons qu'à Schneeberg la venue cobaltifère lui est contemporaine. Pendant l'époque miocène, la barytine et la fluorine concrétionnées se déposeraient en longues alternances. La venue calcitique principale daterait de l'époque pliocène, enfin la venue argentifère serait précédée par le soulèvement des Alpes principales, et commencerait sans doute la période des eaux minérales actuelles; nous la retrouverons, caractérisée par les mêmes apparences et par le même âge géologique, dans tous les champs de filons de la Saxe, et particulièrement à Joachimsthal.

Hâtons-nous d'ajouter que les phénomènes observés à Freiberg, et récapitulés ici, ne se présentent avec un caractère de netteté tout à fait incontestable que pour ce qui a trait aux relations des remplissages V_1 et V_2 d'une part, V_4, V_5 et V_6 de l'autre.

§ 2. *Vérification de l'âge géologique des remplissages* V_1 *et* V_2. — *Relation de ces remplissages avec les porphyres* II *et* III.— Nous avons cherché (page 146) à déterminer l'âge des porphyres qui se montrent en relation avec les filons des environs de Freiberg; ce sont :

1°) qF_1, les porphyres quartzifères du premier groupe qui remplissent des fentes du Morbihan, du système de Lisbonne et du Forez, et qui datent des terrains houillers inférieurs.

(*) Frh. v. Beust, *Berg-u-Hüttenm. Zeitung* (1860. — page 73). — Comparaison avec les filons barytiques du centre de la France.

2°) aF_2, les argilophyres et les felsitfels du troisième groupe, qui affectent la direction du Rhin, sont certainement postérieurs au rothliegendes et probablement contemporains du commencement de l'époque triasique.

3°) sF_3, les argilophyres trachytiques du troisième groupe, qui affectent les directions du Forez et du Thuringerwald, et dont l'aspect est très-analogue à celui des porphyres sanidinifères qui sont, près de Potschappel, en relation avec le rother Ochs (faille que nous avons rapportée au Thuringerwald) et en épanchements sur le rothliegendes. Ils datent probablement du commencement de l'époque jurassique.

1° Les filons métallifères anciens, remplis de la venue S_1, coupent et rejettent les porphyres F_1 avec la plus grande netteté; ainsi l'Erzengel st. H_{0-1} (Himmelfahrt) traverse le filon porphyrique de Lössnitz, qui a en ce point une puissance d'environ 4 mètres, et le rejette de 3 mètres, sans cesser de contenir le remplissage S_1 et la blende noire qui le caractérise.

2° Les mêmes filons, et en particulier les fentes H_2, coupent les porphyres F_2 et y contiennent du remplissage S_1; mais les porphyres, de même direction, semblent accompagner les filons métallifères et influencent énergiquement leur remplissage, à tel point que Müller considère les filons de Braunsdorf comme des fentes de retrait de ces felsitfels. Nous avons déjà eu l'occasion de citer dans la mine Morgenstern un de ces porphyres accompagnateurs.

3° Enfin on connaît quelques exemples peu contestables de rejet du remplissage S_1 par les porphyres F_3. Nous allons les passer en revue (*).

I. On trouve au jour près de Bieberstein un dyke de porphyre sanidinifère qui paraît correspondre en profon-

(*) Nous devons à la bienveillante obligeance de M. le Bergmeister Müller les croquis inédits de deux de ces exemples. Nous avons pu en vérifier par nous-mêmes l'exactitude.

deur à un faisceau de veines porphyriques dont la direction individuelle est N. 130° E. On a signalé plusieurs de ces veines dans la mine Emanuel; une autre paraît à l'extrémité E. du filon Ernst mgg (Vereinigt feld) près Siebenlehn; enfin le même faisceau est jalonné à l'extrémité N. du gabbro de Siebenlehn par un deuxième dyke visible à la surface. Si l'on joint par une ligne droite les deux dykes extrêmes, on lui trouve une direction N. 140° E.; mais chacune des fentes étudiées individuellement dans les mines a présenté très-exactement la direction N. 130° E., avec un plongement ordinaire vers l'est. (Voir Pl. VII.)

A) *Mine Emanuel.* Le Reimsberger Glück mgg H_4, suivi vers l'ouest, se compose de 3 trums (*); le premier contient le remplissage S_1 (edle-quartz-Formation);

a) Quartz finement imprégné de pyrite et mispickel (n° 1).

b) Blende noire et galène (n° 2).

c) Veinules de réouverture avec argent rouge et sulfuré.

Le deuxième contient un remplissage barytique B_1 avec mouches accidentelles de pyrite, blende brune, argent sulfuré.

Le troisième est simplement argileux.

A l'avancement vers l'ouest, on a successivement trouvé un petit filon mince de porphyre F_3 qui coupe nettement le premier trum et son remplissage, et au travers duquel passent la barytine et l'argile du deuxième et du troisième trum. Puis est venue une faille avec brèche de morceaux concassés de gneiss et de remplissage S_1 quartzeux. Le premier trum s'y est arrêté net; le deuxième et le troisième y ont pénétré et se sont perdus sur une seconde faille de réouverture. Cette brèche précède un filon de porphyre, argileux sur les bords, et paraît avoir produit en ce point un rejet horizontal d'environ 160 mètres; un lit intercalé de gneiss à grain fin a du moins subi un rejet com-

(*) Müller. *Gangstudien*, 1849.

parable : il est probable que l'Emanuel mgg est le rejet du Reimsberger Gluck mgg.

B) *Mine Vereinigt-feld* (*). — Le Ernst mgg (Pl. VIII, *fig.* 26) commence par un trum H_4 qui se fait couper par un filon H_2; on a de nouveau suivi vers l'est un trum H_4, lequel coupe une veine H_6 qu'on a suivie en dernier lieu. Ces différents filons contiennent un remplissage S_1, riche par place; on y peut constater encore aujourd'hui des mouches de pyrite de cuivre et par place des lentilles calcaires. Le gabbro qui constitue les salbandes, est d'ailleurs traversé par un certain nombre de fentes stériles à 110°, 125° et 160°, dont nous n'avons pu saisir les relations avec le remplissage S_1.

Le dernier trum H_6 vient se faire couper, fente et remplissage, par un filon N. 128° E., plongement E. rempli de barytine B_1, à grandes faces de clivage; cette barytine pénètre les fendillettes d'un conglomérat de morceaux concassés de gabbro, reliés entre eux par un quartz grisâtre; puis vient une brèche de morceaux cassés de quartz blanc et de porphyre F_3, dirigée N. 130° E., plongement E. 35 à 50°, et enfin le porphyre lui-même qui présente dans une pâte brun rougeâtre des noyaux de quartz, des cristaux de feldspath blanc mat, et de sanidine vitreuse, des morceaux de gabbro cassé, enfin des mouches de barytine, de galène, de pyrite. Ce porphyre est traversé par des veinules de quartz blanc.

On peut suivre au jour sa séparation avec le gabbro : à 200 mètres d'Ernst mgg, elle est encore jalonnée par des blocs massifs de barytine à grands clivages.

II. Un second dyke de porphyre F_3 paraît au jour près Obergrüna; il y contient, par places (**), du fer oligiste. On en connaît le prolongement dans la mine Gesegnete Berg-

(*) Müller. *B. und H. M. Zeitung*, 14 mai 1861.

(**) Près de la Radegruber Wäsche. (Müller.)

manns Hoffnung, et près de Siebenlehn, dans la mine Romanus. Il reparaît au jour au delà du gabbro de Siebenlehn, et y forme un dyke allongé affectant la direction N.-S., qui serait celle de la ligne droite le joignant au dyke d'Obergrüna (Pl. VII).

A) *Mine Gesegnete Bergmanns Hoffnung*. — Le Holländer sp. H_{6-7}, à remplissage barytique, y traverse le porphyre en question; le Helmrich sp. H_{5-6}, à remplissage S_1, paraît au contraire s'y buter.

B) *Mine Romanus*. — Le Bruno mgg H_4 se fait rejeter plusieurs fois dans le gabbro de Siebenlehn par des trums H_2 contenant même remplissage S_1 que lui :

a) Quartz.

b) Blende noire et galène.

c) Fines imprégnations d'argent rouge foncé, sulfuré, natif, de fahlerz argentifère.

d) Calcite et dolomite.

A son avancement occidental, le Bruno mgg. s'est heurté, fente et remplissage (à l'étage de la Wolfstolln), sur une faille N. 171° E., plongement 80 à 85° O., contenant une brèche de gabbro sur une puissance de 1 à 2 mètres; cette faille contient la dolomite *d* non concassée, à l'état d'infiltrations. Quelques mètres plus bas, sa constitution subit une modification remarquable; elle admet, au milieu de la brèche de gabbro, un mince filon de porphyre qui va successivement en s'élargissant; à l'étage dit mittelstrecke, le porphyre remplit la faille presque entièrement; il contient dans une pâte qui varie du rouge au brun, et même au bleu-lavande, des noyaux de quartz enfumé, des cristaux d'un feldspath brun foncé, et aussi des paillettes brillantes de sanidine (Pl. VIII, *fig.* 27).

Le Romanus st. H_2 paraît aussi se buter sur lui. D'ailleurs le Bruno mgg a été riche en minerai jusqu'au point où il est coupé; nul doute que son remplissage S_1 ne soit antérieur à la formation du conglomérat de gabbro. Quant

à la cause qui a produit ce conglomérat, elle nous paraît devoir être rapportée à l'injection du porphyre dans la fente à 172°, d'ailleurs préexistante.

En résumé des exemples qui précèdent, on peut conclure avec M. Müller, auquel on doit ces observations pleines d'intérêt,

1°) Que le remplissage S_1 est antérieur aux porphyres F_3;

2°) Que ces porphyres, qui contiennent par place de la barytine, du fer oligiste, des mouches de galène et de pyrite, sont légèrement antérieurs au remplissage B_1.

Nous ajouterons que d'après la direction des fentes qu'ils remplissent et l'analogie pétrographique qu'ils présentent avec certains porphyres des environs de Potschappel (Hähnischen), ils nous paraissent contemporains des grands accidents produits en Saxe par le système du Thuringerwald.

§ 3. *Points riches*. — Si nous admettons que les filons métallifères sont exclusivement dus au passage de sources thermales dans des fentes préexistantes, que ces sources thermales proviennent des roches éruptives épanchées en dernier lieu, et qu'elles entraînent avec elles certains éléments de ces dernières roches, ainsi que des roches anciennes et des terrains stratifiés qu'elles traversent, il y a lieu de se préoccuper dans la recherche des points riches :

1°) De la nature des roches anciennes ou nouvelles servant de réservoir aux matières utiles qui ont été entraînées.

2°) Des roches éruptives épanchées immédiatement avant l'arrivée du remplissage recherché;

3°) De la direction et du plongement des failles produites en dernier lieu; des réouvertures qui leur sont dues et qui peuvent avoir donné une large issue aux sources thermales;

4°) De la nature des parois qui ont servi de condenseur à ces sources.

Nous ne nous occuperons ici que du remplissage .

1°) Composés à Freiberg de sulfures métallifères, ses éléments utiles paraissent exister à l'état de mélange intime, et d'élément constituant de la roche, dans certains grünsteins de la Saxe. Les felsitfels de Braunsdorf, et les porphyres T_2 de Tharandt (*) semblent aussi par places imprégnés de sulfures métallifères.

2°) Les sources thermales, qui les ont entraînés, paraissent provenir des divers porphyres dont les éruptions ont commencé avec les terrains houillers, et spécialement des felsitfels, pétrosilex et pechsteins.

3°) Le système du Rhin H_2 a immédiatement précédé la venue du remplissage S_1; il a principalement réouvert à Freiberg les fentes H_{0-1}, H_3, H_4, H_{11}.

4°) Les filons ont en général pour salbandes, le gneiss gris, le gneiss rouge, le gabbro ou la granulite.

1°) Les grünsteins se montrent principalement aux environs d'Obergrüna, de Siebenlehn, de Roswein, de Brand. Les mines voisines se font en général remarquer par l'abondance de la dolomite, par l'enrichissement en argent des sulfures métallifères (Edle-quartz-Formation, Braunspath-Formation).

2°) Les felsitfels ont surtout paru aux environs de Braunsdorf, qui a été jadis le centre des plus riches exploitations du champ de Freiberg; à leur voisinage les filons sont quartzeux et très-riches en argent.

3°) La mine d'Himmelfahrt est au croisement de faisceaux importants H_2, H_3, H_{0-1}; les filons H_3 ont servi de diagonale aux H_2 et y sont puissants et riches quand leur plongement dépasse 50°. La galène, d'une richesse moyenne en argent, est particulièrement abondante dans cette mine, qui est actuellement la plus importante de Freiberg.

(*) Naumann.

La mine d'Himmelfürst est située au croisement de faisceaux H_2, H_{0-1}, H_{10-11}; les filons y sont plus espacés qu'à Himmelfahrt; c'est la seconde mine de Freiberg.

La mine Beschert Glück est exactement au point de croisement d'un faisceau H_2 et d'un faisceau H_{0-1}; les sulfures y sont riches en argent, le gneiss très-cassé, les filons très-ramifiés et certains trums, presque horizontaux, ont été fructueusement exploités.

En résumé, dans toute la partie E. et S. du champ de cassure, les faisceaux H_2 sont les plus riches, et c'est au voisinage de leurs croisements avec les anciennes fentes de direction analogue que sont groupées les mines les plus productives.

4° Le gneiss gris est à Freiberg d'une teneur variable en mica; on a depuis longtemps remarqué que les filons ne sont pas riches, dans les zones où le gneiss est trop chargé ou trop pauvre en mica : un certain équilibre entre les divers éléments qui le composent est une qualité recherchée par les mineurs.

Le gneiss rouge paraît présenter souvent cette composition équilibrée; les filons s'y enrichissent volontiers.

La granulite, à l'inverse du gneiss très-micacé, constitue une roche trop compacte, et les filons, tout en s'y prolongeant fente et remplissage, semblent y perdre leur puissance, et se transformer, comme dans les porphyres quartzifères, en un réseau de simples fendillettes.

Les roches trop friables ou trop grasses produisent sur les filons le même effet mécanique que le gneiss micacé; ainsi les filons se divisent et s'appauvrissent dans la serpentine; les thonschiefers laissent de plus émigrer et se disséminer dans leur masse les sulfures métallifères; les filons y deviennent stériles ou exclusivement ferrugineux.

Un phénomène constant d'enrichissement (*) se produit

(*) Müller.

dans les filons minéralisés, au voisinage du contact des différentes formations sédimentaires ou éruptives entre elles. Ce phénomène se présente avec une grande netteté dans la mine de Segen Gottes; nous avons vu que le massif grünsteinique de Roswein y est pris entre la granulite sur laquelle il repose, et les thonschiefers qui le recouvrent : les filons y présentent deux zones d'enrichissement côtoyant, dans le grünstein, les deux formations sédimentaires.

De même à Himmelfürst (*), au mur des micaschistes granatifères dans le Brander gneiss, on connaît une zone de 200 à 400 mètres de largeur, dans laquelle les filons se sont généralement enrichis; ils s'appauvrissent complétement dans les micaschistes.

Nous traiterons la question de l'enrichissement relatif des autres formations, après les avoir étudiées dans les différents champs de filons de la Saxe.

MARIENBERG.

§ 1. *Constitution géologique des environs.* — Les environs de Marienberg sont constitués par le gneiss gris dont l'orientation oscille entre la direction du Morbihan, et celle du Westmoreland, avec un plongement habituel vers le nord.

On y connaît des filons grünsteiniques (**) analogues aux trapps micacés des environs d'Ehrenfriedersdorf, et dont la direction ordinaire, N. 95° E., est à rapporter au Land's-End.

Des filons de porphyre quartzifère à pâte feldspathique

(*) Forster.

(**) Perte au feu 2,80 p. 100. — Pas d'effervescence. Richesse en silice 59,20 p. 100.

compacte, avec très-petits grains de quartz, traversent aussi le champ de cassures, et se font couper par les veines métallifères.

L'exploitation du champ de Marienberg date du XVI^e^ siècle; on y a connu des filons d'étain; les filons argentifères les ont parfois réouverts, nous avons eu occasion, à Ehrenfriedersdorf, de constater des phénomènes de même ordre. L'exploitation est actuellement restreinte à quelques-unes des mines qui existent dans la partie N.-O. du champ, entre Marienberg et Wolkenstein; elle n'occupe guère qu'une centaine de mineurs, et produit surtout des minerais d'argent, avec un peu de bismuth, de cobalt et de nickel.

§ 2. *Directions des filons métallifères.* — L'étude des anciens plans de mines et de quelques filons encore en exploitation, nous permet de donner une liste à peu près complète des directions qu'affectent les filons et les failles à Marienberg (Pl. IX, *fig.* 1).

H_6.	N. 88° E.	Vater-Abraham, Alt-Fabian Mgg, etc.
H_4.	65°	Bauer Mgg.
H_{0-1}.	3°	Sarah St.
H_2.	30°	Kaiser Heinrich.
H_{8-9}.	127°	Herzog Karl fl., Salomon fl.

Ces directions sont remarquablement nettes sur les plans; l'étude des mines conduit à y ajouter :

1°) Des fentes H_3, N. 50° E., qui dévient en certains points les filons H_4.

2° Une violente réouverture H_5, N. 73° E., qui a par places transformé en failles les filons H_4, H_6, les déviant à son profit et rejetant tous les autres filons.

§ 3. *Des rejets.* — Les seuls que nous ayons pu constater sont ceux des H_6 (Grünsteins) par les H_4, et de tous les systèmes par les H_8.

L'assimilation à faire de ces directions avec celles des systèmes de montagnes, nous paraît être la suivante :

H_3.	Westmoreland.
H_6.	Land's End.
H_4.	Lisbonne.
H_{0-1}.	Nord de l'Angleterre.
H_2.	Rhin.
H_{8-9}.	Thuringerwald.
H_5.	Alpes principales.

§ 4. *Des remplissages.* — Les filons H_6, et certains H_4, aux endroits où ils s'accolent aux fentes H_3, ont contenu un remplissage stannifère. Ex. :

Alt Fabian mgg. . . .	H_6	Bauer mgg.	H_4
Water Abraham mgg.	H_6	Drei Weiber mgg. .	H_4

Nous avons pu constater que les mêmes filons contiennent souvent, en quantité notable, la formation talqueuse mispickélifère T, et la venue sulfurée dite kiesige Formation (V_1 de Freiberg). La galène de cette venue contient environ 9 p. 10.000 d'argent, et la pyrite de cuivre s'y présente quelquefois en abondance.

Nous ne savons quel a été le remplissage des H_{0-1} et H_2.

Les H_{8-9} de la partie N.-O. du champ sont presque exclusivement barytiques ; ils contiennent une belle barytine à larges clivages, tout à fait analogue à la venue V_2 de Freiberg; la fluorine y est très-rare et paraît postérieure à la barytine. Les druses offrent de beaux cristaux de barytine jaune, brune ou rose, et semi-transparente. Leur forme est tantôt P,M, avec les modifications a^2,e^1, tantôt P,a^2,e^1, avec les faces M en petites modifications; ce dernier type est très-analogue à celui de Przibram (barytine I).

Les mêmes filons présentent par places, au milieu de leur barytine, des infiltrations de quartz, de cobalt arsenical, et des autres minéraux de la venue V_5.

C'est dans les réouvertures H_5 et à leur voisinage, dans les filons H_{8-9}, que se trouve la venue argentifère de Marienberg; elle se compose principalement d'argent rouge, sulfuré et natif, quelquefois de galène riche : ainsi Amandus et Salomon fl. H_{8-9}, suivis vers le nord, rencontrent un ancien filon H_4 dans lequel la barytine blanche des H_{8-9} pénètre sans interruption; mais à ce premier trum s'est accolée une réouverture H_5, rejetant les H_{8-9}, et contenant dans un filet de barytine rouge disloquée,

a) Galène riche à 78 p. 1000 d'argent.

b) Argent sulfuré.

c) Argent natif en feuillets dans les fentes.

§ 5. *Des filons riches en barytine.* — La barytine B_1 ne paraît en formation continue que dans les filons du Thuringerwald ; ils la présentent en abondance dans le gneiss à Freiberg et Marienberg, et leurs faisceaux se prolongent, fentes et remplissages dans la granulite, où l'on a signalé depuis longtemps de puissants affleurements barytiques de même direction; dans le granite ils deviennent presque exclusivement ferrugineux (Schneeberg, Eibenstock).

Nous avons vu que la barytine B_1 paraît légèrement postérieure aux argilophyres, riches en sanidine, qui en contiennent des nodules. Les mandelsteins du groupe porphyrique n° II (rothliegendes inférieur à Zwickau) renferment aussi des noyaux de barytine; on a signalé ce minerai au voisinage de certains mélaphyres de la même époque du bassin de Brassac (*).

(*La suite à la prochaine livraison.*)

(*) Delesse, *Métamorphisme.*

MÉMOIRE

SUR LES PRINCIPAUX CHAMPS DE FILONS DE LA SAXE ET DE LA BOHÊME SEPTENTRIONALE.

Par MM. MICHEL LÉVY et CHOULETTE, ingénieurs des mines.

DEUXIÈME PARTIE.

Section IV. — Remplissage barytique et fluoré.

ANNABERG.

CHAPITRE I. — CONSTITUTION GÉOLOGIQUE DES ENVIRONS D'ANNABERG.

§ 1. *Aperçu général.* — La ville d'Annaberg est située au pied du Pöhlberg, et à l'ouest de ce dôme basaltique ; elle se trouve elle-même bâtie sur un escarpement de gneiss, au pied duquel coule du sud vers le nord un affluent de la Zschoppau.

Les filons jadis exploités pour minerais d'argent, d'urane, de cobalt, nickel, bismuth et cuivre, sont en partie abandonnés: on en a connu de productifs dans une zone N.-O. S.-E., deux fois plus longue que large, comprenant la ville d'Annaberg et s'étendant vers le S.-O. jusqu'à Buckholz (Voir le plan d'ensemble des filons d'Annaberg, Pl. X.)

Nous avons pu visiter au nord les mines König Danemark et Saint-Andreas, sous Annaberg même la mine Mi-

chaeli, au S.-E. la mine Himmlisch Heer, à l'ouest la mine Getreu Nachbachschaft qui se trouve à un niveau très-inférieur à celui des autres exploitations, et touche à la célèbre mine Marcus Röhling, actuellement abandonnée.

Ces divers exploitations qui occupent à peine une soixantaine de mineurs, présentent cependant un développement considérable; malgré la vétusté des galeries, les filons y sont relativement faciles à observer; ils ont dû fournir par le passé une grande quantité de minerais d'argent, et sont loin d'être épuisés ou même reconnus en profondeur.

§ 2. *Gneiss.* — Les environs d'Annaberg sont pour ainsi dire exclusivement constitués par le gneiss gris, riche en mica noir et à texture très-schisteuse; ce gneiss contient aux environs de Buckholz des filons d'étain.

La direction de sa schistosité qui plonge en général de 45° vers le sud, oscille dans les mines entre 55° et 98°.

Saint-Andreas.	N. 98° E.
Michaeli.	55°
Himmlisch Heer.	68°

A l'est du Pöhlberg, cette schistosité se dirige N. 140° E.

Nous voyons dans ces diverses orientations les retentissements du Morbihan, du Westmoreland, et du Land's-End; ces deux derniers systèmes auraient exercé une influence prépondérante dans la région des mines.

§ 3. *Porphyre granitique.* — On connaît entre Buckholz et Annaberg, au S.-O. de cette dernière ville, un long filon de porphyre granitique, de quelques mètres de puissance, dont la texture tient le milieu entre celle du porphyre quartzifère, et celle du granite à grains fins pauvre en mica; sa direction nette N. 80° E. nous paraît devoir être rapportée au Land's End; et sa constitution même nous semble le rapprocher davantage des granites porphyroïdes et des gneiss rouges que des porphyres quartzifères du groupe °1, qui d'ailleurs n'affectent pas cette direction. Le gneiss

rouge n'est pas inconnu à Annaberg: il paraît en lambeaux dans les mines (Himmlisch Heer).

§ 4. *Trapps grünsteiniques.* — On trouve, en relation avec certaines veines métallifères d'Annaberg, des trapps micacés, d'origine éruptive, dont la composition minéralogique et la texture se rapprochent de celles des kersantons d'Himmelfürst.

La mine Michaeli en présente (Abraham mgg.) quelques exemples intéressants; la roche d'aspect grünsteinique, compacte, se décolore au voisinage des veines métallifères qui la coupent toutes sans exception. On distingue dans cette roche des lamelles de mica bronzé, et une pâte feldspathique à reflets bleuâtres (feldspath Labrador ?); sa cassure pseudo-régulière rappelle celle des basaltes. Ces wackes ont une direction N. 138° E. qui est celle des anciennes cassures du Morbihan (*).

Le filon Getren Nachbachschafter fl. est accompagné sur toute sa longueur par un faisceau grünsteinique d'un aspect remarquable: pâte d'un vert sale, remplie de petites lamelles de mica bronzé, le tout constituant une roche beaucoup moins compacte que les kersantons de Michaëli; à aspect rugueux, et pourtant assez douce au toucher (**). La direction de ce faisceau oscille entre 142° et 152°; la puissance de chaque filon de wacke ne dépasse pas 2 mètres; la séparation avec le gneiss se fait nettement.

Nous devons mentionner ici quelques filons de trapps micacés qui paraissent dirigés N.-S.

§ 5. *Basaltes.* — L'épanchement basaltique du Pöhlberg compose un dôme allongé du sud vers le nord, dont le sommet est le point culminant de la contrée, et sous lequel un lambeau de formation miocène, sans doute protégé

(*) Perte au feu 7,10 p. 100. — Vive effervescence. Richesse en silice, 50,60 p. 100.— Ce kersanton laisse 45 p. 100 de son poids se dissoudre dans l'acide chlorhydrique concentré.

(**) Perte au feu 6,60 p. 100. — Richesse en silice 50,40 p. 100.

par le basalte contre les érosions postérieures, montre encore ses assises sableuses et argileuses. Le basalte du Pöhlberg est essentiellement magnétique et riche en fer oxydulé et en fer titané.

CHAPITRE II. — DIRECTION ET AGE RELATIF DES FILONS MÉTALLIFÈRES A ANNABERG.

§ 1. *Remplissage au point de vue géologique.* — Tous les filons d'Annaberg contiennent sans exception, les uns à l'état de remplissage continu, les autres par places et en colonnes, une belle venue de fluorine et barytine, accompagnée de quartz hornsteinique, qui rappelle les venues V_3, V_4 de Freiberg ; l'abondance même de cette formation est le caractère essentiel et distinctif du champ d'Annaberg.

On y trouve aussi par places, et seulement dans certains filons, un mélange de pyrites de fer et de cuivre, de galène et de blende noire, identique comme aspect à la Kiesige-Formation (V_1) et nettement antérieur à la venue barytique: le remplissage de quartz et mica (Q), de mispickel et roche talqueuse (T) se trouvent aussi, quoique rarement, à Annaberg.

Comme remplissages postérieurs à la venue barytique qui nous sert de point de repère, nous pouvons signaler une galène récente, souvent accompagnée des minéraux du cobalt, du nickel, du bismuth, avec association de dolomite et de quartz hornsteinique ou saccharoïde (V_5), et enfin une formation uranifère et argentifère plus récente que toutes les autres (A).

§ 2. *Directions métallifères.* — Les deux directions importantes qui se présentent constamment à Annaberg, qui forment de longs filons continus, et dont les relations réciproques ne souffrent aucune incertitude, sont :

I. — N. 78° E. . . . . Filons H_{5-6}
II. — N. 155° E. . . . . Filons H_{10}

I. 1°) Les principaux filons H_{5-6}, que nous ayons eu occasion d'étudier, sont les suivants :

MINES.	FILONS.	DIRECTIONS.	PLONGEMENTS.
		degrés.	
Michaëli.	Abraham Mgg.	N. 76 E.	S
Andreas.	Unbennannt Sp.	75	»
Idem.	Anna Mgg.	80	»
Getren-Nachbachschaft. .	Silberkammer Mgg. . . .	78	»
König Danemark.	Hedwig Mgg.	75	N
Idem.	Barbara Mgg.	75	»
Himmlisch Heer.	Dorothea Mgg.	80	S
Idem.	Elisabeth Sp.	80	S
Idem.	Felix Sp.	78	S

Généralement argileux, ils contiennent par places les remplissages T et S_1, V_3 et V_4, et se comportent toujours aux croisements avec les H_{10} comme d'anciens filons réouverts, dont la dernière réouverture, très-violente et très-générale, aurait disloqué la barytine et la fluorine V_4, et contiendrait les venues récentes V_8. Si d'ailleurs on se rappelle que près d'Annaberg un filon de porphyre granitique affecte la direction H_{5-6}, on ne sera pas étonné de voir des veines métallifères parallèles contenir les remplissages anciens.

2°) Outre les filons cités plus haut, qui ont été suivis en longueur, on trouve dans les mines une foule de failles stériles de même direction, à rapprocher de la réouverture H'_{5-6}.

3°) Mais de plus, un certain nombre de fentes, offrant le double caractère de contenir souvent la venue V_4, et souvent aussi de se comporter comme des failles stériles, se présentent entre les directions N. 50° E. et N. 70° E., c'est-à-dire dans les limites mêmes entre lesquelles varie la schistosité ; les fentes H_{3-5} n'ont jamais été suivies et paraissent fort irrégulières.

II. 1°. Les principaux filons H_{10} que nous ayons étudies sont les suivants :

MINES.	FILONS.	DIRECTIONS.	PLONGEMENTS.
		degrés.	
Michaëli.	Silbermühle Fl. . . Au S.	N. 155 E.	O.
Idem.	Idem. . . . . Au N.	148	O.
Andreas.	Rabenglück Fl.	154	»
Idem.	Weisser Schwann Fl. . .	154	O.
Idem.	Reiche Empfängnisse Fl.	156	O.
Getreu Nachbachschaft. .	Getreu Nachb. Fl. Au S.	146	O.
Idem.	Idem. . . . . Au N.	154	O.
König Danemark.	Schwarzer Adler Fl. . . .	163	O.
Himmlisch Heer.	Himmlisch St. . . Au S.	155	»
	Idem. . . . . Au N.	168	»

Ces filons contiennent en formation continue et en grande abondance les venues V_3, V_4; la formation V_5 s'y présente par places; ce sont les vrais filons métallifères d'Annaberg, et c'est en général aux croix qu'ils forment avec les H'_{5-6} que ces derniers contiennent les minéraux V_8.

2°) Les filons H_{10} ont dû nécessairement s'accoupler en certains points avec les anciennes fentes H_9 que la présence et la direction des grünsteins nous ont révélées.

a) Ainsi le Silbermühle fl. dans sa partie N. affecte la direction N. 148°E. et, comme fait très-concluant et remarquable, on y observe sur les salbandes, à côté des remplissages V_3, V_4, V_5, un quartz à éclat gras avec mica largement développé, que Freiberg nous a présenté (Q) en relation avec le gneiss rouge.

b) De même le Getreu Nachbachschafter fl., et le faisceau grunsteinique qui l'accompagne, suivent au S. une direction N. 143° E.

3°) Certains filons H_{10} présentent en plusieurs points des directions anormales variant entre 165° et 175°; on ne peut attribuer ces directions à de simples inflexions des filons H_{10}, car elles se prolongent souvent sur de grandes longueurs et forment des faisceaux H_{11} nettement croisés par les faisceaux H_{10}.

a) Ainsi le Reiche Empfängnisse fl. (St-Andreas), dont la direction moyenne est N. 156° E., se compose de trums

de cette direction, coupeurs nets d'un certain nombre de veines à 175°.

b) Le Himmlisch st. dont la direction moyenne est N. 166° à 170° E., passe brusquement au S. à la direction habituelle des H_{10}, N. 155° E.

c) Le Schwarzer Adler fl. dont la direction moyenne est N. 163° E., passe constamment des directions 155°, aux directions 165°. Il paraît admettre par places un quartz ancien avec sulfures (S_1?).

III. Il nous reste à mentionner ici cinq systèmes de fentes qui, sans avoir l'importance des systèmes H_6 et H_{10}, sont nettement indépendants des deux groupes précédents; ils ont pour caractère d'être très-localisés, et de n'apparaître chacun qu'en certains points particuliers du champ d'Annaberg.

1°) H_{0-1}. Les principaux filons de cette direction que nous ayions pu visiter sont l'Urania St. N. 6° E. (St. Andreas) et le Leipsiger St. N. 12 E. (Himmlisch Heer).

La mine Marcus-Röhling en a contenu quelques-uns qui ont été suivis sur de grandes longueurs :

Krönunger St.	N. 6° E.
Bauerin St.	6°

Les fentes H_{0-1} contiennent les remplissages V_4 et V_8, dans les mêmes conditions que les H_{10}.

2°) H_2. Le Kälber St (Marcus-Röhling) N. 33° E. a été suivi sur une très-grande longueur; quelques filons actuellement abandonnés de la mine Himmlisch Heer (Hilfe Gottes St., etc.) présentent une direction analogue N. 25° E.

3°) H_{8-9}. Cette direction rare à Annaberg est cependant celle qu'affecte un très-long filon de la mine Himmlisch Heer, le Dorothea Fl., N. 134° E., qui paraît accompagné à l'ouest par des fentes de même direction; ce faisceau coupe nettement quelques fentes H_{11}, et paraît influencé vers le N. par un faisceau H_{10}; il présente d'ailleurs le remplissage et les allures des fentes H_{10}.

4°) Enfin la partie N. de la mine St-Andreas, près du débouché des galeries d'écoulement, présente un certain nombre de veines métallifères H_7 dont quelques-unes ont été suivies sur une longueur notable.

Stolln Sp. . . . . N. 106° E.
Michaëli Sp. . . . . N. 104° E.
Bernhardt Sp. . . . N. 108° E.

La direction des filons H_7 oscille entre 100 et 110°; ils contiennent les venues V_3, V_4, V_5; le quartz saccharoïde qui caractérise souvent la venue V_5, y semble singulièrement développé.

5°) Quoique la plupart des filons H_7 soit rejetée par les H_{10} et même les H_{11}, quelques-uns d'entre eux présentent des traces de réouverture récente, sans d'ailleurs cesser de contenir le quartz saccharoïde V_5, ou certain Hornstein noirâtre qui accompagne les sulfo-arséniures de cette venue (Unbenannt sp., N. 105° E., au N. du Getreu Nachbachschafter fl.). Il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que près du faisceau H_7, le gneiss est orienté à 98°, tandis qu'il passe rapidement à l'orientation N. 55° E. plus au Sud.

En résumé nous avons cherché à établir par ce qui précède qu'on doit distinguer à Annaberg onze systèmes de filons d'importance très-inégale, savoir :

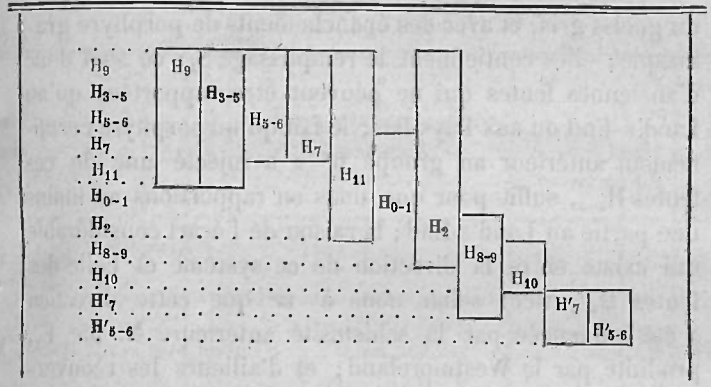
FILONS.	DIRECTION moyenne.	
	degrés.	
H_9	N. 143 E.	Très-rares.
H_{3-5}	55	Rares.
H_{5-6}	78	*Importants.*
H_7	106	Rares.
H_{11}	168	Très-rares.
H_{0-1}	8	Rares.
H_2	30	Très-rares.
H_{8-9}	134	Rares.
H_{10}	155	*Très-importants.*
H'_7	106	Très-rares.
H'_{5-6}	78	*Très-importants.*

§ 3. *Des intersections.* — Nous donnons dans les tableaux qui suivent quelques exemples d'intersections de ces différents systèmes entre eux.

MINES.	FILON REJETANT.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouverture.	FILON REJETÉ.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouverture.
Filons H_9. — N. 143° E.										
Intersection avec les H_{0-1}.										
Michaëli. . . .	Trums près Abraham. Mgg.	degr. 5	»	V_4	r	Filons de grünstein. .	degr. 140	»	»	»
Intersection avec les H_{10}.										
Michaëli. . . .	Silbermühle Fl. . . .	144	E.	V_4V_5	r	Tr. de Silbermühle Fl.	144	E.	Q	r
Getreu Nachb. .	Getreu Nachb. Fl. . .	145	O.	V_3V_4	r	Grünstein.	145	»	»	»
Intersection avec les H'_7.										
Getreu Nachb. .	Unbennannt Sp. . . .	103	N.	V_5	»	Grünstein.	145	»	»	»
Intersection avec les H'_6.										
Michaëli. . . .	Abraham Mgg.	75	S.	stérile	r	Grünstein.	138	»	»	»
Filons H_{3-5}.—N. 55° E.										
Intersection avec les H_{0-1}.										
Andreas. . . .	Urania St.	5		V_4	r	Trum.	52	»	stérile	»
Himmlisch Heer.	Leipsiger St.	12		V_4	r	Trum.	51	E.	V_4	»
Intersection avec les H_{8-9}.										
Himmlisch Heer.	Dorothea Fl.	134	O.	V_4	»	Trum.	55	»	stérile	»
Idem.	Unbennannt Sp. . . .	128	O.	V_4	»	Trum.	51	E.	V_4	»
Intersection avec les H_{10}.										
Andreas.	Reiche Empfängnisse.	155	»	V_4	»	Trum.	50	»	stérile	»
Filons H_{5-6}. — N. 78° E.										
Intersection avec les H_{11}.										
Andreas. . . .	Reiche Empfängnisse.	175	»	V_3V_4	»	Anna Mgg.	80	»	V_3V_4	»
Intersection avec les H_{0-1}.										
Andreas. . . .	Urania St.	5	»	V_4V_8	r	Trum.	75	»	V_4	»
Intersection avec les H_{10}.										
Andreas. . . .	Reiche Empfängnisse.	150	»	V_4	»	Trum.	75	»	V_4	»
Idem.	Idem.	153	»	V_4	»	Trum.	75	»	V_4	»
Himmlisch Heer.	Unbennannt Fl. . . .	150	»	V_5	»	Elisabeth.	85	»	stérile	»
Intersection avec les H'_7.										
Getreu Nachb. .	Unbennannt Sp. . . .	103	N.	V_5	»	Trum.	75		V_5	»
Intersection avec les H'_{5-6}.										
Himmlisch Heer.	Felix Mgg.	80	S.	stérile	V_8	Felix Mgg.	80	S.	V_1	»
Idem.	Elisabeth Mgg.	80	S.	Id.	V_8	Elisabeth Mgg. . . .	80	S.	V_1	»
Idem.	Dorothea Mgg.	80	S.	Id.	V_8	Dorothea Mgg. . . .	80	S.	T_1V_1	»
Michaëli. . . .	Abraham Mgg.	75	S.	Id.	V_8	Abraham Mgg. . . .	75	S.	V_4	»
Filons H_7 — N. 106° E.										
Intersection avec les H_{11}.										
Andreas. . . .	Reiche Empfängnisse Fl	175	»	V_4	»	Michael Sp.	103	»	$V_1?V_4$	»

MINES.	FILON REJETANT.	Direction.	Plongement.	Remplissage.	Réouverture.	FILON REJETÉ.	Direction.	Plongement.	Remplissage.
				Intersection avec les H_{10}.					
Andreas.	Weisser Schwann Fl.	159	O.	V_4	»	Trum.	110	»	V_5
Idem.	Idem.	152	O.	V_4	»	Bernhardt Sp.	108	»	V_8
				Filons H_{11}. — N 168° E.					
				Intersection avec les H_{8-9}.					
Himmlisch Heer.	Dorothea Fl.	130	O.	V_4	»	Trum.	164	E.	V_4
				Intersection avec les H_{10}.					
Michaëli.	Silbermühle Fl.	155	O	V_4	»	Trum.	175	E.	$V_5(?)$
Andreas.	Reiche Empfängnisse.	155	»	V_3V_4	»	Trums.	178	»	V_3V_4
				Intersection avec les H'_{5-6}.					
Andreas.	Faille.	75	»	stérile	»	Reiche Empfängnisse.	178	»	V_8
Himmlisch Heer.	Faille.	75	»	Id.	»	Trum.	164	»	V_8
				Filons H_{0-1}. — N. 8° E.					
				Intersection avec les H_{8-9}.					
Himmlisch Heer.	Trum.	130	S.	V_4	»	Leipsiger St.	12	E.	V_4
				Intersection avec les H_{10}.					
Himmlisch Heer.	Himmlisch St.	160	»	V_3V_4	»	Trums.	9	»	V_3V_4
				Intersection avec les H'_{5-6}.					
Himmlisch Heer.	Elisabeth Mgg.	80	S.	V_8	*r*	Leipsiger St.	12	E.	V_4
				Filons H_2. — N. 30° E.					
				Intersection avec les H_{10}.					
Andreas.	Reiche Empfängnisse.	158	»	V_4	»	Trum.	33	»	stérile
				Intersection avec les H'_{5-6}.					
Himmlisch Heer.	Dorothea Mgg.	80	S.	stérile	*r*	Hilfe Gottes St.	25	»	stérile
				Filons H_{8-9}. — N. 134° E.					
				Intersection avec les H'_{5-6}.					
Himmlisch Heer.	Faille.	75	»	stérile	»	Dorothea Fl.	130	»	V_8
Idem.	Elisabeth Mgg.	85	S.	Id.	»	Idem.	137	»	V_8
Idem.	Felix Mgg.	80	S.	Id.	»	Idem.	138	»	V_8
Idem.	Idem.	80	S.	Id.	»	Unbennannt Fl.	135	»	»
				Filons H_{10}. — N. 155° E.					
				Intersection avec les H'_7.					
Andreas.	Stolln Sp.	108	»	V_3V_5	*r*	Weisser Schwann Fl.	150	O.	stérile
Getreu Nachb.	Unbennannt Sp.	105	»	V_5	»	Getreu Nachb.	152	O.	V_3V_4
				Intersection avec les H'_{5-6}.					
Michaëli.	Failles.	85	N.	stérile		Silbermühle Fl.	155	»	V_4
Andreas.	Faille.	78	»	Id.		Reiche Empfängnisse.	158	»	V_8
Getreu Nachb.	Silberkammer Mgg.	78	N.	Id.		Trums.	153	»	V_8
König Danemark.	Faille.	80	N.	Id.		Schwarzer Adler.	162	»	V_8
				Filons H'_7. — N. 106° E.					
				Filons H'_{5-6} — N. 78° E.					

§ 4. *Comparaison avec les systèmes de montagnes.* — Les intersections étudiées plus haut permettent de ranger les filons d'Annaberg dans l'ordre suivant, qui d'ailleurs laisse subsister les incertitudes que nous avons cherché à traduire graphiquement.



Si l'on néglige les systèmes dont les retentissements ont été presque masqués à Annaberg par les soulèvements récents, ce tableau se simplifiera et pourra se mettre sous la forme suivante :

Ordre chronologique.	Systèmes de filons.	Remplissages.	
N° 1.	H_9, H_{5-6}, H_7	Grünsteins.	Q
		Porphyre-granite.	TV_1
		Schistosité.	
N° 2.	H_{11}, H_{0-1}		
N° 3.	H_{8-9}, H_{10}		V_3V_4
N° 4.	H'_7, H'_{5-6}		V_5, V_8

Considérons en particulier les systèmes les plus importants H_{5-6}, H_{0-1}, H_{10} et H'_{5-6}, dont l'ordre relatif est déter-

miné, et comparons-les aux systèmes de montagnes, tout en tenant compte des roches éruptives et des remplissages auxquels ces directions correspondent ; nous arriverons à fixer ainsi qu'il suit l'âge géologique de ces points de repère.

1°) Les fentes H_{5-6} sont en relation avec la schistosité du gneiss gris, et avec des épanchements de porphyre granitique ; elles contiennent le remplissage S_1 ; ce sont donc d'anciennes fentes qui ne peuvent être rapportées qu'au Land's-End ou aux Pays-Bas ; le fait qu'un porphyre certainement antérieur au groupe n° 2 a injecté une de ces fentes H_{5-6}, suffit pour que nous en rapportions au moins une partie au Land's-End ; la raison de l'écart considérable qui existe entre la direction de ce système et celle des fentes H_{5-6} tient selon nous à ce que cette direction a été influencée par la schistosité antérieure N. 55° E., produite par le Westmoreland ; et d'ailleurs les réouvertures récentes à 78° ont pour ainsi dire souligné celles des anciennes fentes du Land's-End qui affectent cette direction, en les transformant en failles que l'exploitation a suivies.

2°) Les filons H_{0-1} ne peuvent se rapporter qu'au système du nord de l'Angleterre, ou à celui de la Corse et de la Sardaigne ; c'est au premier de ces deux systèmes que les astreint leur antériorité aux filons H_{10}.

3°) Ces derniers sont des retentissements du Mont-Viso, auquel leur direction et leur apparition relativement récente les rapportent nécessairement.

4°) Quant à la grande réouverture H'_{5-6}, nous la croyons intimement liée à l'apparition du dôme basaltique du Pöhlberg, qui est la dernière manifestation éruptive du pays, de même que les failles H'_{5-6} représentent les derniers mouvements de la croûte terrestre à Annaberg ; nous avons déjà vu du reste que les basaltes de la Saxe devaient être rapportés en majeure partie au système des Alpes principales

qui a précisément la direction des failles H'_{5-6} ; l'axe volcanique Etna-Ténériffe, qui leur est aussi parallèle, en a peut-être réouvert quelques-unes.

Ces points de repère une fois établis, il est facile de terminer la comparaison des systèmes de montagnes avec les phénomènes de détail qui se présentent à Annaberg ; cette comparaison est résumée dans le tableau suivant :

SYSTÈMES de montagnes.	Direction.	Filons.	Direction.	RETENTISSEMENTS GÉOLOGIQUES près Annaberg.	ÉRUPTIONS.	REMPLISSAGE caractéristique.	REMPLISSAGE ou réouverture.	REMPLISSAGE coupé.
	degr.							
Vendée	170							
Longmynd	35							
Morbihan	140	H_9	143	Plissements anciens du gneiss gris.	Grünsteins.	Q	V_4	
Westmoreland	63	H_{3-5}	55	Idem.				
Land's-End	96	H_{5-6}	78	Idem.	Porphyre-gr.	TS_1	V_4	
Ballons	111	H_7	106	Idem.			V_3	
Lisbonne	60							
Forez	172	H_{11}	168			S_1 ?	V_4	
Nord de l'Angleterre	7	H_{0-1}	8				V_4V_8	
Pays-Bas	92	H_{5-6}	78			S_1		
Rhin	24	H_2	28					
Thuringerwald	132	H_9	134			V_3V_4	V_5	
Mont Seny	43							
Côte-d'Or	56							
Mont Viso	162	H_{10}	156			V_3V_4	V_5	
Pyrénées	114	H'_7	106			V_5		
Corse et Sardaigne	178							
Taïra	94							
Alpes occidentales	33							
Alpes principales	79	H'_{5-6}	78	Épanchement du Pöhlberg	Basalte	V_8		V_4V_5
Ténare	168							
Etna-Ténériffe	78							

CHAPITRE III. — DES REMPLISSAGES.

§ 1. *De quelques exemples de remplissage.* — L'analogie que les remplissages d'Annaberg présentent avec ceux de Freiberg, au point de vue de leur âge géologique, des directions qu'ils remplissent, et enfin des caractères minéralogiques, nous dispensera d'entrer dans de longs détails.

Q. Le remplissage de quartz ancien avec mica ne s'est présenté à nous avec certitude que dans certains trums H_9

du Silbermühle fl. (partie S.); il avait en ces points un remplissage complexe :

a) Quartz ancien avec mica, quelquefois réduit mécaniquement en farine grossière.

b) Fluorine et barytine avec veinules plus récentes de dolomite rouge, et mouches de cuivre gris et pyriteux; par places, dans les druses, barytine en tables carrées.

c) Smaltine.

d) Cristaux isolés de fluorine et de pyrite.

e) Minéraux argentifères (argent rouge) dans les druses et en imprégnations près d'une faille H'_{5-6}.

T. Nous avons constaté la présence du remplissage talqueux mispickélifère dans le Dorothea mgg H_{5-6}; il se compose de cristaux mal formés et de mouches de mispickel, avec grains verdâtres translucides de talc, le tout dans une roche schisteuse et talqueuse.

V_1. La Kiesige-formation s'est présentée avec son aspect habituel (Freiberg V_1 n° 2) dans la plupart des filons H_{5-6} de la mine Himmlisch Heer; la blende noire et la pyrite de cuivre y dominent; la galène et les autres pyrites n'y sont pas rares; la galène est pauvre et ne contient que 1 à 2 p. 10.000 d'argent.

Cette venue à laquelle les mineurs n'attachent aucune importance à Annaberg, n'y paraît pas abondante; il est juste d'ajouter que ni les filons H_{0-1}, ni les H_2, dans lesquels elle pourrait se trouver en certaine quantité, n'ont été vraiment suivis ou même explorés; ils paraissent d'ailleurs peu nombreux aux environs.

V_2. Nous avons déjà constaté à Freiberg combien il est difficile de distinguer la venue barytique antérieure au Rother Horn et contemporaine des filons du Thuringerwald, de la venue barytique et fluorée qui nous paraît caractériser les filons du Mont-Viso.

La venue V_2 semble ne pas exister à Annaberg, ou du moins y est-elle excessivement peu abondante; tout au plus

pourrait-on citer quelques trums H_{11}, H_{0-1} et H_9 qui peut-être en contiennent, et dont le remplissage semble coupé par les H_{10} (trum barytique H_{11} coupé par le Silbermühle H_{10}).

V_3, V_4. C'est la venue caractéristique d'Annaberg, où elle est incomparablement plus développée que tous les autres, et vraiment abondante. Elle se présente, pour ainsi dire, avec un aspect particulier dans chacun des filons où on l'a suivie.

1° Silbermühle fl. H_{10}. La fluorine y domine : verte, jaune, violette, elle se présente en masses et en gros cristaux aussi beaux que ceux du Cumberland. La barytine et le rother Horn s'associent à la fluorine de la façon suivante :

a) Rother Horn plus ou moins concassé.

b) Fluorine de toutes couleurs avec mouches de cuivre pyriteux, transformé en cuivre gris à la périphérie.

c) Barytine compacte à petites facettes.

Les druses de la fluorine présentent de gros cristaux cubiques de fluorine, de petites tables de barytine transparente jaunâtre (face P très-développée, a^2 en longueur, e^1, M en modification sur les angles), des cristaux de marcassite. La venue V_5 se présente aussi dans le remplissage précédent : quartz carié pseudomorphisant la barytine et la dolomite; smaltine en agrégations dendritiques, etc.

2° *Getreu Nachbachschafter fl.* H_{10}. Il offre un remplissage nettement rubanné et dont l'aspect poreux est très-caractéristique.

Ce remplissage présente en général côte à côte deux zones, l'une quartzeuse, l'autre barytique.

A) Zone quartzeuse.

a) Rother Horn; quartz grenu rougeâtre en double bande sur les bords de la zone, avec filets d'un rouge mat aux limites de séparation.

b) Ce même rother Horn se trouve en morceaux cassés dans un quartz cristallisé vitreux, qui forme le cœur de la zone A, et dont les druses renferment certains minéraux de la zone B. Le rothern Horn contient des frag-

ments englobés du grünstein qui sert ici de salbande (*).

B) Zone barytique.

a) Barytine blanche opaque en tables clivées ou mal cristallisées sur les bords, présentant quelquefois cependant les faces Pa^2e^1.

b) Dolomite ferrugineuse jaune miel, et fer carbonaté, en mouches cristallisées, soulevant les tables brisées de la barytine, et se mélangeant intimement avec une fluorine verdâtre, et des mouches de cuivre gris et pyriteux. Ce mélange englobe des morceaux cassés des quartz A.

c) Enfin, par places, apparaît en traînées discontinues un quartz hornsteinique noir, avec accompagnement probable d'arséniosulfures (V_5) (Pl. VIII, *fig.* 22).

3° ***Mine Himmlisch Heer.*** — Les filons H_9, H_{10}, H_{0-1}, de cette mine contiennent un remplissage compacte, qui fait contraste avec celui du getreu Nachbachschafter fl., et dans lequel on distingue en général :

a) Quartz hornsteinique grenu blanc ou rouge.

b) Fluorine de toutes couleurs, surtout verte et violette.

c) Barytine compacte, blanche ou rouge, à petites facettes.

V_5 Cette venue se présente rarement d'une façon continue à Annaberg; elle forme dans les filons H_{10} des poches en colonne, ou en tapisse les druses; il semble qu'elle recherche les intersections des filons anciens, et il n'est pas rare de la trouver dans les mêmes conditions et aux mêmes endroits que les minéraux argentifères V_8. Cependant le quartz saccharoïde et la dolomite qui en font partie, se trouvent en veinules continues dans certains filons H'_7 et H_{10}, et sont disloqués par les réouvertures H'_{5-6} que pénètre au contraire la venue argentifère.

(*) Cette zone A est identique au remplissage de certains filons hornsteiniques et quartzeux du Morvan H_9 et H_{10}, en relation avec les arkoses d'une part, et des filons fluorés, barytiques et plombifères de l'autre.

La venue V_5 présente comme principaux minéraux ceux du cobalt, du nickel, du bismuth, du cuivre, une galène en cristaux octaédriques, et une blende jaunâtre, des quartz hornsteiniques noirâtres ou cristallins saccharoïdes, des dolomites diversement nuancées, et enfin une fluorine en cristaux récents dans les druses. Voici quelques exemples d'associations de ces différents minéraux entre eux.

1° ***Silbermühle fl.*** H_{10}.

a) Venue V_4.

b) Agrégats de cristaux de cobalt arsenical avec mouches de pyrite de cuivre.

c) Cristaux isolés de fluorine jaune.

2° ***Himmlisch st.*** H_{10}.

a) Venue V_4.

b) Cristaux cubo-octaédriques de galène; cette même galène, accompagnée de pyrite de cuivre, pénètre en veinules dans la barytine V_4.

c) Cubes de fluorine.

3° ***Dorothea fl.*** H_9.

a) Venue V_4.

b) Veinule de quartz hornsteinique noirâtre avec cobalt gris massif.

c) Cubes de fluorine.

4° ***Schwarzer Adler fl.*** H_{10}.

a) Quartz saccharoïde pseudomorphisant la dolomite.

b) Dolomite et cobalt arsenical.

5° ***Unbenannt sp.*** H'_7 (près le Getreu Nachb. fl.).

Hornstein noirâtre, avec imprégnations de galène riche en argent, de blende brune, de cobalt gris, d'arsenic natif.

6° ***Stolln sp.*** H'_7.

a) Rother Horn concassé.

b) Quartz blanc saccharoïde avec bismuth natif, et bismuth oxydé.

V_8. La venue argentifère à Annaberg consiste principalement en argent rouge, sulfuré et natif; on l'a trouvée

dans les filons H_{0-1}, H_9, H_{10}, à leurs croisements avec certaines failles H'_{5-6}; ainsi le Leipsiger st., à son intersection avec l'Élisabeth mgg., a contenu sur 20 mètres de long et 15 mètres de hauteur des minerais argentifères pour une valeur de 60.000 francs. Mais les H_{5-6} réouverts en contiennent aussi par place; ainsi le Félix mgg., en un point où il rencontre un glissement presque horizontal du gneiss (schwebende), glissement dirigé H_{0-1}, plongeant d'environ 14° vers l'ouest, et jouant le rôle de Fahlband, a contenu pour plus de 300.000 francs de minerais argentifères. Ils imprègnent la fluorine qui paraît alors mangée et comme spongieuse.

C'est à une période voisine que nous rapportons la venue de pechblende, déjà signalée dans Urania st., dont on a tout récemment découvert des quantités notables dans un des filons H_{10} d'Himmlisch Heer; à l'avancement nord du Leipsiger st., on a trouvé et suivi vers l'ouest un filon H_{10}, N. 152° E.; il ne contenait d'abord dans un gneiss rouge compacte, qu'un filet de dolomite rougeâtre; puis la roche encaissante est devenue schisteuse, noirâtre, assez analogue aux alaun-Schiefers de Schneeberg, et le remplissage du filon H_{10}, composé de filets de dolomite empâtant des cristaux isolés de fluorine foncée violette, est venu se buter sur les fendillettes d'un faisceau H'_{5-6} qui le rejettent, et qu'on n'avait pas encore entièrement traversées lors de notre visite; en ce point les fentes H_{5-6} et H_{10} se chargent d'une pechblende noire à cassure brillante, avec accompagnement sur les bords de pyrite de cuivre. La roche est imprégnée de galène et de blende jaune. On a déjà retiré quelques quintaux de pechblende; nous avons pu constater en ce point quelques traces de minéraux argentifères.

Nous résumons dans le tableau suivant ce qui se rapporte à l'âge des remplissages d'Annaberg.

Age des remplissages à Annaberg.

SYSTÈMES DE MONTAGNES.	FILONS PRINCIPAUX.	REMPLISSAGES.
Morbihan	H_9	Q?
Land's-End	H_{5-6}	T?
Ballons	H_7	
Pays-Bas	H_{5-6}	V_1
Thuringerwald	H_9	V_2?
Mont Viso	H_{10}	V_3V_4
Pyrénées	H'_7	V_5
Alpes principales	H'_{5-6}	V_8

§ 2. *Exemples d'intersections.*— Il nous reste à appuyer de quelques exemples les phénomènes de réouverture et d'intersection, dont nous avons fait mention plus haut.

1° L'Abraham mgg. H_{5-6}, d'abord stérile et argileux près du Silbermühle fl., présente ensuite au mur, sur une longueur de 40 mètres environ, un beau remplissage de fluorine et barytine, disloqué par places; la faille stérile de réouverture se continue au toit, et constitue bientôt de nouveau à elle seule le filon; elle coupe et rejette de 2m,50 un filon H_{0-1} rempli de fluorine et barytine; à la croix on a trouvé pour 10.000 francs de minerais argentifères. Il résulte de cet exemple (Pl. VIII, *fig.* 23), que l'Abraham mgg. qui contient par place le remplissage V_4, le coupe et le rejette en d'autres points.

2° Le Reiche Empfängnisse fl. H_{10} (Pl. VIII, *fig.* 24), à peu près stérile, est coupé et rejeté de 2 mètres par une faille argileuse H'_{5-6} accompagnée au mur d'une veinule de fluorine; cette veinule se bute contre le filon H_{10}, et l'injecte d'une fluorine qui est elle-même coupée par la faille H'_{5-6}.

3° Le même Reiche Empfängnisse fl. rempli de gneiss

concassé rejette de $0^m,50$ une fente H_{5-6}, mais laisse passer a fluorine dont elle est remplie.

4° L'intersection du Getreu Nachbachschafter fl. au nord avec un filon H'_7, se fait dans les conditions suivantes : le filon H_{10}, accompagné d'un faisceau grünsteinique, est d'abord rejeté par une fente H'_{5-6}; puis il se fait couper par le filon H'_7 qui, suivi à l'est et à l'ouest, croise des fentes H_{10}, un deuxième grünstein H_9, et une fente H_{5-6}. Nous avons déjà insisté sur le remplissage caractéristique du filon H_{10} ($V_3 - V_4$), et du filon H'_7 (V_5). Les croix proprement dites sont argileuses ; l'une d'elles est riche, en minerai de cobalt.

5° L'Élisabeth sp. (Himmlisch Heer) H_{5-6}, présente, au point où il rejette le Dorothea fl. H_9, des traces non équivoques de réouverture; le remplissage proprement dit, qui a contenu la venue V_1, y est disloqué; au toit les salbandes présentent des miroirs de glissement, au mur une faille argileuse. Au croisement avec l'Unbenannt fl. N. 150° E. H_{10}, qui contient dolomite, nickeline et pyrites, on peut constater que les veinules dolomitiques traversent le remplissage du croiseur, mais elles sont rejetées par les glissements de réouverture. Cette même réouverture rejette, plus loin vers l'ouest, le Leipsiger st. (Pl. VIII, *fig.* 25) H_{0-1}, et son remplissage, barytine, fluorine, dolomite, minerais de nickel et de cobalt ; nous savons déjà que cette croix a été riche en minerais d'argent.

Le Leipsiger st. H_{0-1} suivi vers le nord, s'est d'abord buté en α sur un trum H_9 contenant de la barytine (V_2?); au mur ce trum présente des traces de glissements sur lesquels bute nettement en β un trum N. 52° E., rempli de fluorine et barytine; quelques mètres plus loin en γ, le remplissage est coupé net par une faille mince N. 12° E., qui s'accouple au toit avec un filon disloqué de même direction contenant barytine et fluorine; à partir de ce point, le filon H_{0-1} est coupé et rejeté, fente et remplissage par plusieurs

trums H_{3-5} qui présentent des traces de glissements au toit, et au mur un remplissage identique à celui du filon rejeté.

La dernière des fentes N. 50° E., suivie en longueur, devient bientôt stérile; elle coupe et rejette un filon H_{10}, contenant des veinules de dolomite rouge ; c'est en δ que cet H_{10} contient, comme nous l'avons déjà indiqué, de la pechblende.

Section V. — Remplissages sulfurés jeunes.

SCHNEEBERG.

CHAPITRE I. — Constitution géologique du champ.

§ 1. *Données historiques et statistiques.* — Le district de Schneeberg est situé au milieu de l'Erzgebirge, sur le versant nord de cette chaîne de montagnes; il comprend des mines considérables de cobalt, concentrées toutes au voisinage de Schneeberg; les filons qu'elles exploitent, appartiennent eux-mêmes à un champ de cassures plus vaste, s'étendant jusqu'à Schwarzenberg au sud-est et jusqu'à Eibenstock au sud-ouest.

L'exploitation des mines de cobalt à Schneeberg, après s'être ralentie au commencement du siècle, a repris aujourd'hui une certaine activité ; les mines principales s'échelonnent, au sud-ouest de Schneeberg, dans l'ordre suivant : mines Weisser Hirsch, Gesellschafter Zug, Sieben Schleen, Adam Heber et Wolfgang Maasen ; les autres mines Saint-Georg, Fürsten Vertrag, Rosenkranz, Schindler, Daniel et Alter Türke sont inexploitées ; la mine de cuivre König David reprend ses travaux : une galerie d'écoulement relie toutes ces mines entre elles et va déverser leurs eaux dans la vallée de Nieder-Schlema.

Le nombre des ouvriers occupés dans l'ensemble des travaux est de 900 ; la production en 1867 a été de

212 tonnes de minerais de cobalt représentant une valeur de.	258.000 fr.	696.200 fr.
0t,166 d'argent métallique représentant une valeur de.	33.700 fr.	
8t,300 de nickel métallique représentant une valeur de.	37.500 fr.	
14 tonnes de bismuth métallique représentant une valeur de.	367.000 fr.	

§ 2. *Constitution géologique du district* (*). — Les filons de Schneeberg sont situés au milieu des micaschistes et des schistes argileux qui forment la frontière ouest du massif de gneiss de la Saxe ; la formation dominante à Schneeberg est le micaschiste à mica noir abondant ; il se change au nord en schiste argileux, que l'on retrouve, sous forme d'îlot assez développé, au milieu même des micaschistes de Schneeberg, dans une zone où les filons de cobalt ont leur principal développement. Les schistes affectent au nord et à l'ouest de Schneeberg une direction à 50° avec un plongement de 25 à 50° vers le nord ; dans la région sud-est, ils ont été soulevés par le massif à 135° de granites qui apparaît au milieu d'eux vers Schwarzenberg : les terrains sédimentaires ont en effet des plongements inverses de part et d'autre, et une orientation qui passe par toutes les valeurs de 0 à 180° lorsqu'on tourne autour du massif. Le granite forme au sud-ouest de Schneeberg un vaste épanchement

(*) Müller. *Erz-district von Schneeberg-Gangstudien*, 1857. — Les observations consignées dans ce remarquable mémoire, dont l'auteur ne s'appuie pas sur la théorie des directions, sont une des confirmations les plus nettes et les plus intéressantes de cette théorie : elles déterminent nettement l'âge relatif des remplissages variés de ce champ de cassure, et conduisent au même résultat que la comparaison des systèmes de montagnes avec les filons de ce district.

déjà signalé plus haut (granite de Kirchberg et d'Eibenstock) dont la frontière nord-est est à 135°.

Les filons de Schneeberg se trouvent compris dans la portion de micaschistes enclavée entre le granite d'Ober-Schlema et le grand massif d'Eibenstock ; les travaux de mines ont montré que ces deux masses devaient se rejoindre en profondeur, et que les îlots des environs de Schwarzenberg n'étaient que des ramifications de la grande masse granitique formant le fond de la cuvette ; la séparation du granite d'Eibenstock et des schistes a été reconnue dans les mines Adam Heber et Wolfgang Maasen ; elle plonge de 25 à 35° au nord-est ; mais ensuite ce plongement diminue. On a observé des faits analogues pour le granite d'Ober-Schlema, en poussant en profondeur les travaux de la mine Weisser Hirsch : la continuité du fond de granite est donc un fait incontestable.

La séparation du granite et des schistes est toujours très-brusque et fort nette ; il y a soudure intime des deux roches à leur contact, on observe rarement de faille argileuse séparatrice ; le granite lance en outre dans les schistes une foule de petites ramifications et constitue parfois de véritables filons, toujours nettement coupés par les veines métallifères ; nous citerons :

a) Dans la mine Wolfgang Maasen (niveau de la galerie d'écoulement) un filon de granite à 135°, rejeté par le filon Roland à 29°.

b) Dans la même mine, une veine stérile à 97°, rejetant deux filons de granite à 137°.

c) Dans la mine Adam Heber, un filon de granite à 147° coupé par la veine Neu Glück à 133°, etc.

La présence du granite en filons au milieu des schistes, l'absence de faille séparatrice au contact des deux terrains, montrent nettement que cette roche s'est épanchée à l'état pâteux ou s'est ramollie postérieurement au dépôt des schistes, tout en injectant d'anciennes cassures à 137°.

Les grünsteins sont très-fréquents dans les micaschistes de Schneeberg; ils sont surtout répandus dans les schistes argileux du nord (Lössnitz, Hartenstein) au milieu desquels ils apparaissent en couches interstratifiées. Les filons nets de grünstein sont beaucoup plus rares; nous citerons (*) celui de Nieder-Schlema à 36° avec un plongement de 70° N.-O.; il coupe nettement les schistes dirigés à 65° et plongeant de 55° au nord.

Dans les mines de cobalt de Schneeberg, on a reconnu l'existence de grünsteins assez nombreux formant deux traînées à 60°, c'est-à-dire parallèles à l'orientation des schistes à travers les mines Sieben Schleen et Adam Heber d'une part, et les mines Rosenkranz, Rappold et Wolfgang Maasen de l'autre. Ces roches offrent tous les intermédiaires entre la diorite bien caractérisée et le grünstein schisteux; on trouve fréquemment dans leur masse le grenat, la calcite et accidentellement la pyrite, le mispickel, la blende, la galène et la pyrite cuivreuse. Dans la mine Wolfgang Maasen on a reconnu, à 192 mètres de profondeur, un filon-couche à 45° de $0^m,80$ de puissance, plongeant de 40° au N.-O., formé par une masse grünsteinique avec grenat, épidote et aussi mispickel, blende et galène. Ce filon s'observe également au jour (**).

Les kersantons (***) ont formé quelques filons groupés en deux faisceaux principaux, l'un au nord du champ et l'autre au sud : le faisceau sud est représenté par un filon reconnu dans les mines Alter Türke, Bergkappe et Rosen-

(*) Müller.

(**) L'analyse complète de ce grünstein nous a donné :

Perte au feu	0,00 (?)	— Pas d'effervescence.
Silice	40,60	
Alumine	22,90	
Protoxyde de fer	12,60	
Chaux	20,66	
Alcalis (par différence)	3,24	
	100,00	

(***) Müller.

kranz, sur un développement de 2 kilomètres; il est dirigé à 140° avec un plongement de 70° au S.-O., et une puissance de 2 à 10 mètres; fréquemment rejeté par les veines métallifères, il a été suivi par le filon Alter Türke sur une certaine longueur. Ce kersanton est constitué par une pâte feldspathique avec des feuillets nombreux de mica chloriteux.

Le faisceau nord comprend des filons des mines St Georg et König David, affectant trois directions, à 140°, à 170° et à 30°; cette dernière direction est plus rare, et s'observe seulement dans les régions où les schistes ont eux-mêmes cette orientation.

Le porphyre rouge quartzifère forme près de Nieder-Schlema trois filons à 50°, 105° et 65°. Ce dernier est coupé par la veine métallifère Clara à 135°.

En résumé la configuration du pays se rapporte au système du Morbihan pour les granites, au Westmoreland pour les schistes et les grünsteins. Les kersantons ont injecté des cassures du Morbihan, et d'anciennes fentes NS (Vendée); les porphyres ont formé des filons à rapporter au Land's-End, au Primitif de Lisbonne.

CHAPITRE II. — DIRECTION ET AGE RELATIF DES FILONS MÉTALLIFÈRES A JOACHIMSTHAL.

I. *Direction des filons.* — On peut donner une première idée très-simple des directions des filons de Schneeberg (Pl. X), en disant qu'ils forment deux faisceaux sensiblement rectangulaires, l'un N.-E., l'autre S.-E, très-dissemblables au point de vue de l'allure des veines qui les constituent et des remplissages qui y ont pénétré. Le faisceau N.-E. comprend les filons à remplissage ancien de quartz stérile, rarement accompagné de sulfures; le faisceau S.-E. représente l'ensemble des filons de cobalt avec remplissages jeunes, barytique, fluoré, cobaltifère : on voit que,

contrairement à ce que présente le champ de Freiberg, les directions riches sont ici comprises entre 90 et 180°.

Certaines veines anciennes N.-E. ont subi une réouverture violente très-jeune, qui a modifié profondément les rejets primitifs produits par les filons de cobalt et qui pourrait au premier abord tromper étrangement sur l'âge relatif des deux systèmes de fractures; les points de croisement des deux faisceaux renferment enfin une venue argentifère, qui paraît la plus jeune de toutes.

Nous donnons immédiatement l'ordre dans lequel se sont succédé à Schneeberg les différentes venues; il est impossible en effet de séparer, dans la description de ce champ, l'étude des fentes de celle de leur remplissage :

1° Q Quartz ancien et mica;
2° S_1 Remplissage de quartz et sulfures anciens;
3° F_1 Venue ferrugineuse;
4° B Venue barytique;
5° S_2 Venue arsénio-sulfurée jeune;
6° C Venue de dolomite et calcite;
7° A Venue argentifère.

Faisceau ancien N.-E. — Ce faisceau comprend les filons qui existaient déjà à l'époque de l'arrivée de la venue S_1; il se dédouble aisément à première vue en deux directions d'égale importance : filons H_3, filons H_2.

1° *Filons* H_3. — Ces filons, à remplissage de quartz à peu près stérile, ont été néanmoins suivis sur de grandes longueurs, parce qu'ils recoupent à angle droit le faisceau des filons de cobalt, et servent ainsi de galeries de recherche. Les veines H_3 se distinguent de toutes les autres par l'irrégularité de leur direction et de leur plongement, toujours dirigé vers le N.-O.; cette constance s'explique assez bien en remarquant que les filons H_3 ont à peu près suivi la schistosité de la roche encaissante, laquelle présente toujours aussi un plongement vers le nord-ouest. Nous citerons, parmi les veines H_3, les suivantes :

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Gesellschafter Zug. . .	Hercules.	50	60 N. O.
	Jung Elisabeth.	40	N. O.
Rosenkranz.	Porzifall à l'O.	47	70 N. O.
Sieben Schleen.	Fleischer à l'O.	47	55 N. O.
Adam Ueber.	Fleischroth.	42	N. O.
	Moyenne.	46	

2° *Filons* H_2. Ces filons, d'une très-grande importance, ont été explorés sur des longueurs considérables; ils ont également un plongement constant au nord-ouest. On peut distinguer ces veines en deux classes : les unes ont une direction parfaitement rectiligne, et constituent dans toute leur étendue un système unique de filons (König David, St. Michael, Roland), les autres (Bergmann, St Georg, Unbenannter) n'appartiennent au système H_2 que sur une partie de leur parcours; elles viennent se greffer aux veines anciennes H_3, de telle sorte que le remplissage a suivi tantôt une veine H_3 et tantôt une veine H_2, ce qui rend la direction moyenne de ces filons incertaine, et la rapproche de 35°. Nous insistons sur ces faits parce qu'ils sont exceptionnels à Schneeberg, tandis que dans d'autres champs (Przibram) ils constituent la généralité des cas.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
König David.	König David.	25	80 N. O.
	Saint-Michael.	29	80 N. O.
Saint-Georg.	Saint-Georg Mg. . . .	29	85 N. O.
	Veine H_2.	30	75 N. O.
	Veine H_2.	17	N. O.
Weisser Hirsch.	Bergmann au N. . . .	34	60 N. O.
Adam Ueber.	Unbenannter.	26	N. O.
Wolfgang Maasen. . . .	Roland.	30	50 N. O.
	Moyenne.	26	

Ces deux systèmes comprennent le plus grand nombre des filons anciens; nous rattacherons encore à ce premier groupe quelques veines moins nombreuses, mais de direc-

tion bien nette et que leur remplissage conduit à rapprocher des filons anciens, ce sont des filons H_4, H_{11} et H_{0-1}.

1° *Filons* H_4. — Les veines H_4 sont peu nombreuses et sans importance ; elles n'ont généralement pas été explorées, en raison de leur stérilité presque complète.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Fürsten Vertrag.	Churhaus Sachsen à l'E.	61	60 N. O.
	Babi.	65	65 N. O.
Gesellschafter Zug. . .	Fuchs.	75	65 N. O.
	Frisch Glück à l'E. . .	57	55 N. O.
	Neue Aussicht.	63	N. O.
Adam Heber.	Johannes.	73	N. O.
	Freuliche Aussicht. . .	73	»
	Moyenne.	66	

2° *Filons* H_{11}. — Les filons H_{11} ont quelques représentants bien définis et assez développés (veines Fürsten Vertrag, Sittig, Jung Römer) ; on les confond aisément avec certains filons de cobalt qui les croisent sous un angle très-faible; mais ils se distinguent de ces derniers, grâce à leur remplissage ancien, toujours traversé et coupé par celui des veines cobaltifères.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Fürsten Vertrag.	Fürsten Vertrag. . . .	158	80 E.
Weisser Hirsch.	Sittig.	170	»
	Veine H_{11}.	170	»
Gesellschafter Zug. . .	König.	170	O.
	Jung Römer au N. . .	174	O.
	Moyenne.	168	

3° *Filons* H_{0-1}. — Ces filons sont rares et tous concentrés dans une zone très-étroite, sous la ville même de Schneeberg :

a) Mine Saint-Georg, faisceau de veines à 0° accompagnant le filon Saint-Georg mgg. ; filon Gabriel à 3° non loin de là.

b) Mine König David, filon Glucks Rad à 6° plongeant O.

Faisceau récent S.-E. — Les croiseurs S.-E., postérieurs à la venue quartzo-sulfurée S_1, coupent comme fente et comme remplissage tous les filons précédents; le faisceau SE se dédouble à première vue en quatre directions distinctes H_{6-7}, H_{7-8}, H_{8-9} et H_{10} ; les trois dernières directions représentent les filons les plus importants, et on remarquera à leur égard que deux d'entre elles, H_{7-8} et H_{10}, sont symétriquement disposées par rapport à la troisième, H_{8-9}, qui forme leur bissectrice. Cette prédominance de trois directions voisines donne immédiatement au champ de Schneeberg un aspect tout spécial, les filons y apparaissent par groupes de veines très-rapprochées se croisant sous des angles très-aigus ; il est toujours difficile de distinguer une simple branche diagonale ou accidentelle d'un croiseur véritable. Si l'on ajoute enfin à l'ensemble de ce réseau enchevêtré le grand faisceau des veines complexes H_2 et H_3, croisant le tout à peu près à angle droit, on se fera une idée assez exacte des grands traits du champ de cassures de Schneeberg, car les autres filons sont insignifiants lorsqu'on les compare à ces deux faisceaux.

1° *Filons* H_{8-9}.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
König David.	Rother Kamm.	137	80 N. E.
	Ursula.	143	N. E.
Fürsten Vertrag.	Fruchtbare Thorheit. .	130	N. E.
Weisser Hirsch.	Saint-Georg Fl.	137	80 N. E.
Himmelfahrt Christi. .	Neue Absicht.	133	N. E.
	Christi Hilfe.	133	N. E.
	Tafelstein.	141	»
Alter Türke.	Alter Türke.	142	70 S. O.
	Hohe Fichte.	137	N. E.
	Neue Hilfe	126	67 N. E.
Gesellschafter Zug. . .	Margaretha.	133	50 S. O.
	Unbenannter.	136	S. O.
Rosenkranz.	Münzer Zeche.	143	70 N. E.
	Elisabeth.	136	70 N. E.
Priester.	Gross Winter.	142	80 N. E.
Adam Heber.	Oswald.	144	»
	Adam Heber.	129	»
		136	

Les filons H_{8-9} forment un faisceau étendu de veines très-nombreuses, car nous sommes loin d'avoir cité toutes celles que l'exploitation a découvertes ; les représentants les plus développés de ce système sont les filons de cobalt Alter Türke, St. Georg Fl., Münzer Zeche ; nous citerons encore le Rother Kamm qui appartient nettement au même système, mais qui se distingue des autres filons par son remplissage ferrugineux F_1 ; il forme le passage entre les filons de cobalt de Schneeberg et les filons d'hématite rouge du granite d'Eibenstock. Nous avons déjà indiqué que le Rother Kamm est connu sur un développement de 5.600 mètres et qu'il constitue la séparation entre les schistes d'une part et les îlots granitiques d'Ober-Schlema et Auer Hammer de l'autre, apparaissant ainsi comme une réouverture évidente de l'ancien épanchement de granite à 137°.

2° *Filons* H_{10}.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Saint-Georg.	Sainte-Anna.	146	80 N. E.
Weisser Hirsch	Walpurgis.	162	80 S. O.
Himmelfahrt Christi.	Führung Gottes.	157	75 S. O.
	Michaëlis.	160	50 S. O.
Gesellschafter Zug.	Frisch Glück.	147	N. E.
	Hoffnung Gottes.	150	60 S. O.
Rosenkranz.	Andreas.	146	S. O.
Sauschwart.	Glück.	150	55 S. O.
Sieben Schleen.	Sieben Hüfner.	162	46 S. O.
Wolfgang Maasen.	Neue Hoffnung.	150	S. O.
Lerchenberg.	Herzog Christianus.	152	S. O.
	Bauer Zug.	154	S. O.
	Moyenne.	153	

Le représentant le plus intéressant de ce système est la veine double à 162° formée par la réunion des filons Saint-Georg Fl. et Walpurgis qui se suivent à très-faible distance, sur une grande longueur, avec des anastomoses nombreuses.

3° *Filons* H_{7-8}. — Les filons H_{7-8} forment un faisceau s'étendant entre les mines Adam Heber et Gesellschafter Zug, dans une région où dominent aussi des cassures H_{6-7}, avec lesquelles ils sont constamment en relation.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Gesellschafter Zug.	Elisabeth.	110	N. E.
	Trum de Zwickauer.	120	70 N.
Sauschwart.	Sauschwart.	117	61 N. E.
Himmelfahrt Christi.	Drei Brüder.	122	N. E.
	Segen Gottes.	110	N. E.
Berg Kappe.	Dreifaltigkeit.	122	75 S. O.
Schindler.	Anna à l'E.	112	64 N. E.
Sieben Schleen.	Sieben Schleen.	112	50 S. O.
Wolfgang Maasen.	Friedrich August.	113	65 N. E.
	Wolfgang.	118	64 N. E.
	Auferstehung.	118	78 S. O.
	Maximilian.	119	70 N. E.
	Alexander.	113	78 N. E.
	Sidonie.	118	60 N. E.
	Moyenne.	114	

4° *Filons* H_{6-7}. — Les filons H_{6-7} apparaissent sous forme de veines très-peu développées, mais très-nombreuses, dans la partie du champ comprise entre les mines Wolfgang Maasen et Gesellschafter Zug ; elles se soudent généralement aux filons H_{7-8} qui ont un développement prononcé dans cette partie du champ.

DISTRICT.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Gesellschafter Zug.	Zwickauer.	100	70 N.
	Brigitte.	97	60 N.
	Jacob.	92	65 N.
	Röhling.	106	55 N.
	Kalb.	91	85 N.
Sauschwart.	Hermann.	97	55 N.
	Hoffnung Gottes.	92	»
	Friedrich.	92	60 N.
Rosenkranz.	Hildebrand.	88	60 N.
	Jung Mohr.	88	65 N.
Priester.	Priester.	105	67 N.
Daniel.	Hilfe Gottes.	95	70 N.
Schindler.	Trum d'Anna.	95	55 N.
Wolfgang Maasen.	Friede Fürst.	96	60 N.
Adam Heber.	Eva.	90	S.
	Moyenne.	95	

§ 2. *Des intersections de filons.* — Afin de ne pas compliquer inutilement la description des directions métallifères à Schneeberg, nous avons omis à dessein quelques veines véritablement sans importance ; si l'on considère leur petit nombre et leur faible longueur, elles n'apparaissent pas sur une carte d'ensemble, et l'étude dans la mine permet seule de les mettre en évidence ; ces veines trouvent naturellement leur place dans la description des croisements. L'étude des rejets de filons et l'observation de la manière d'être du remplissage aux points de croisement permettent de fixer, comme il suit, les époques relatives de la formation des différentes fentes et de l'arrivée des minerais à leur intérieur :

DISTRICT.	Profondeur en mètres.	FILON REJETANT. Nom.	Direction.	Remplissage.	FILON REJETÉ. Nom.	Direction.	Remplissage.
Filons H_9. — N. 135° E.							
1° Intersection avec les filons H_4.							
König David.	mètr. 88	Veine H_4.	degrés 67	stérile	Veine H_9.	degrés 137	stérile
2° Intersection avec les filons H_2.							
König David.	88	König David.	25	S_1	Tr. de Kaiser Heinrich.	137	S_1
Filons H_3. — N. 46° E.							
1° Intersection avec les filons H_{8-9}.							
Gesellschafter Zug.	206	Trum de Sauschwart.	132	S_2	Veine H_3.	50	S_2
Adam Heber.	348	Neu Jahr.	130	S_2	Fleischroth.	42	S_1
		Neu Glück Hilfe.	137	S_2	Idem.	42	S_1
2° Intersection avec les filons H_{10}.							
Adam Heber.	300	Veine H_{10}.	156	stérile	Fleischroth.	42	S_1
Filons H_4. — N. 66° E.							
1° Intersection avec les filons H_{10}.							
Adam Heber.	252	Sieben Hüfner.	162	S_2	Neue Aussicht.	63	S_1
König David.	88	Veine H_{10}.	157	stérile	Morgenstern.	67	S_1
2° Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Wolfgang Maasen.	250	Maximilian.	119	S_2	Trum de Roland.	63	S_1
Filons H_{11}. — N. 170° E.							
Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Adam Heber.	»	Hoffnung.	115	S_2	Sieben Hüfner.	167	S_3
Wolfgang Maasen.	»	Wolfgang.	118	S_2C	Veine H_{11}.	170	S_2
Filons H_{0-1}. — N. 3° E.							
Intersection avec les filons H_2.							
Saint-Georg.	88	Saint-Georg.	27	BA	Gabriel.	3	BA
Filons H_{6-7}. — N. 95° E.							
1° Intersection avec les filons H_2.							
Adam Heber.	252	Unbenannter.	37	S_1	Segen Gottes.	87	S_2
2° Intersection avec les filons H_{8-9}.							
Adam Heber.	252	Trum d'Adam Heber.	126	S_2	Eva.	90	S_2
		Veine H_9.	132	S_2	Johannes.	90	$S_1F_1S_2$
3° Intersection avec les filons H_{10}.							
Adam Heber.	252	Sieben Hüfner.	162	S_2	Segen Gottes.	87	S_2
4° Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Wolfgang Maasen.	180	Maximilian.	119	S_2A	Veine H_6.	87	S_2C
	392	Maximilian.	119	S_2A	Idem.	87	stérile
		Joseph.	122	S_2	Idem.	87	—
		Auferstehung.	118	S_2C	Idem.	87	—
	350	Wolfgang.	117	S_2C	Idem.	87	CA
	220	Friedrich August.	112	S_2C	Idem.	80	stéril

DISTRICT.	Profondeur en mètres.	FILON REJETANT. Nom.	Direction.	Remplissage.	FILON REJETÉ. Nom.	Direction.	Remplissage.
			degr.			degr.	
Filons H_2. — N. 26° E.							
1° Intersection avec les filons H_{8-9}.							
König David.	mètr. 88	Rother Kamm.	137	F_1	König David.	25	S_1
Weisser Hirsch. . . .	288	Trum de Walpurgis. .	134	F_1S_2	Veine H_2.	24	stérile
		Idem.	134	F_1S_2	Idem.	32	–
2° Intersection avec les filons H_{10}.							
Adam Heber.	300	Veine H_{10}.	156	S_2	Fleischroth.	32	S_1
3° Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Wolfgang Maasen. . .	250	Maximilian.	119	S_2A	Roland.	32	S_1
Filons H_{8-9}. — N. 136° E.							
1° Intersection avec les filons H_{10}.							
Gesellschafter Zug. .	206	Veine H_{10}.	160	C	Neue Hilfe.	126	S_1
Weisser Hirsch. . . .	288	Walpurgis et St-Georg.	162	sterile	Veine H_9.	142	S_1
2° Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Gesellschafter Zug. .	206	Sauschwart.	117	S_2	Neue Hilfe.	126	S_1
Adam Heber.	252	Veine H_9.	112	sterile	Veine H_9.	127	stérile
Filons H_{10}. — N. 153° E.							
Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Gesellschafter Zug. .	206	Sauschwart (*). . . .	117	S_2	Frischglück.	157	S_1
Réouverture H_{2-3}. — N. 35° E.							
1° Intersection avec les filons H_{6-7}.							
Wolfgang Maasen. . .	250	Roland.	30	S_1C	Veine H_{6-7}.	97	stérile
2° Intersection avec les filons H_9.							
Adam Heber.	300	Fleischroth.	40	S_1	Neu Glück.	132	C
		Idem.	43	S_1	Unbenannter.	142	S_1
	450	Idem.	32	S_1	Adam Heber.	132	S_1
Wolfgang Maasen. . .	350	Roland.	29	S_1C	Veine H_9.	139	C
3° Intersection avec les filons H_{10}.							
Gesellschafter Zug. .	250	Frischglück.	42	S_1	Veine H_{10}.	152	C
4° Intersection avec les filons H_{7-8}.							
Gesellschafter Zug. .	206	Morgenstern.	47	S_1	Sauschwart.	117	S_2
	180	Roland.	32	S_1C	Friedrich August. . .	119	S_2C
	200	Idem.	32	S_1C	Sidonie.	115	S_2
Wolfgang Maasen. . .	250	Faille.	30	sterile	Alexander.	113	S_2
	320	Idem.	34	–	Friedrich August. . .	119	S_2
	350	Roland.	32	S_1	Wolfgang.	117	S_2
	370	Faille.	34	sterile	Friedrich August . .	119	S_2

(*) Voir Pl. XI, *fig.* 7.

Les exemples d'intersections de filons que nous venon de citer, fixent d'une façon précise l'âge relatif des filons jeunes et des venues qui les ont pénétrés; postérieurs au remplissage quartzo-sulfuré S_1, les filons jeunes se rangent nettement dans l'ordre d'âge suivant : filons H_{8-9}, H_{10}, H_{7-8}, et réouverture H_{2-3}; les éléments nécessaires pour classer d'une façon analogue les veines anciennes, celles qui contiennent le remplissage S_1, manquent à peu près complétement ; il faudra y suppléer par des considérations d'analogie, fondées sur la similitude de direction et de remplissage qu'offrent ces veines avec les filons des champs de cassures voisins. Nous ferons observer dès à présent que les fractures anciennes se réduisent presque toutes à celles des systèmes H_2 ou H_3 et l'âge de ces deux systèmes sera déterminé plus tard avec un degré très-grand de certitude. En dehors des fentes H_2 ou H_3, les filons anciens ne comprennent qu'un faisceau véritablement important, celui des veines H_{6-7}, qui a dû éprouver une réouverture très-forte à l'époque de l'arrivée de la venue cobaltifère S_2, puisqu'il la renferme en abondance. Les considérations de croisement des fentes et des remplissages fixent donc comme il suit l'ordre d'âge des veines métallifères :

FILONS.	REMPLISSAGES.	
Fentes anciennes H_9.	Antérieures à Q.	
Filons H_3	Âge relatif indéterminé.	Antérieurs à S_1.
— H_4		
— H_{11}		
— $H_{6\,7}$		
— $H_{0\,1}$		
— H_2	Antérieurs à S_1.	
Filons $H_{8\,9}$.	Antérieurs à F_1. . .	Postérieurs à S_1. . .
— H_{10}.	Idem.	Idem. . . . .
— $H_{7\,8}$, $H_{6\,7}$ réouverts	Antérieurs à S_2. . .	Postérieurs à F_1. . .
Réouverture $H_{2\,3}$.	Antérieure à A. . . .	Contemporaine de C.

§ 3. *Comparaison avec les systèmes de montagnes.* — Les analogies d'âge et de direction permettent de mettre, en

regard des filons suivants, les systèmes de montagnes qui leur ont vraisemblablement donné naissance :

Fentes anciennes H_0.	Retentissement du Morbihan.	
Filons H_3.	Retentissements du Westmoreland.	
— H_2.	Système du Rhin.	
— H_{8-9}. . . .		Thuringerwald.
— H_{10}.		Mont Viso.
— H_{7-8}. H_{6-7} réouverts		Pyrénées.

Les fentes anciennes à 135° avec remplissage de vieux quartz et mica, coupées et rejetées par tous les filons, sont à assimiler aux filons de granites anciens (système du Morbihan).

Les veines H_3 sont certainement à rapporter au Westmoreland, leur allure ne peut laisser aucun doute à cet égard; ces veines ont en effet un plongement très-irrégulier, tantôt confondu avec celui des schistes qu'il suit sur des longueurs notables, tantôt le coupant sous un petit angle; elles se présentent en un mot avec les caractères de cassures anciennes contemporaines du plissement des schistes, c'est-à-dire du système du Westmoreland.

Les veines H_2 à remplissage quartzeux, avec venue sulfurée généralement rudimentaire et développée dans les seuls filons cuivreux de la mine König David, ont une analogie complète avec les veines de même direction et de même remplissage que l'on rencontre dans toutes les mines de la Saxe et de la Bohême (Freiberg, Przibram, etc.); nous sommes dès lors fondés à les rapporter au système du Rhin.

La détermination des systèmes de montagnes, répondant aux filons jeunes, est plus facile, puisque leur âge relatif est déjà connu. Les veines H_{8-9} très-régulières, à remplissage ferrugineux F_1, croisant toutes les veines H_2 et postérieures au remplissage S_1, ont une analogie manifeste de remplissage avec les grands croiseurs barytiques de Freiberg (système du Thuringerwald). Nous assimilerons les filons H_{10} aux retentissements du Mont-Viso, enfin la formation des filons H_{7-8}, les plus jeunes du champ, et la réouverture contemporaine du faisceau H_{6-7} nous paraissent à rapporter au système des Pyrénées. Nous allons aborder maintenant la classification des veines H_{6-7}, H_4, H_{0-1} et de a réouverture H_{2-3}.

1° *Filons* H_{6-7}. — *a*) Le faisceau principal des veines H_{6-7} dirigées en moyenne à 95°, a subi une réouverture puissante contemporaine de la formation des cassures H_{7-8} (système des Pyrénées) au moment de l'arrivée des minerais de cobalt S_2; l'ancienneté de ces fentes est masquée presque totalement par cette réouverture; il semble néanmoins que l'on doive considérer le faisceau H_{6-7} comme se rapportant à des cassures anciennes, en raison de la faible longueur et de l'irrégularité de ses veines : la présence des remplissages Q et S_1 que l'on observe nettement, bien qu'en faible proportion, dans quelques-uns de ces filons (Hoffnung Gottes, Segen Gottes), ne peut laisser aucun doute à cet égard. Les veines H_{6-7} sont complétement mêlées au faisceau pyrénéen qui s'est superposé à elles; nous les rapportons, en raison de leur orientation à 95° et de leur ancienneté, au système du Land's-End.

b) Nous avons observé dans les mines des fentes assez fréquentes H_{5-6} N. 87° E., tantôt stériles, tantôt à remplissage quartzeux S_1, rejetées par tous les filons jeunes et même par les veines H_2; nous les rapporterons au même système que les précédents, peut-être réouvert par les Pays-Bas.

2° *Filons* H_4. — Les filons H_4 à remplissage S_1 ne sont plus exploités; nous ne connaissons qu'un seul représentant de ce système, le filon Johannes de la mine Adam Heber : il se présente nettement comme un filon double, formé de deux veines distinctes, soudées l'une à l'autre (Pl. XI, *fig.* 5); la première *a* se compose de quartz ferru-

gineux F_1 englobant des morceaux de quartz ancien de la venue S_1, la seconde *b* est formée de quartz cristallin jeune avec bismuth natif de la venue S_2. La présence du remplissage S_1 montre bien l'ancienneté des fentes H_4 ; nous les rapportons au Primitif de Lisbonne.

3° *Filons* H_{0-1}. — Nous avons vu que les veines de ce système renfermaient généralement le remplissage barytique B ; elles sont néanmoins anciennes, comme le prouve le rejet déjà cité du filon Gabriel à 3° par le Saint-Georg mgg H_2. Les fractures H_{0-1} sont donc antérieures au système du Rhin, nous les rapportons à celui du nord de l'Angleterre.

4° *Réouverture* H_{2-3}. — La réouverture récente des veines H_2 et H_3, déjà signalée comme accidentelle dans quelques champs de filons, est tout à fait normale à Schneeberg ; on peut dire qu'à l'exception des filons cuivreux de la mine König David, toutes les veines H_2 et H_3 du champ présentent des signes évidents de cette réouverture ; le filon Roland mgg., notamment, rejette fréquemment de plus de 2 mètres les filons de cobalt ; au point de vue de l'âge du remplissage, cette réouverture offre un très-grand intérêt parce qu'elle permet de resserrer, entre des limites très-étroites, l'époque de l'arrivée des minerais les plus importants, ceux de cobalt et de nickel.

Nous avons déjà cité des exemples de cette réouverture rejetant tous les autres filons ; nous indiquerons ici les circonstances spéciales qu'offrent ces rejets :

Le filon Morgenstern mgg. à 47° (mine Gesellschafter-zug à 206 mètres de profondeur) croise le filon Sauschwart sp. à 117° ; la veine Morgenstern a un remplissage de quartz blanc opaque S_1, le filon Sauschwart renferme le quartz cristallin caractéristique de la venue cobaltifère S_2 avec dolomie ; ce remplissage traverse le quartz S_1 de Morgenstern, mais il est en même temps coupé par une série de

fentes argileuses stériles accompagnant la fente H_3 (Pl. XI, *fig.* 1) (*).

Le filon Fleischroth mgg. à 40° (mine Adam Heber à 200 mètres) avec quartz S_1, coupé comme fente et comme remplissage par le filon Neu Glück à 132° avec venue S_2, a éprouvé au mur une réouverture stérile rejetant le croiseur (Pl. XI, *fig.* 2).

Le filon Roland mgg. à 29° (mine Wolfgang Maasen) coupe et rejette des veines de dolomite à 137°, la dolomite a injecté par places la fente de Roland antérieurement à la réouverture (Pl. XI, *fig.* 3).

Le même filon Roland a rejeté de 3 mètres le Friedrich August, en coupant son remplissage de quartz cristallin, speiss cobalt, bismuth natif et dolomite rose en veinules (Pl. XI, *fig.* 4).

La réouverture des veines H_2 et H_3 est très-jeune, puisqu'elle est postérieure aux filons H_{7-8} (système des Pyrénées) et à leur remplissage, on ne peut l'attribuer qu'au soulèvement des Alpes occidentales avec lequel elle coïncide en direction. L'âge de la grande venue du cobalt, nickel et bismuth se trouve donc compris entre des limites étroites, puisque ces minerais sont postérieurs aux retentissements des Pyrénées et antérieurs au soulèvement des Alpes occidentales.

Telles sont les considérations diverses qui permettent de fixer avec quelque probabilité l'âge absolu des filons métallifères à Schneeberg ; nous résumerons comme il suit ce qui précède :

(*) Müller a signalé maints exemples de ces réouvertures complexes.

SYSTÈMES de montagnes.	Direction.	RETENTISSEMENTS à Schneeberg.	Systèmes de filons.	Direction.	Réouvertures.	Remplissages.
	degr.			degr.		
Morbihan	140	Granite ancien	H_9	137	»	Q
Westmoreland	63	Schistes, grünsteins	H_3	46	»	Q
Land's End	96	Filons de porphyre	H_{6-7}	95	»	QS_1
Lisbonne	60	Filons de porphyre	H_4	66	»	S_1
Forez	172		H_{11}	168	»	S_1
Nord de l'Angleterre	7		H_{0-1}	5	»	S_1F_3
Pays-Bas	92		H_{5-6}	87	»	S_1
Rhin	24		H_2	26	H'_3	S_1
Thuringerwald	132		H_{8-9}	126	»	F_3
Mont Viso	162		H_{10}	153	H'_{11}	F_3
Pyrénées	114		H_{7-8}	114	H'_{6-7}, H'_{5-6}	S_3
Alpes occidentales	33		H_{2-3}	34	H'_2, H''_3	C
Alpes principales	79		»	»	»	A

Les filons de Schneeberg et de Freiberg offrent, comme on le voit, la plus grande analogie entre eux, avec cette différence que les filons anciens ont une importance très-grande à Freiberg, tandis qu'à Schneeberg ce sont les filons récents qui dominent; si l'on considère que les seuls filons anciens ayant de l'importance, les veines H_2 et H_3 se rapportent avec une certitude très-grande aux systèmes du Westmoreland et du Rhin, et que l'assimilation des grands filons H_{8-9}, H_{10} et H_{7-8} aux systèmes du Thuringerwald, du Mont-Viso et des Pyrénées est en quelque sorte forcée, que la réouverture des veines H_{2-3}, rapportée aux Alpes occidentales, vient enfin confirmer cette classification, on admettra que la comparaison entre les systèmes de montagnes de l'Europe et les directions des filons à Schneeberg est très-satisfaisante. On voit dès à présent, et en se bornant même aux considérations de directions, que le champ de Schneeberg a une physionomie spéciale qui le désigne comme un intermédiaire entre Freiberg et Joachimsthal dans l'étude des filons de la Saxe; nous insisterons sur ces analogies en parlant des remplissages.

CHAPITRE III. — DES REMPLISSAGES.

§ 1. *Remplissages au point de vue géologique.* —Les remplissages successifs se sont succédé à Schneeberg à des intervalles plus ou moins éloignés et ont constitué les venues suivantes :

Venue accidentelle Q (*).

Elle est caractérisée par un quartz gras d'un blanc grisâtre, accompagné de mica blanc en lames hexagonales et quelquefois de mispickel et de wolfram; on la rencontre dans quelques fentes anciennes H_{11}, H_9, H_3, H_{6-7}. C'est probablement un représentant de la venue stannifère.

V_1. Venue sulfurée S_1.

Elle est très-répandue dans tous les filons anciens, spécialement dans les H_3, H_2 et constituée par l'association suivante :

1° Quartz amorphe à éclat gras ou laiteux, formant la base du remplissage.

2° Mélange de sulfures en veinules dans le quartz : pyrite, mispickel, blende noire, galène pauvre, pyrite, minerais de cuivre.

V_3. Venue ferrugineuse F_1.

On la rencontre spécialement dans les filons H_{8-9} et H_{10}; elle comprend :

1° Quartz ferrugineux amorphe d'un rouge brun ou rouge sang (rother Horn), très-fréquent à Schneeberg.

2° Quartz cristallin blanc ou gris, améthyste, calcédoine.

3° Hématite rouge ou brune compacte. Fer oligiste cristallisé.

(*) Nous désignons ces venues par les mêmes notations que les remplissages analogues de Freiberg.

4° Minerais de manganèse.

Il n'y a pas d'ordre d'âge bien défini pour les minéraux de la venue F_1; quand les filons de cette espèce offrent une structure rubannée, ce qui est fort rare, on trouve indifféremment aux salbandes, ou le hornstein, ou l'améthyste, ou l'hématite; les minerais de manganèse sont plus jeunes.

V_4. Venue barytique B.

Elle est peu développée; on la rencontre dans quelques filons H_{0-1} et H_2, plus rarement dans les veines H_{8-9} ou H_{10}; elle est formée :

1° D'une barytine rougeâtre à grandes parties, constituant souvent à elle seule tout le remplissage.

2° De fluorine et de dolomite. Ces deux minéraux sont beaucoup plus rares.

V_5. Venue arsénio-sulfurée S_2.

C'est la venue la plus importante et la plus répandue, spécialement dans les veines H_{8-9}, H_{10} et H_{7-8}; elle présente l'association suivante :

1° Quartz cristallin translucide, à cassure saccharoïde (Zucker-quartz des Allemands) ; il est caractéristique de la venue S_2 et se distingue immédiatement de toutes les autres espèces de quartz de Schneeberg.

2° Arsénio-sulfures de cobalt et de nickel, en veinules ou en grains mêlés au quartz cristallin.

3° Bismuth natif en feuilles, en baguettes, parfois accompagné d'un quartz bleuâtre ou noirâtre légèrement postérieur aux minerais de cobalt.

4° Galène apparaissant parfois seule dans les régions stériles des filons de cobalt. Blende jaunâtre.

5° Minéraux antimonifères.

V_7. Venue de dolomite et de calcite C.

La dolomite et la calcite sont fréquentes dans les filons de cobalt; elles forment une venue distincte coupant le remplissage S_2 et constituant la gangue la plus jeune des

filons. Cette venue n'a pas été complétement stérile, elle est accompagnée d'un remplissage développé à Joachimsthal, mais qui n'apparaît ici qu'à l'état rudimentaire :

1° Galène riche à structure grenue, blende jaunâtre compacte ou cristallisée en dodécaèdres rouge-hyacinthe transparents imitant le grenat.

2° Pechblende et arsenic natif.

V_8. Venue argentifère A.

Elle comprend les espèces minérales de l'argent, accompagnées de réalgar, en colonnes minces aux points de croisement des filons; ces espèces forment généralement des druses au milieu de tous les autres remplissages; leur venue doit être attribuée à la dernière réouverture des filons.

§ 2. *Relations d'âge entre les diverses venues.*

Quartz ancien Q. — Le filon Segen Gottes H_{6-7} (mine Adam Heber, 250 mètres de profondeur) renferme une veine de quartz ancien opaque, au milieu duquel s'est développé un mica blanc, du mispickel et du wolfram ; le même filon renferme aussi par places le quartz ferrugineux et le quartz cristallin des venues F_1 et S_2, ces derniers coupent nettement la première veine.

Le filon H_{10} formé de la réunion du Saint-Georg fl. et du Walpurgis, à remplissage de quartz cristallin et minerais de cobalt S_2, est accompagné d'une veine quartzeuse ancienne avec mica chloriteux et molybdénite en lames hexagonales, fréquemment rejetée par la veine cobaltifère (*).

Le filon Fürsten Vertrag fl., formé de la réunion de deux veines, l'une barytique B, l'autre cobaltifère S_2, est accompagné d'une troisième veine de quartz Q avec mica chloriteux, coupée par les deux premières (**).

L'ancienneté de certains filons H_9 ou H_{11} nous est attestée

(*) Müller.
(**) *Idem*.

par les exemples qui précèdent ; ils apparaissent au premier abord comme des fractures très-jeunes eu égard à leur analogie complète de direction et de remplissage avec les filons jeunes qui les accompagnent ; la présence du remplissage Q disloqué nous montre que ces filons ont été simplement réouverts à l'époque des venues F_1, B et S_1, mais que leurs fentes existaient bien avant l'arrivée de ces remplissages ; nous rapportons les filons anciens H_{11} au système de la Vendée dont nous trouverons des traces dans toute la Saxe. Le remplissage Q avec ses minéraux accidentels, wolfram, molybdène sulfuré, tourmaline et mica se rapproche de celui des filons d'étain du voisinage (Eibenstock, Ehrenfriedersdorf). On a vu que la venue de hyalomicte à gros éléments, qui les constitue, remplit des fentes du Land's-End.

V_1. *Venue sulfurée* S_1. — La venue sulfurée S_1 ne se présente pas à Schneeberg avec des caractères identiques dans toutes les mines ; aussi M. Müller l'a-t-il divisée en trois venues distinctes ; cette classification ne repose pas sur des différences réelles dans le remplissage ; elle est plutôt fondée sur des variations dans la proportion relative des différents minerais, savoir :

1° *La taube-quartz-Formation.* — Dans laquelle le quartz domine, constituant fréquemment à lui seul tout le remplissage ; la venue sulfurée n'y apparaît qu'à l'état embryonnaire.

2° *La kiesige-blei Formation.* — Identique à celle de Freiberg ; association de quartz, mispickel, blende, pyrite, galène pauvre (3 à 6 p. 10.000 d'argent), et rarement pyrite cuivreuse ; la galène forme avec le quartz les espèces dominantes.

3° *La kupfer-Formation.* — Association de quartz, blende noire, pyrite cuivreuse, cuivre panaché, cuivre sulfuré, fahlerz et galène en faible proportion.

On voit que ces trois venues n'offrent de différences réel-

lement importantes qu'au point de vue de l'exploitation ; en réalité au point de vue géologique, elles ne constituent qu'une seule formation, puisque chacune d'elles renferme les minéraux de toutes les autres et avec des caractères identiques.

1° La taube-quartz-Formation est la plus développée, on la rencontre dans les filons H_3, H_4 et H_2 des mines de cobalt ; les minerais de cobalt et d'argent ont pénétré dans ces filons en leurs points de croisement avec les filons jeunes ; enfin la réouverture H_{2-3} qu'ils ont éprouvée, a rejeté fortement ces derniers ; l'ancienneté du remplissage S_1 est néanmoins incontestable, chaque croisement en fournit un exemple net :

a) Mine Adam Heber. A 200 mètres de profondeur, le filon Fleischroth mgg. à 42° avec un remplissage quartzeux S_1 est légèrement rejeté par le filon Neu Glück Hilfe à 137°, contenant du quartz cristallin avec mouches de speiss cobalt.

b) Mine Saint-Georg. Le filon Saint-Georg mgg. a pour remplissage le quartz ancien S_1, il renferme aussi deux autres venues plus jeunes : une veinule de quartz améthyste F_1 et une veine de barytine rougeâtre B, traversant les deux premières (Pl. XI, *fig.* 8).

2° La kiesige-blei-Formation apparaît avec une certaine abondance dans quelques filons (Fröschgeschrei H_{11}, Babi H_4, Jung Römer H_{0-1}) ; elle remplit aussi quelques veinules accompagnant certains filons de cobalt H_{6-7} et H_{10} : Saint-Georg fl., Hoffnugn Gottes fl., Sauschwart, Daniel, Wolfgang, gross Winter, alt Türker ; elle a rarement donné lieu à des exploitations suivies.

La présence de la kiesige-Formation dans certains filons de cobalt H_{6-7} et H_{10}, a une grande importance ; elle montre nettement que ces filons ont été réellement formés aux dépens de fentes anciennes, grâce à une réouverture jeune ; la venue cobaltifère S_2 de ces filons traverse toujours net-

tement le quartz et la galène de l'ancienne venue S_1 (mine Wolfgang Maasen, filon Wolfgang sp.).

3° La kupfer-Formation s'est concentrée dans quelques filons H_2, au sein de l'îlot granitique d'Ober-Schlema ; les minerais de cuivre sont assez abondants pour avoir donné lieu à une exploitation active dans les mines König David, Saint-Michaël et Saint-Christoph.

Le filon König David est le plus important des filons de cuivre de Schneeberg ; sa puissance atteint parfois 4 mètres. Au nord, à la séparation du granite et des schistes, il est fortement coupé et rejeté, fente et remplissage, par le Rother Kamm à 137° avec remplissage très-puissant de quartz ferrugineux F_1 (Pl. XI, *fig.* 9). Au sud du granite, il pénètre également dans les schistes au milieu desquels il se divise en plusieurs veines et perd assez rapidement sa puissance et sa richesse.

Le filon Saint-Michaël au nord du précédent a un remplissage analogue; la galène s'y est développée par places avec une certaine abondance ; ce filon a éprouvé une réouverture à l'époque de la venue barytique B, on y observe en effet une barytine rouge traversant la venue sulfurée. Dans la mine Weisser Hirsch, on a observé dans quelques fentes H_6 un remplissage de blende noire, galène à grandes facettes et minerais de cuivre.

V_3. *Venue ferrugineuse* F_1. — La venue ferrugineuse F_1 est nettement représentée à Schneeberg par un quartz ferrugineux compacte, à cassure conchoïde, d'une couleur variant du rouge sang au brun foncé; ce hornstein constitue très-fréquemment le remplissage le plus ancien des filons de cobalt H_{6-7}, H_{8-9} et H_{10}; il est presque toujours le seul représentant de la venue F_1 dans ces filons, et caractérise par son abondance certaines veines (Sidonie, Walpurgis). Son ancienneté relative est incontestable, il a été brisé par la réouverture qui a amené le remplissage arsénio-sulfuré S_2; assez souvent associé aux minerais de cobalt, le rother

Horn pourrait être pris pour un des éléments de cette venue; malgré cette apparence, les arséniosulfures imprègnent simplement les fendillettes du hornstein, et ont cimenté parfois des débris de ce quartz; voici quelques exemples de cette ancienneté relative du rother Horn :

1° Les filons Saint-Georg fl. et Walpulgis, appartenant tous deux au même système, se suivent à une faible distance sur une grande longueur ; Walpurgis est caractérisé par un hornstein rouge, Saint-Georg fl. renferme le quartz cristallin de la venue S_2 ; il traverse plusieurs fois en direction et en plongement Walpurgis; on trouve dans le quartz de Saint-Georg des débris du hornstein de Walpurgis, et le filon Saint-Georg fl. dans sa partie nord renferme en abondance le rother Horn concassé et cimenté par des minerais de cobalt et de nickel.

2° Dans la mine Gesellschafter Zug, à 206 mètres de profondeur, une veine H_{8-9} a pour remplissage :

a) Quartz cristallin avec pyrite et speiss cobalt.

b) Morceaux aigus de hornstein pris dans le remplissage précédent (Pl. XI, *fig.* 6).

3° Le filon Johannes (mine Adam Heber, à 250 mètres de profondeur) est formé de deux veines accolées, l'une avec hornstein englobant des morceaux aigus de quartz ancien, l'autre plus jeune avec quartz cristallin et bismuth natif.

Le hornstein présente des variétés assez nombreuses, et tout porte à croire que son dépôt s'est prolongé fort longtemps; il passe fréquemment au quartz améthyste ou à la calcédoine ; dans le Rother Kamm, il se présente souvent à l'état de quartz grenu d'un blanc grisâtre, peu ferrugineux. Son âge est assez aisé à déterminer, il est postérieur à la venue sulfurée S_1, puisque le Rother Kamm coupe le remplissage cuivreux du filon König David, et aux fractures H_{8-9} et H_{10}; il est antérieur à la réouverture violente des filons H_{7-8} qui l'a brisé. Le rother Horn a probablement commencé son

apparition peu après la formation des fractures H_{8-9} (Thuringerwald), et son dépôt s'est prolongé postérieurement à la formation des fractures H_{10} (Mont Viso).

L'hématite rouge n'apparaît que rarement dans les filons de Schneeberg ; elle forme au contraire des veines puissantes dans le massif granitique d'Eibenstock, et l'identité complète de cette formation avec la venue F_1 de Schneeberg nous conduit naturellement à la mentionner ici (*). Le granite d'Eibenstock est sillonné de filons dirigés presque tous H_{10}, et rarement H_9, remarquables tout à la fois par leur développement considérable et par leur grande puissance : on a reconnu quelques-uns de ces filons sur une étendue de 12 kilomètres ; leur puissance, rarement inférieure à $0^m,50$, oscille entre 1 et 6 mètres ; elle atteint même parfois 12 et 14 mètres.

Le remplissage de ces filons consiste le plus souvent en hornstein, fer silicaté, quartz améthyste, hématite rouge ou brune, fer oligiste, argiles formées aux dépens de la roche encaissante. Le hornstein a les caractères déjà cités, il est accompagné d'améthyste ou de calcédoine ; l'hématite rouge est en masses fibreuses compactes, atteignant parfois un grand développement au sein des argiles. L'association des minerais précédents est de beaucoup la plus fréquente, mais on rencontre encore exceptionnellement dans ces filons les autres venues plus jeunes : barytine, fluorine, dolomite, minerais de cobalt et calcite, micas d'urane. Un quartz translucide à structure cristalline, identique à celle du quartz de la venue S_2, forme souvent des druses au sein de ces filons ; il a pseudomorphisé de nombreuses substances ; on le trouve en lames minces enchevêtrées (pseudomorphoses de barytine) ; en rhomboèdres (pseudomorphoses de calcite) ; en prismes droits à base rhombe représentant d'anciens cristaux d'anhydrite ; cette pseudomorphose est d'autant plus

(*) V. Oppe. *Gangstudien.*

intéressante que l'anhydrite a elle-même complétement disparu de ces filons. L'hématite, elle aussi, a pseudomorphisé quelques minéraux : la dolomite, la calcite, l'anhydrite, la barytine. Certains filons d'hématite sont nettement coupés par des veinules H_{10} de barytine et fluorine (Rother Adler, à Rittersgrün).

Les filons de cobalt sont nettement postérieurs à la venue F_1 : près Unterblauenthal, dans la mine Gott Segne, une veine de Hennig Fl. avec quartz cristallin, minerais de cobalt et bismuth pénètre un filon de quartz et hématite rouge et le traverse (*).

V_4. *Venue barytique* B. — Il est assez difficile d'établir un parallélisme exact entre la venue V_4 et les venues barytiques de Freiberg ; les filons barytiques de la mine St Georg, activement exploités autrefois en raison de leur énorme richesse en argent, sont aujourd'hui épuisés et l'on ne possède que des données incomplètes sur cette venue. Il semble néanmoins que les barytines B_1 et B_2 de Freiberg aient leurs représentants ici, mais que la barytine B_2 soit de beaucoup la plus développée : on a signalé en effet dans quelques filons une barytine antérieure à la venue ferrugineuse F_1, et se rapprochant dès lors de la première venue B_1 de Freiberg, mais ce fait est véritablement exceptionnel et la barytine est généralement postérieure au quartz améthyste et au hornstein de la venue F_1 ; elle est donc l'équivalent de la barytine B_2 de Freiberg et d'Annaberg.

La mine St. Georg sous Schneeberg a renfermé les filons barytiques les plus importants ; ils forment un faisceau de plus de trente veines H_{8-9} et H_{0-1}, ayant une puissance de quelques centimètres avec deux remplissages, l'un de quartz violacé ou de hornstein brun F_1, l'autre de barytine rougeâtre coupant nettement le premier. Toutes ces veines sont au voisinage du St. Georg mgg. et au mur de ce filon ; l'en-

(*) Müller.

semble a donné lieu à des points de croisement et à des anastomoses très-nombreuses, et cette partie de la mine a présenté en grande abondance la venue argentifère A; les archives de Schneeberg mentionnent la découverte faite en ce point, en 1474, d'une masse d'argent natif et d'argent sulfuré pesant 20 tonnes, dont la collection minéralogique de Drèsde possède encore un échantillon; la richesse de ces filons a rapidement disparu à une faible distance du St Georg mgg.

Le filon Fürsten Vertrag renferme parfois jusqu'à quatre remplissages en veines distinctes :

a) Quartz ancien S_1.

b) Quartz violacé et hornstein.

c) Barytine en veinule de $0^m,20$, traversant *b*.

d) Minerais de cobalt en veine distincte, coupant les deux venues précédentes.

e) Minerais d'argent plus jeunes.

V_5. *Venue sulfurée* S_2.—La physionomie générale du remplissage cobaltifère demeure sensiblement invariable lorsqu'on passe d'une mine à une autre, et conserve dans tout l'ensemble du champ une constance remarquable, qui contraste à première vue avec les variations d'aspect et de richesse du remplissage sulfuré S_1. Les éléments essentiels du remplissage de ces filons sont :

1° Le quartz saccharoïde, tantôt en cristaux agrégés, tantôt en masses incolores et translucides, en boules à structure réticulée imitant avec la plus grande ressemblance l'aspect de la glace; il forme toujours la base du remplissage ; on rencontre fréquemment des pseudomorphoses de ce quartz imitant la barytine et quelquefois la fluorine.

Le quartz saccharoïde a éprouvé des remaniements très-jeunes qui l'ont déposé dans les druses des filons cobaltifères et ferreux, et ont pseudomorphisé fréquemment la dolomite et la calcite (quartz en prismes, en scalénoèdres, en rhomboèdres).

2° Les minerais de cobalt et de nickel sont disséminés au sein de ce quartz ou du hornstein ; la cobaltine et la smaltine sont les plus fréquents; ils ont pour compagnons les minerais du nickel, chloantite et nickéline. Puis vient le bismuth natif en feuilles, en veinules traversant le quartz et le speiss cobalt.

L'ensemble de ces minéraux forme avec le quartz et le hornstein une association constante, caractéristique de la venue S_2; la calcite et la dolomite (venue V_7) traversent le tout.

Le remplissage arséniosulfuré S_2 comprend encore quelques espèces minérales plus rares et qui n'apparaissent qu'accidentellement dans les filons, telles sont : le cuivre pyriteux, le fahlerz, la bournonite et la galène. L'association du quartz saccharoïde avec la galène, présente souvent à Schneeberg une apparence tout à fait analogue à celle du remplissage galénifère de Churprinz.

Nous citerons quelques coupes des filons de cobalt indiquant l'association de ces différentes espèces minérales :

Mine Wolfgang Maasen. — Le filon Maximilian sp. (étage Fürsten stollen), au milieu de schistes noirs charbonneux, contient :

a) Quartz cristallin avec mouches de speiss cobalt et de galène (1,8 à 2,2 p. 1.000 d'argent).

b) Dans les druses, minerais d'argent imprégnant aussi la masse du filon ; calcite en rhomboèdres.

— Le filon Neue Hoffnung sp. a pour remplissage :

a) Quartz cristallin, veinules de speiss cobalt, bismuth natif.

b) Dolomite plus jeune.

c) Minerais d'argent.

Mine Daniel. — Le filon Daniel sp. renferme, outre le quartz cristallin habituel, une veine plus jeune de quartz noir avec bismuth natif.

V_7. *Venue de dolomite et calcite* C. — La dolomite et la

calcite se montrent dans presque tous les filons de cobalt; elles ont aussi pénétré çà et là dans les veines réouvertes H_2 et H_3. Nous avons déjà eu l'occasion de citer de nombreux exemples démontrant l'ancienneté de la venue S_1 par rapport à la venue dolomitique.

Le filon Neue Hilfe (mine Adam Heber) nous en offre une nouvelle preuve; son remplissage de quartz cristallin, bismuth natif et speiss cobalt, est coupé par une fente à 160° contenant de la dolomite et de la calcite.

Nous rapportons à la même époque la venue de pechblende que l'on a rencontrée en veinules associée à l'arsenic natif, au cuivre pyriteux, à la galène, à la blende et à la dolomite, dans les filons Rappold, Neue Hilfe, Walpurgis et Daniel.

La calcite est postérieure à la dolomite; elle offre plusieurs types cristallins distincts, d'âges différents, mais sans importance au point de vue géologique, car ce sont des produits de remaniement.

V_8. *Venue argentifère* A. — Les minerais d'argent forment des druses, de fines imprégnations dans les remplissages précédents; ils apparaissent en colonnes aux points de croisement des filons, et sont assez fréquemment associés à la calcite. Parmi les filons qui ont donné les croisements les plus riches en minerais d'argent, il faut citer en premier lieu les filons barytiques : le filon Fürsten Vertrag formé de quatre veines distinctes (S_1, F_1, B, S_2) dans une zone où dominait la barytine, a fourni en 1774 une masse d'argent natif et d'argentite pesant plus de 50 kilogram ; nous avons déjà mentionné la richesse énorme en argent des filons barytiques de la mine St Georg. Les filons de cobalt renferment aussi fréquemment la venue argentifère en leurs points de croisement (intersection des veines Joseph, Maximilian et Auferstehung, etc.).

Les veines à remplissage exclusivement argentifère sont très-rares; la réouverture, à la suite de laquelle est apparue

la venue A paraît avoir simplement intéressé les lignes de moindre résistance du champ, c'est-à-dire les points de croisement des anciennes fractures, sans déterminer de nouvelles cassures distinctes.

Cependant H. Müller cite, dans la mine Weisser Hirsch, un croiseur argileux dirigé à 30° et renfermant des minerais d'argent, qui coupe et rejette St Georg fl. et Walpurgis. Ce croiseur coïncide complétement, pour la direction et l'âge, avec les failles contemporaines de la réouverture H_{2-3} (Alpes-Occidentales); nous sommes donc autorisés à considérer les minerais d'argent comme postérieurs à cette réouverture; la présence de la venue A aux points de croisement des filons de cobalt avec les H_3, H_2, réouverts confirme encore cette manière de voir. Nous citerons enfin, d'après H. Müller, l'existence dans la mine Wolfgang Maasen de quelques croiseurs E.-O. avec argiles et minerais d'argent en veinules, coupant les filons de cobalt; l'enrichissement marqué de ces derniers en minéraux de la venue A aux points de croisements est une preuve de plus de l'ancienneté de la réouverture H_{2-3} par rapport à la venue argentifère.

2. *Remplissages au point de vue minéralogique.* — Nous indiquerons successivement ici les espèces minérales constituant les diverses venues dont la description précède :

V_1 — Cuivre pyriteux, cuivre panaché, mispickel, pyrite, blende noire, galène, fahlerz. —
— Quartz à éclat gras, quartz laiteux. —

Cette venue est beaucoup plus simple qu'à Freiberg; elle ne renferme ni les espèces carbonatées, ni celles de l'argent.

V_3 — Hématite rouge, brune, psilomélane, polianite, pyrolusite, haussmanite. —
— Anhydrite, barytine. —
— Quartz hornsteinique, améthiste, calcédoine. —

V_4 — Barytine, fluorine. —
— Sidérose, dolomite. —

La barytine est de beaucoup l'espèce la plus fréquente.

V_5 — Smaltine, cobaltine, cloanthite, nickéline, bismuth natif, arsenic natif, réalgar, millérite, galène, blende jaune, pyrite cuivreuse, argentopyrite, bournonite, hétéromorphite. —
— Fluorine. —
— Quartz saccharoïde, quartz noirâtre. —

Nous plaçons après cette venue, et en la rapprochant de la venue V_6 de Freiberg, un remplissage de barytine et fluorine concrétionnées avec galène, observé à Bockau.

V_7 — Galène, blende, arsenic, pechblende. —
— Dolomite, calcite. —

La calcite se présente dans les druses en scalénoèdres opaques d'un blanc mat, en prismes hexagonaux avec pointement rhomboédrique, en rhomboèdres à faces courbes, empilés de façon à offrir des angles rentrants.

V_8 — La venue arséniosulfurée riche comprend presque toutes les espèces minérales de l'argent.

CHAPITRE IV. — AGE DES REMPLISSAGES. POINTS RICHES.

§ 1. *Age des remplissages.* — Nous avons indiqué, en traitant du remplissage au point de vue géologique, les nombreux exemples de relation entre les fractures des filons, leurs réouvertures et leurs remplissages; l'âge relatif de ceux-ci se trouve implicitement renfermé dans ces résultats; nous les résumons comme il suit :

SYSTÈMES de montagnes.	Direction des filons.	SYSTÈMES DE FILONS. Remplissage contenu.	Remplissage coupé.	Réouverture. Direction de réouverture.	Remplissage contenu.	Remplissage coupé.	AGE DES REMPLISSAGES.
Vendée	H_{11}	Q					
Morbihan	H_9	QV_1					
Silurien							
Westmoreland	H_3	QV_1					
Dévonien							
Land's End	H_{6-7}	QV_1					
Terr. anthraxifères							Quartz et mica.
Lisbonne	H_4	V_1					
Forez	H_{11}	V_1					
Terrains houillers							
Nord de l'Angleterre	H_{0-1}	V_1					
Rothliegendes, Zechstein							
Pays-Bas	H_{5-6}	V_1					
Grès des Vosges							
Rhin	H_2	V_1		H'_3 H'_4	V_1		
Trias							Venue sulfurée V_1.
Thuringerwald	H_{8-9}	V_3V_4	V_1	H'_9	V_3	Q	
Jura inférieur							Commencement de la venue ferrugineuse V_3.
Craie inférieure							
Mont Viso	H_{10}	V_3V_4	V_1	H'_{11}	V_3V_4	QV_1	
Craie supérieure							Suite de V_3. Venue barytique V_4.
Pyrénées	H_{7-8}	V_5	V_3V_4	H'_{6-7} H'_{5-6}	V_5	V_1V_3	
Miocène							Venue cobaltifère V_5.
Alpes occidentales	H_{2-3}	stér. V_7	V_5	H'_2 H''_3	V_7	V_5, etc.	Venue dolomitique et calcitique V_7.
Pliocène							
Alpes principales							Venue argentifère V_8.

Le premier remplissage important de Schneeberg, celui de quartz et de sulfures, serait triasique; la détermination de son âge repose sur des observations et des analogies dont il convient de discuter ici la valeur : nous avons vu que la plus simple observation des faits démontrait immédiatement que l'âge du remplissage de quartz et de sulfures était compris entre la formation des fractures H_2 d'une part, et celle des fractures H_{8-9} de l'autre; procédant en-

suite par analogie avec les faits observés à Freiberg, et assimilant les fentes H_2 au système du Rhin, les fentes H_{8-9} à celui du Thuringerwald, nous en déduisons qu'ici, comme dans tous les champs de la Saxe, le remplissage quartzo-sulfuré primordial est triasique. Nous n'avons malheureusement pas, comme à Freiberg, de vérification directe fournie par le croisement des filons à remplissage S_1 avec des roches post-triasiques ; les seules roches éruptives du champ de Schneeberg sont quelques porphyres et mélaphyres dont l'âge ne dépasse certainement pas celui des terrains houillers.

La grande venue ferrugineuse V_3, représentée à Schneeberg par le quartz hornstein, à Eibenstock, par de puissants filons d'hématite, paraît s'être prolongée durant une période assez longue embrassant les terrains jurassiques et crétacés ; elle a été suivie d'une venue barytique V_4 assez localisée et répondant à la craie supérieure.

Le remplissage arsénio-sulfuré S_2, généralement peu accentué dans les autres champs de la Saxe, prend à Schneeberg un développement exceptionnel, et constitue la base des produits exploités ; son arrivée a été précédée de la formation de fractures H_{7-8} et d'une réouverture très-violente des filons H_{6-7}, qui ne peuvent être attribuées qu'au système des Pyrénées ; les minerais de cobalt seraient donc contemporains du milieu de la période tertiaire.

La dolomite et la calcite se seraient déposées durant l'époque miocène, et la fin de leur dépôt aurait été contemporaine de la réouverture des veines H_2 et H_3, qui a rejeté fortement tous les filons de cobalt ; cette réouverture, la plus violente de toutes, est contemporaine de l'apparition des Alpes occidentales en Europe.

La venue argentifère V_3 s'est fait jour aux points de croisement des filons, grâce à quelques mouvements dont il est impossible de définir l'orientation, mais dont l'âge, certainement postérieur à celui de la réouverture H_{2-3}, sera

déterminé avec précision à Joachimsthal ; l'arrivée du remplissage riche en argent a clos la série des phénomènes de fractures et de minéralisation à Schneeberg.

La venue ferrugineuse F_1 serait contemporaine, d'après l'ordre d'âge que nous avons établi, du dépôt des terrains crétacés ; il nous reste à citer à son égard une vérification *à posteriori*, et une limite d'âge maximum : elle nous est fournie (*) par le filon Riesenberger d'hématite rouge, traversé et rejeté (entre Eibenstock et Johanngeorgenstadt) par un filon de wacke basaltique ; le remplissage de ce filon est donc nettement antérieur à l'épanchement des basaltes miocènes de la Bohême.

§ 2. *Analogies entre les champs de Freiberg et de Schneeberg.* — Si l'on compare entre elles les deux listes que nous avons dressées, pour résumer l'ensemble des phénomènes dont les champs de Freiberg et de Schneeberg ont été le théâtre, on verra qu'il y a similitude complète entre les deux districts, tant au point de vue de la direction des filons que de la succession des venues minérales qui les ont remplis. Ce résultat était assez inattendu au premier abord ; car au point de vue de la nature de leurs richesses minérales, les deux champs sont essentiellement différents. Le premier remplissage de quartz et sulfures apparaît avec une abondance égale dans les deux districts ; à Freiberg les sulfures et le quartz sont en égale proportion et les filons H_2, H_3 sont tous exploités ; à Schneeberg le quartz domine, les sulfures n'apparaissent qu'en très-faible quantité ; les mêmes filons sont généralement stériles. La grande venue barytique B_1 de Freiberg et de Marienberg n'a que des représentants très-incertains à Schneeberg ; inversement la venue ferrugineuse y a pris un développement exceptionnel, spécialement près d'Eibenstock ; les venues barytique B_2 et fluorée R_1, assez abondantes à Freiberg, n'ont une importance égale

(*) Cotta.

que dans la mine St Georg à Schneeberg. Enfin les minerais de cobalt, signalés tout à fait accidentellement dans les mines de Freiberg, forment ici la base même du remplissage. Les venues de dolomite, de calcite et de minerais d'argent ont marqué, dans les deux districts, la fin des phénomènes de minéralisation ; elles ont une importance relative à peu près égale dans les deux champs.

§ 3. *Points riches.* — Nous examinerons successivement les causes d'enrichissement qui ont agi sur les filons à remplissage sulfuré, ferrugineux et cobaltifère, puisque ce sont les seules venues qu'il y ait réellement lieu de considérer au point de vue de l'exploitation.

1° Les éléments minéralisateurs du remplissage sulfuré S_1 se rencontrent dans quelques grünsteins, et les filons anciens, généralement stériles partout ailleurs, se chargent au contraire de minéraux sulfurés au contact de ces épanchements. L'action des roches encaissantes sur l'enrichissement de ces veines est assez nette : les filons anciens renferment des minerais de cuivre dans le granite, du quartz et parfois de la galène dans les micaschites, ils sont exclusivement quartzeux et argileux dans les schistes argileux. Les filons de cuivre de la mine König David en offrent un exemple : dans toute la région comprise dans le granite ils sont exploitables ; en entrant dans les schistes, leurs fentes perdent de leur puissance, s'éparpillent et deviennent bientôt stériles.

2° Dans les filons d'hématite rouge, les zones exploitables ont environ de 400 à 1 000 mètres d'étendue horizontale, elles sont séparées par des intervalles stériles dépassant rarement 2.000 mètres. Le système du Mont Viso, contemporain de la venue ferrugineuse F_1, a principalement réouvert les veines H_{8-9} et H_{10} et quelques veines anciennes H_{11}, aussi les grands filons d'hématite sont-ils alignés dans la direction H_{10-11}. Ces filons sont exclusivement riches dans le granite ; ils deviennent stériles dans les schistes.

3° Il n'existe pas dans le champ de Schneeberg de roches éruptives renfermant, parmi leurs éléments, des minerais de cobalt ; il est très-probable que l'approfondissement des travaux n'a pas été suffisant pour révéler l'existence de semblables roches ; les filons de cobalt traversent les grünsteins sans éprouver de variations dans leur composition.

Les régions exploitables forment dans ces veines des zones de 100 à 300 mètres de longueur horizontale séparées par des intervalles stériles généralement plus considérables ; ces zones riches ne sont pas alignées en profondeur suivant le pendage du filon ; l'axe des amas est incliné d'environ 40° vers l'ouest sur la ligne de pente du filon plongeant au N.-E.

Le système des Pyrénées a précédé l'arrivée des minerais de cobalt et réouvert les veines H_{6-7}, H_{7-8}, H_{8-9} et H_{10} ; les points de croisement de ces filons entre eux sont toujours riches, l'enrichissement est d'autant plus grand que le croisement a lieu sous un angle plus aigu ; à cet égard le champ de Schneeberg devait offrir à la venue cobaltifère des issues très-faciles ; il est en effet traversé par deux faisceaux H_{6-7} et H_{8-9} dont les filons se soudent l'un à l'autre, en produisant de nombreux points de croisement sous des angles très-aigus : nous citerons les intersections riches des filons Sidonie et Friedrich August, St. Georg et Walpurgis, Fürsten Vertrag, Fruchtbare Thorheit et Churhaus Sachsen.

L'influence des roches encaissantes sur les filons de cobalt n'est pas très-nette ; ainsi, bien que la nature sédimentaire des terrains ne varie pas lorsqu'on s'éloigne au sud-est de Schneeberg, cependant les filons s'appauvrissent très-rapidement dans cette direction. H. Müller attribue l'enrichissement, aux environs immédiats de Schneeberg, au voisinage du granite (riche en pinite), et rapproche ce fait de l'action favorable qu'exerce à Freiberg, sur le remplissage des filons, le contact de deux roches différentes.

Les modifications éprouvées par les filons de cobalt lorsqu'ils passent des schistes dans le granite sont dignes de remarque ; ces modifications sont très-différentes suivant que le passage a lieu en direction ou suivant l'inclinaison du filon. Lorsque le filon passe des schistes dans le granite, sur les bords des enclaves de schistes, il perd ses minerais de cobalt et se change en filon d'hématite : ainsi la veine Adam Heber fl. à remplissage cobaltifère dans les schistes, conserve en pénétrant dans le granite le quartz cristallin caractéristique de cette venue, mais les minerais de cobalt disparaissent de son sein, et sont remplacés par de l'hématite rouge et des minerais de manganèse ; les espèces de cobalt étant postérieures à la venue ferrugineuse, ce fait prouve simplement qu'à l'époque de la réouverture contemporaine des Pyrénées, le quartz cristallin a seul pénétré avec quelque facilité dans les filons du granite, et que les arséniosulfures ne l'ont pas suivi.

Lorsque les filons de cobalt pénètrent en profondeur dans le granite, ils éprouvent une diminution légère de puissance sans perdre leur richesse; ainsi le croisement riche de Saint-Georg et Walpurgis, exploré à 100 mètres dans le granite (300 mètres au-dessous du jour), a conservé dans cette étendue sa richesse en minerais de cobalt.

Section VI. — Remplissage argentifère récent

JOACHIMSTHAL.

CHAPITRE I. — Constitution géologique des environs de Joachimsthal.

§ 1. *Aperçu général.* — Joachimsthal (*) est situé dans la Bohême allemande, à 16 kilomètres au nord de Carlsbad, sur le versant sud et à peu près au milieu de la chaîne de l'Erzgebirge, à 4 kilomètres de la ligne de faîte du massif. L'exploitation des mines remonte au XII^e^ siècle ; les premiers travaux ont été très-faciles, grâce à la configuration du sol : la vallée de Joachimsthal est bordée à l'ouest par un contre-fort de l'Erzgebirge, présentant une élévation d'environ 400 mètres au-dessus du fond, et recoupé par l'ensemble des filons; cette disposition spéciale a permis à l'exploitation de s'étendre pendant plusieurs siècles sans avoir à vaincre aucune des difficultés actuelles résultant de l'approfondissement et de la présence des eaux.

Les mines les plus importantes (districts Einigkeit et Elias) appartiennent à l'État, elles occupent une superficie de 6 kilomètres carrés et comptent douze étages de galeries atteignant une profondeur de 550 mètres; le personnel comprend environ 300 ouvriers. Une grande galerie d'écoulement, dite Danielli Erbstollen, recueille les eaux ; son développement, avec ses aboutissants, comprend 13 kilo-

(*) Vogl. *Gangverhältnisse und mineral Reichtum Joachimsthals*, 1856.

mètres. Une société privée dite Sechsige Edelleute Gesellschaft exploite une petite mine d'urane aux environs (Dürnberg). Les mines de Joachimsthal ont produit en 1866 :

0k,254	kilog.	d'argent.
49k,000	—	de plomb.
12k,000	—	de cuivre.
2k,500	—	de nickel.
4k,800	—	de bismuth.
0k,022	—	de vanadium.
3k,640	—	d'oxyde d'urane (156.000 fr.).
0k,448	—	d'oxyde de cobalt.

§ 2. *Micaschistes.* — Les filons de Joachimsthal sont situés dans les micaschistes qui enveloppent le grand massif de gneiss de la Saxe ; ces micaschistes sont très-quartzeux, à grain fin ; dans la mine ils passent quelquefois au véritable thonschiefer argileux, verdâtre ; ils éprouvent parfois au voisinage des filons des modifications assez profondes, deviennent très-friables, se chargent de matières charbonneuses et bitumineuses, et passent alors à l'alaunschiefer : on observe cette transformation au croisement des veines Geier et Geschieber au premier étage de la mine Einigkeit. Les micaschistes ont une direction très-régulière N. 90° E. avec un plongement moyen de 50° vers le sud, cette direction se retrouve encore avec une grande netteté à la séparation des micaschistes et du gneiss entre Joachimsthal et Klösterle ; elle affecte également dans cette région la chaîne de l'Erzgebirge.

§ 3. *Calcaire.* — L'existence d'un lit de calcaire bien défini au milieu des micaschistes est un fait digne de remarque. Ce calcaire est en concordance nette de stratification avec les schistes voisins, ainsi qu'on peut le vérifier aux différents étages de la mine Einigkeit ; ses couches, parfois très-accentuées, sont dirigées à 90° avec un plongement de 55° vers le sud ; on y remarque des cassures à 130°, parallèles à d'anciennes fractures des schistes et injectées de vieux quartz. Le calcaire est impur, d'un gris verdâtre assez foncé, difficile à distinguer, à première vue, des schistes voisins ; il est traversé de veinules de calcite jaunâtre ; au jour il ne forme qu'un seul lit, mais en profondeur il se divise en deux couches distinctes ayant chacune environ 40 mètres de puissance ; la couche du mur a une composition remarquable : elle est fort dure, quartzeuse, imprégnée de hornstein (quartz ferrugineux) ; on trouve aussi des délits de schistes englobés dans sa masse (*).

§ 4. *Granite.* — Le grand massif granitique à 135° de Kirchberg et Eibenstock dont la frontière N.-E. est jalonnée par une série de mines (Schneeberg, Schwarzenberg, Johanngeorgenstadt, Platten, Gottesgabe, Joachimsthal), se termine au sud de Joachimsthal vers Carlsbad. Il paraît composé aux environs de Joachimsthal du granite le plus ancien de la Saxe ; néanmoins les schistes ont été soulevés par ses massifs (Abertham).

§ 5. *Grünsteins.* — Les roches amphiboliques apparaissent aux environs de Joachimsthal en trois épanchements distincts, ayant une direction commune à 93°. Le premier dyke s'étend entre Abertham et la mine Élias, il est constitué par de l'eklogite ; le second, plus au nord, est formé d'une amphibolite accompagnée de fer oxydulé, qui y est assez abondant pour avoir donné lieu autrefois à une exploitation suivie ; enfin le troisième, non loin de Gottesgabe, est constitué par de l'amphibole avec cristaux assez rares de rutile.

§ 6. *Porphyre.* — Le porphyre forme dans les mines de Joachimsthal trois épanchements distincts réunis entre eux par quelques anastomoses ; leur direction commune est à 95° vers Abertham ; elle s'infléchit ensuite près de Joa-

(*) La forte pression, à laquelle ont été soumises toutes ces roches, et la demi-fluidité qui en est résultée, ne sont pas étrangères à l'uniformité d'aspect qu'elles présentent. (Voir Élie de Beaumont, *Roches du mont Cenis*).

chimsthal et court parallèlement à la frontière de granite à 135°. La pâte de ce porphyre est grise, il renferme des noyaux de quartz incolore transparent, et des cristaux nets d'orthose blanc ; il est coupé par tous les filons métallifères et se rapporte probablement à la première venue des porphyres de la Saxe. Certains filons, le Rothergang liegendtrum en particulier (étage Barbara à 54 mètres de profondeur), ont développé au sein de ce porphyre, quelquefois caverneux, des druses considérables, et l'ont imprégné de minerais de cobalt.

§ 7. *Basaltes et phonolites.* — Les basaltes et phonolites se sont épanchés en masses considérables, au milieu des micaschistes, et ont constitué une traînée s'étendant de Carlsbad à Klösterle, en traçant dans cette région le cours de l'Eger ; cette coulée est en relation évidente avec le massif basaltique et phonolitique à 75° du Fichtelgebirge. Au nord de Joachimsthal, la ligne de faîte de l'Erzgebirge présente un pic de phonolite et deux dômes basaltiques, le Plössberg (975 mètres), près Abertham, et le Spitzberg (1060 mètres) près Gottesgabe : nous mentionnerons dans la phonolite d'Ober-Wiesenthal la présence de cristaux fréquents d'augite et de sphène.

§ 8. *Wacke.* — Il est impossible de méconnaître la liaison étroite qui existe entre les épanchements de basalte des environs, et les nombreux filons de wacke qui traversent les mines de Joachimsthal. La wacke est formée par une pâte argileuse d'un gris olivâtre ou verdâtre, avec cristaux d'augite, et mica rubellane parfois développé ; ses fendillettes sont constamment remplies d'une calcite blanche nacrée, cristallisant dans les druses en prismes hexagonaux surmontés d'un pointement rhomboédrique. Tous les caractères de la wacke semblent indiquer que cette roche avait à un haut degré des propriétés plastiques, lorsqu'elle a formé les filons en question, et que cette propriété doit être surtout attribuée à la pression considérable qui l'a injectée

dans les cassures des schistes. Diverses preuves peuvent en être données : la wacke, bien que formant des veines très-définies, a injecté les anciens filons sur son passage et s'est répandue à leur intérieur sur des longueurs atteignant parfois 50 mètres ; elle a dans les étages supérieurs une structure argileuse prononcée (wacke d'Andréas) ; le mica et le pyroxène augite s'y présentent comme les éléments isolés d'une roche dont la pâte aurait été épanchée à l'état boueux ; en profondeur, elle apparaît souvent avec les caractères d'un véritable basalte : pâte noire, compacte, légèrement magnétique, avec fins cristaux d'augite (*).

Les filons de wacke affectent une direction très-constante, à 80°, parallèle à l'alignement des traînées basaltiques du pied de l'Erzgebirge. Leur puissance varie de $0^m,30$ à 2 mètres ; nous verrons plus loin que le croisement de ces filons avec les veines métallifères offre des particularités d'un grand intérêt et montre que la wacke a joué un rôle important dans le remplissage à Joachimsthal.

CHAPITRE II. — DIRECTIONS ET AGE RELATIF DES FILONS.

1. *Directions des filons à Joachimsthal.* — Les filons métallifères de Joachimsthal offrent à la fois les caractères des filons de cobalt, nickel et bismuth de Schneeberg, et ceux des filons d'argent de la Saxe ; ils renferment, en outre, en proportion très-notable, un minéral qui n'a été signalé qu'ac-

(*) Nous donnons ici les analyses complètes de la wacke d'Andreas (filon basaltique observé dans les mines), et du basalte du Plössberg :

	Wacke		Basalte	
Perte au feu		6,60		8,30
Silice	—	38,30	—	39,30
Alumine	—	17,66	—	14,90
Protoxyde de fer	—	14,66	—	15,33
Chaux	—	14,33	—	17,66
Alcalis (par différence)	—	8,15	—	4,51
		100,00		100,00

cidentellement dans les autres mines, la pechblende (*). Bien que ces différents minéraux soient loin d'être venus simultanément dans les filons avec leurs gangues spéciales, il n'y a cependant pas à Joachimsthal de croiseurs proprement dits; les diverses venues métallifères ont paru à la suite de réouvertures successives des anciennes cassures du champ, et l'on peut dire que les filons renferment tous avec plus ou moins de netteté des traces certaines de chacune d'elles.

L'allure générale des veines est assez simple (plan d'ensemble, Pl. X), ce qui tient probablement à la constance très-grande de direction que présentent les schistes encaissants; il est rare de constater à Joachimsthal des déviations accidentelles altérant notablement la direction générale des fractures : nous citerons cependant les infléchissements qu'éprouve le filon Küh à l'étage Daniélli, en traversant une zone de schistes à stratification fortement accentuée. La puissance des filons est assez forte, car elle atteint très-souvent 1 mètre. Leur plongement est en général considérable.

Les filons se rangent, au point de vue de leurs directions, en cinq groupes bien nets :

1° *Filons* H_6. — Les filons H_6 constituent le plus grand nombre des veines exploitées à Joachimsthal; ils sont tout à la fois remarquables par leur nombre, leur grande constance de direction et de plongement, l'étendue sur laquelle certains d'entre eux ont été explorés et le phénomène général de réouverture dont ils ont été le siége (H_{5-6}): les veines Andréas, Dreifaltigkeit, Küh, sont les principaux représentants de ce système.

Les dix ou douze faisceaux H_6, connus à Joachimsthal, sont à peu près également éloignés l'un de l'autre et séparés en moyenne par une distance de 145 mètres.

(*) On a vu (page 244) que la mine Himmlisch Heer à Annaberg en a produit tout récemment des quantités notables.

DISTRICT MINIER.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Einigkeit	Maurizi	N. 90 E.	79 N.
	Geier	89	86 N.
	Dreifaltigkeit	85	57 N.
	Andreas	93	80 S.
	Küh { à l'est	95	73 N.
	Küh { à l'ouest	85	73 N.
Einigkeit et Elias	Segen Gottes	89	68 N.
	Dorothea	88	66 N.
	Elias	89	68 N.
	Sachsker { à l'est	87	76 N.
	Sachsker { à l'ouest	92	76 N.
Dürnberg	Erbstollen	87	60 N.
	Moyenne	89 5′	

2° *Filons* H_{11}. — Le système des veines H_{11} est représenté par des veines assez importantes; quelques-unes d'entre elles ont été explorées sur une grande longueur. Leur direction moyenne, relevée sur les plans de mines, est très-constante, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

DISTRICT MINIER.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Einigkeit	Goldene Rose	172 E.	83 E.
	Prokopi	170	O.
	Hildebrand	172	81 O.
	Hauer Zechner	170	56 O.
Elias	Geister	173	67 O.
Dürnberg	Hilf Gottes	170	
	Moyenne	171 10′	

Les filons H_{11} ont éprouvé une réouverture très-jeune H_{10-12}.

3° *Filons* H_9. — Les veines H_9 sont en petit nombre, à l'exception des filons Evangelister et Schweitzer; elles n'ont été suivies que sur de faibles longueurs.

DISTRICT MINIER.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Einigkeit	Fundgrübner	N. 8 E.	51 E.
	Evangelister	0	58 O.
	Schweitzer	0	57 O.
Elias	Hieronimus	0	42 O.
	Rothergang	9	59 O.
	Moyenne	3 24′	

4° *Filons* H_2. — Les veines du système H_2 ne sont représentées que par quelques filons de la mine Elias, qui ne sont plus en exploitation.

DISTRICT MINIER.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Einigkeit.	Rosa Jericho.	N. 23 E.	56 O.
	Donati.	33	
Elias.	Jung Schweitzer.	33	
	Rothegang Liegend trum.	35	
Dürnberg.	Alte rothegang.	15	
	Francisci.	30	
	Moyenne.	28 10′	

5° *Filons* H_{10}. — Les filons H_{10} n'ont qu'un seul représentant actuellement exploité, le filon Geschieber à plongement vertical et sur lequel a été établi le puits Einigkeit.

DISTRICT MINIER.	NOM DES FILONS.	DIRECTION.	PLONGEMENT.
		degrés.	degrés.
Einigkeit.	Marien.	N. 153 E.	87 E.
	Anna.	153	84 E.
	Geschieber.	154	vertical
Elias.	Fluder.	145	76 O.
	Neue Hoffnung.	145	72 O.
	Moyenne.	149 36′	

§ 2. *De l'âge relatif des filons métallifères.* — Le phénomène de réouverture des filons a, pour ainsi dire, été normal à Joachimsthal, il apparaît à chaque pas avec une netteté qui le rend évident ; il résulte de cette fréquence des réouvertures une complication inattendue, dans la détermination de l'âge relatif des différentes fentes et des remplissages qu'elles renferment. On constate fréquemment des rejets très-considérables des veines les unes par les autres, et l'on pourrait être tenté d'en tirer cette conclusion que la succession des fentes par ordre d'âge peut être très-facilement et très-nettement établie : il n'en est rien, les réouvertures

ont constamment modifié les premiers rejets et les ont fait souvent disparaître. La nature même du remplissage des filons, toujours constitué par des masses argileuses dans lesquelles les minerais sont finement disséminés ou très irrégulièrement répartis, rend l'incertitude de l'âge relatif des fentes encore plus grande, et permet difficilement d'intercaler les venues diverses entre les réouvertures successives. Nous indiquerons plus tard, par quelques exemples, comment l'étude attentive du remplissage aux croisements permet de rectifier les premières conclusions que paraîtrait autoriser une observation trop sommaire, et nous nous réservons de chercher à déterminer l'âge des fractures primitives de Joachimsthal, après avoir étudié les deux réouvertures principales qu'elles ont subies.

CHAPITRE III. — Du remplissage et des réouvertures.

§ 1. *Caractères généraux du remplissage.* — Les filons de Joachimsthal offrent un remplissage essentiellement argileux, constitué par les débris des schistes encaissants, et dans lesquels les venues métallifères ont déposé très-irrégulièrement leurs minerais, sans jamais former de filons rubannés.

L'arrivée des minerais paraît devoir être attribuée à des réouvertures dont l'action a eu le plus d'efficacité aux points les plus faibles du champ, c'est-à-dire aux croisements des filons ; il en est résulté une stérilité relativement assez grande des veines dans les régions où elles ne se recoupent pas, et au contraire une concentration des minerais au voisinage des croisements.

§ 2. *Remplissage au point de vue géologique.* — On peut distinguer dans le remplissage quatre périodes auxquelles nous assignons l'ordre d'âge suivant, en commençant par la plus ancienne : V_1 quartz ancien, V_3 quartz ferrugineux

(hornstein), V_6 venue de cobalt et de bismuth, V_7 venue de l'urane, V_8 venue argentifère (*).

V_1. *Quartz ancien.*—Le quartz ancien est d'un blanc laiteux, opaque, à éclat gras; il se présente en masses parfois considérables au milieu des micaschistes et n'apparaît que rarement dans les filons; il annonce toujours l'appauvrissement des veines qui le renferment.

V_3. *Quartz ferrugineux.*—Le quartz ferrugineux de Joachimsthal, désigné par les Allemands sous le nom de rother Horn, est formé par un quartz amorphe, compacte, toujours opaque et coloré par l'oxyde de fer en brun plus ou moins foncé, et parfois même en rouge sang. Il n'est jamais ni cristallisé ni transparent, et ces deux caractères permettent de le distinguer immédiatement du quartz accompagnant la venue V_5; le hornstein constitue le premier remplissage proprement dit des filons de Joachimsthal; il forme des veinules atteignant quelquefois jusqu'à $0^m,10$. Il est bien nettement antérieur à toutes les venues métallifères, car celles-ci ont toujours brisé le hornstein en pénétrant les filons; il n'est pas rare de trouver dans les remplissages plus jeunes des morceaux de ce quartz ferrugineux entourés des dépôts métallifères successifs, indiquant, tout à la fois, et l'ancienneté du hornstein, et le phénomène de réouverture qui a précédé l'arrivée des autres minerais.

V_5. *Venue de cobalt et de bismuth.* — La première venue minérale est constituée par les minerais de cobalt, nickel et bismuth; ces minerais renferment, à l'état de mélange intime, la smaltine, la nickéline, le bismuth natif, la pyrite; le bismuth est l'espèce dominante, le speiss cobalt est assez fréquent. Ces espèces minérales forment, avec l'argile des filons, des masses peu compactes, en général très-irrégulièrement disséminées dans une même veine; il est rare de

(*) Nous empruntons ces notations aux remplissages homologues de Freiberg et de Schneeberg.

trouver des veinules de sulfo-arséniures massives ayant plus de quelques centimètres d'épaisseur; dans quelques cas, on a trouvé avec ces minerais de la galène (2 à 3 p. 1.000 d'argent) et de la blende d'un blond clair.

La venue de bismuth et cobalt est caractérisée par une gangue constante qui l'accompagne partout : c'est le quartz cristallin saccharoïde. Il forme parfois des veinules compactes, mais il est toujours très-facile de le distinguer du hornstein. Le quartz cristallin paraît légèrement antérieur aux minerais de bismuth et cobalt qu'il accompagne; il ne forme pas, en effet, de mélange intime avez eux et semble au contraire leur servir de support.

V_7. *Venue de l'urane.* — La venue des minerais d'urane présente d'autant plus d'intérêt que ses représentants sont très-rares et généralement accidentels dans les autres mines de l'Europe, tandis qu'à Joachimsthal la pechblende entre pour une part très-importante dans le produit des mines. Cette substance minérale se rencontre dans quelques veines peu nombreuses H_0 (*) (filons Evangelister, Hildebrand, Haüer Zechner); elle est plus rare dans les filons H_6 : la veine Francisci H_2 (mine Dürnberg) est remarquable par sa richesse en pechblende; ce minéral forme des veinules atteignant parfois quelques centimètres d'épaisseur au milieu de la masse argileuse des filons.

La pyrite l'accompagne en veinules, la galène (**) en fines imprégnations; elle a pour gangue un compagnon tout à fait caractéristique, la calcite rouge. Cette variété de calcite se présente toujours en veinules compactes, à structure cristalline, d'un beau rouge, parfois altéré et variant depuis le rouge sang jusqu'à des colorations à peine sensibles, grisâtres ou jaunâtres. Il est à remarquer que la pech-

(*) Réouvertes par le système de la Corse et de la Sardaigne?

(**) La galène accompagnant la pechblende de Francisci (Dürnberg) contient 8 à 12 dix-millièmes d'argent.

blende et ses gangues sont les seules substances qui affectent à Joachimsthal l'allure d'un remplissage concrétionné un peu défini; on les trouve aussi en rognons mamelonnés. La pechblende est toujours accompagnée de calcite rouge, mais la réciproque n'a pas lieu et cette dernière substance est beaucoup plus répandue que ne l'est la première; on la trouve dans presque tous les filons.

Nous n'avons jamais observé, en un même point d'un filon, la réunion simultanée des venues du bismuth et de l'urane; mais les collections de Joachimsthal offrent des échantillons, provenant d'une veine H_2 (filon Lorenzer) et montrant nettement que la venue de cobalt est antérieure à celle de l'urane; on y observe en effet : *a*) speiss cobalt, arsenic natif; *b*) calcite rose caractéristique de l'urane et blende jaunâtre; *c*) calcite blanche en druses.

La venue de l'urane offre peu de minéraux accidentels, on a trouvé comme produits d'oxydation : l'éliasite, la chalcolite, l'uranite et la johannite.

V_8. *Venue de l'argent.* — La venue argentifère tient une place importante à Joachimsthal et vient ajouter un nouvel élément de richesse à ceux qui proviennent des autres métaux rares de ces mines. Les minerais d'argent sont représentés par ses principales espèces minérales : argent natif, argentite, pyrargyrite; elles forment toujours dans les filons des imprégnations et ne se trouvent que très-rarement en veinules compactes d'une certaine épaisseur. Généralement, ces minerais constituent des masses noirâtres, poreuses (silberschwärze), au milieu desquelles les espèces minérales de l'argent sont disséminées en petits cristaux; on rencontre spécialement ces masses aux points de croisement des filons entre eux et la disposition des minerais d'argent en colonnes isolées, déjà signalée à Freiberg, se retrouve ici.

Le lit calcaire intercalé au milieu des micaschistes dans la mine Einigkeit a eu une influence très-marquée sur la

répartition de l'argent dans les filons à son voisinage; les veines ont éprouvé un enrichissement considérable au toit de ce lit calcaire; les chantiers d'abatage dans Anna, Geier, Marien se sont beaucoup développés à son contact.

Les minéraux accidentels de cette venue n'ont qu'un intérêt minéralogique, nous citerons : la feuerblende, la miargyrite et l'argento-pyrite (silberkies).

La venue argentifère a été accompagnée d'une calcite cristallisée, d'un blanc nacré, rappelant les zéolithes et dont l'importance, dans l'étude du remplissage, est réelle, parce qu'elle donne un horizon bien défini. Nous citerons bientôt les raisons qui conduisent à placer la venue de l'argent et celle de la calcite blanche après toutes les autres.

§ 5. *Des réouvertures.* — Différents phénomènes de réouverture se sont intercalés entre les époques des venues métallifères; ces réouvertures ont toujours affecté un ensemble de veines appartenant au même système ou ayant au moins des directions très-voisines, elles sont au nombre de deux :

DIRECTION DES VEINES affectées de préférence par les réouvertures.	AGE LOCAL.
	Venue de l'urane.
H_6.	Réouverture amenant l'argent.
	Venue de l'argent.
H_{10-12}.	Réouverture stérile.

1° *Réouverture* H_6. — Le phénomène de réouverture des veines H_6 apparaît à chaque pas avec la plus grande netteté : les salbandes des filons H_6 sont toujours extrêmement nettes, parfaitement polies; elles portent fréquemment les traces des glissements énergiques qui se sont produits à l'époque de la réouverture : c'est ainsi qu'au dixième étage, la salbande, au mur de la veine Andréas, présente en relief la forme d'un demi-cylindre presque horizontal portant des stries puissantes parallèles aux génératrices. Plusieurs filons H_6 (Andréas, Dreifaltigkeit, etc.) ont une tendance à

se diviser en deux ou plusieurs branches en profondeur, et l'on observe toujours que les branches secondaires suivent en direction et en plongement les lits de micaschistes encaissants (ceux-ci sont aussi dirigés H_6) : d'autre part, le remplissage de ces veines est le plus souvent formé d'une masse de schistes broyés atteignant jusqu'à 2 mètres de puissance, au milieu de laquelle on trouve des débris d'anciennes formations; enfin, lorsque le remplissage d'une veine H_6 est demeuré intact, on observe toujours au mur du filon une faille argileuse stérile accompagnant très-régulièrement la veine principale et la traversant parfois.

Les glissements énergiques dont témoignent tous ces faits ne sauraient être contemporains de la formation des veines H_6, puisqu'ils intéressent le premier remplissage de ces veines; ils doivent être attribués à une réouverture; il est facile de fixer l'époque de celle-ci : elle se place entre la venue de l'urane et celle de l'argent, elle est enfin contemporaine de l'arrivée de la wacke. En premier lieu, cette réouverture est, sans doute, postérieure à la venue de l'urane(*), car elle coupe avec la plus grande netteté la calcite rouge des veines H_9; elle est en second lieu contemporaine de l'arrivée de la wacke, comme l'indique le croisement des veines H_6 et des filons de wacke : nous insisterons ici sur les circonstances de ce croisement.

La plupart des filons de wacke ont une direction très-nette à 80°, c'est-à-dire qu'ils coupent les veines H_6 sous un angle de moins de 10°; dans les croisements de ce genre la wacke pénètre toujours dans le filon H_6, coupe nettement son remplissage de schistes broyés, injecte même le filon sur des longueurs parfois considérables et reprend ensuite sa direction primitive. L'injection de la wacke dans les veines H_6 est un fait très-fréquent; aux étages Barbara et

(*) Nous avons constaté à Annaberg un fait en contradiction avec celui-ci, ou plutôt qui prouve que la venue de pechblende s'est prolongée après la réouverture H_6 dans la mine Himmlisch Heer.

Danielli on a reconnu un filon de wacke qui a suivi la veine Küh, en la remplissant sur près de 50 mètres de longueur : les veines Segen Gottes, Andréas ont de même été coupées et injectées par des filons de wacke.

Il n'est pas douteux que ce phénomène d'injection de la wacke dans les veines H_6 n'ait produit leur réouverture violente : ce qui le prouve bien, c'est l'allure toute différente des autres veines métallifères à leur croisement avec la wacke. Les veines H_9 et H_{11} croisent les filons de wacke à 80° sous un angle beaucoup plus grand, aussi voit-on simplement la wacke traverser ces filons en les coupant et les rejetant, mais sans les injecter; les rejets ainsi produits par les croiseurs de wacke atteignent parfois jusqu'à 3 mètres, nous citerons les suivants :

ÉTAGE.	FILONS DE WACKE $H_{5\text{-}6}$.		FILON REJETÉ.	DIRECTION.
	Direction.	Plongement.		
	degrés.	degrés.		degrés.
Barbara. . .	N. 80 E.		Hildebrand H_{11}.	N. 173 E.
Danielli. . .	83	70 S.	Hildebrand H_{11}.	173
	85	70 N.	Evangelister H_9.	0
10me.	78	N.	Hauer Zechner H_{11}. . . .	170

Cependant la wacke pénètre aussi quelquefois dans la veine croisée; nous citerons la Segen-Gottes wacke à 85° (étage Danielli), qui se réunit sur une longueur de 3 mètres au Rothergang; mais ce résultat peut s'expliquer en admettant que la Segengottes-Wacke a suivi une ancienne cassure H_6 rejetée par le Rothergang, et que c'est l'ancien rejet qui a déterminé une injection partielle dans le Rothergang.

La réouverture violente des filons H_6 a modifié profondément le caractère de ces veines anciennes, puisque la plupart d'entre elles sont devenues de véritables croiseurs pour les systèmes plus jeunes qui les avaient primitivement rejetées.

Nous venons de voir que l'éruption de la wacke et la réouverture des veines H_6 étaient deux faits corrélatifs; les

travaux ouverts dans les dernières années, du huitième au douzième étage, ont confirmé un fait non moins intéressant, déjà pressenti depuis longtemps (*), celui de la corrélation intime entre l'arrivée de la wacke et la venue argentifère.

Les filons Haüer-Zechner H_{11} à 170° et Andréas H_6 à 90° ont été coupés tous deux par un filon de wacke (Pl. XI, *fig.* 13), dont la direction, relevée par la représentation graphique, a été déterminée beaucoup plus exactement que ne l'aurait permis une observation directe. Ce filon à 70° coupe Andréas au huitième étage, mais au dixième il l'injecte sur une longueur d'environ 15 mètres; le filon Haüer-Zechner est aussi légèrement injecté et rejeté par la wacke du huitième au dixième étage; dans cette étendue verticale de 40 mètres, la colonne de wacke, située dans la veine Haüer-Zechner, renferme des minerais d'argent : les fentes de retrait de la wacke sont tapissées d'argent natif, d'argentite et d'argyrythrose en feuilles minces; l'argent rouge y apparaît çà et là en masses compactes et le mètre cube de wacke a donné dans cette région jusqu'à 1.000 francs de minerais d'argent.

La présence de l'argent en ce point montre nettement que l'arrivée de la wacke a été suivie de la venue argentifère, et la réouverture des veines H_6 au même moment explique l'enrichissement bien constaté des filons à leur croisement avec ces veines. Nous n'insisterons pas sur la généralité de ce fait, que nous avons déjà constaté à Freiberg, à Annaberg, etc.

C'est à peu près à la même époque que doit être rapportée la venue de calcite blanche à éclat nacré qui représente le dernier terme de la série des remplissages à Joachimsthal. En donnant les caractères minéralogiques de la wacke, nous avons signalé, dans les fentes ou les cavités de cette roche, l'existence de cette même calcite; il faut donc rapporter tout ensemble à l'arrivée de la wacke et la venue d'argent et la venue de calcite blanche.

(*) Maier, 1830. — Vogl, 1855.

2° *Réouverture* H_{10-12}. — Les filons H_{10}, H_{11} et H_0 ont éprouvé une dernière réouverture postérieure à tous les remplissages et qui a achevé de compliquer l'étude déjà si difficile des croisements; cette réouverture intéresse les filons les plus vieux H_{11} et H_0, elle a agi spécialement sur les veines Haüerzechner à 172° et Evangelister à 0° et a modifié considérablement les rejets qu'ils avaient autrefois éprouvés de la part des veines plus jeunes.

On ne peut d'ailleurs avoir aucun doute sur l'âge relatif des réouvertures H_{5-6} et H_{10-12}; cette dernière est nettement postérieure à l'autre, puisqu'elle coupe toujours la wacke et la calcite blanche.

La veine Geschieber H_{10}, à 152°, a éprouvé une réouverture évidente, postérieure à la calcite blanche comme les réouvertures H'_{11}, H'_{12}; ce glissement paraît être en relation avec les épanchements d'eaux thermales des environs (Carlsbad, Teplitz) : en approfondissant au-dessous du douzième étage (540 mètres) le puits Einigkeit foncé dans le filon Geschieber à plongement vertical, on a rencontré au sein de cette veine une source thermale qui s'est élevée de 200 mètres dans le puits, en inondant tous les travaux du douzième au cinquième étage. Il a fallu poursuivre l'épuisement pendant deux ans pour ramener les eaux au-dessous du douzième étage; on a fermé à ce niveau le puits en y pratiquant un serrage avec coulée de béton, et l'on espère maîtriser ainsi la source; cette eau était chargée d'acide sulfhydrique en proportion notable; sa température était de 25° (*).

§ 4. *Des failles stériles rejetant les filons métallifères.* — Les failles stériles sont rares à Joachimsthal et il doit

(*) Ce fait est à rapprocher des phénomènes relatifs aux sources thermales de la Saxe, et aux tuffs vocaniques modernes du Wolfsberg, phénomènes qui se rapportent tous si nettement au système du Ténare (p. de ce mémoire et p. 188 du mémoire sur les filons de Przibram et de Mies).

nécessairement en être ainsi, puisque la dernière venue, celle des minerais d'argent, est très-jeune. A l'exception de quelques failles bien définies, il est difficile d'affirmer qu'un croiseur, reconnu stérile en un point, l'est réellement dans l'étendue de son parcours. La plupart des filons eux-mêmes sont complétement argileux sur de grandes longueurs, et les failles stériles se confondent aisément avec eux.

Nous distinguerons les systèmes suivants : failles H'_2, H'_{11}, H_5.

1° *Failles* H'_2. — Ces failles sont peu nombreuses ; nous en avons constaté quelques-unes rejetant diverses veines H_{10} (huitième étage) au voisinage des filons Fundgrübner et Geschieber.

2° *Failles* H'_{11}. — Elles sont évidemment contemporaines de la réouverture H_{10-12}, et coupent en effet la wacke ;

a) A l'étage Danielli, quelques failles puissantes à 8°, plongeant très-peu à l'ouest, coupent le filon Küh H_6, elles intéressent également la wacke injectée dans ce filon.

b) Dans la mine Dürnberg, une faille argileuse à 170° de 12 mètres de puissance, plongeant de 60° à l'ouest, coupe une veine H_6.

3° *Failles* H_5. — Ces failles représentent une nouvelle réouverture stérile des veines H_6, elles se distinguent nettement de la première en ce qu'elles coupent les filons de wacke ; nous citerons :

a) La Butzen-wacke, la plus grande faille connue dans les mines de Joachimsthal ; elle consiste en un conglomérat de débris de schistes, de porphyre, de wacke, souvent arrondis et roulés, parfois à angles vifs, au milieu duquel on a même trouvé des morceaux de bois (*). La puissance de ce conglomérat atteint à l'étage Danielli jusqu'à 60 mètres, sa direction moyenne est à 73°, il plonge légèrement vers le nord ; cette faille a tous les caractères d'une réouverture

(*) Vogl.

des filons de wacke à 80° : on trouve au mur du conglomérat un filon de wacke noire, à pâte basaltique inaltérée, avec sa calcite blanche caractéristique ; il s'est développé dans sa masse une schistosité parallèle à la Butzen-wacke, et la séparation de la wacke basaltique fraîche d'avec la Butzen-wacke a lieu à angles vifs. Il est donc évident que la réouverture H_5 a intéressé un ancien filon de wacke en le brisant et a déterminé la formation d'une faille béante qui s'est remplie sur 60 mètres de puissance des débris soit des roches encaissantes, soit même de roches provenant du jour. Les morceaux roulés de wacke que l'on trouve dans cette faille sont complétement altérés, friables, on y voit du mica rubellane très-développé ; la Butzen-wacke a fait éprouver aux filons des rejets très-considérables.

CHAPITRE IV. — Croisements principaux des filons.

§ 1. ***Des rejets.*** — Nous pouvons conclure de ce qui précède que les réouvertures importantes de Joachimsthal se sont succédé dans l'ordre suivant :

1	Réouverture H_{5-6}.	Filons H_6 réouverts.	Contemporaine de la wacke.
2	Idem. H_{10-12}.	Filons H_{11}, H_9, H_{10} réouverts.	Postérieure à la wacke.
	Idem. H_5.	Failles et filons H_6 réouverts.	Contemporaine des sources minérales actuelles.

Ces réouvertures sont postérieures à tous les filons, puisqu'elles ont disloqué les remplissages antérieurs à la venue argentifère que tous contiennent sans exception. Dans de pareilles conditions, les exemples d'intersections ne peuvent donner aucune indication sur l'âge relatif des fentes primitives : on doit même trouver, dans les rejets réciproques de deux systèmes de filons réouverts, toutes les combinaisons possibles, c'est aussi ce que présentent les observations consignées dans les tableaux qui suivent, observations individuellement très-nettes comme tous les rejets à Joachimsthal et qui prouvent combien la théorie des directions peut être précieuse pour la détermination de l'âge des fractures dans des cas aussi complexes.

MINES.	ÉTAGE.	FILON REJETANT. Nom.	FILON REJETANT. Direction.	FILON REJETÉ. Nom.	FILON REJETÉ. Direction.
		Filons H_6 *rejetés par les filons* H_2.			
			degrés.		degrés.
Elias.	Barbara.	Becken.	23	Elias.	93
		Idem.	23	Andréas.	90
		Rothe Liegend trum.	30	Idem.	89
Einigkeit.	Danielli.	Trum de Rothe Lgdt.	36	Johannes.	90
		Rothe Liegend trum.	30	Veine H_6.	85
		Filons H_6 *ou* H_{5-6} *rejetés par les filons* H_0 *ou* H'_0 (H_{10-12}).			
Einigkeit.	Danielli.	Evangelister.	6	Veine H_6.	84
Elias.		Rothegang.	9	Idem.	90
Dürnberg.	Stollen.	Francisci.	5	Idem.	87
		Filons H_6 *ou* H_{5-6} *rejetés par les filons* H_{11} *ou* H'_{11} (H_{10-12}).			
Einigkeit.	Barbara.	Schweitzer.	173	Kühn.	96
Elias.		Hieronymus.	178	Andréas.	92
Einigkeit.	Danielli.	Fundgrübner.	178	Idem.	92
		Filons H_6 *ou* H_{5-6} *rejetés par les filons* H_{10} *ou* H'_{10} (H_{10-12}).			
Elias.	Danielli.	Neue Hoffnung.	145	Elias.	90
Einigkeit.	1	Geschieber.	152	Andréas.	89
	1	Idem.	152	Dreifaltigkeit.	90
		Filons H_0 *rejetés par les filons* H_6 *ou* H_{5-6}.			
Einigkeit.	Barbara.	Kühn.	90	Veine H_0.	8
		Filons H_0 *rejetés par les filons* H_{10} *ou* H'_{10} (H_{10-12}).			
Einigkeit.	1	Geschieber.	152	Veine H_0.	3
	2	Idem.	152	Idem.	3
	8 1/2	Idem.	152	Fundgrübner.	0
		Filons H_{11} *rejetés par les filons* H_6 *ou* H_{5-6}.			
Einigkeit.	Barbara.	Andréas.	92	Geister.	172
		Elias.	89	Hildebrand.	173
		Kühn.	85	Idem.	173
	Danielli.	Veine H_6.	88	Idem.	173
		Kühn.	80	Veine H_{11}.	165
		Veine H_6.	90	Hiéronymus.	168
		Filons H_{10} *rejetés par les filons* H_6 *ou* H_{5-6}.			
Elias.	Danielli.	Andréas.	92	Marien.	153

§ 2. *Comparaison avec les systèmes de montagnes.* — Il est très-facile d'assimiler les réouvertures jeunes de Joachimsthal aux systèmes de montagnes qui leur ont donné naissance : les Alpes Principales contemporaines des basaltes se rapprochent volontiers de la réouverture H_{5-6} qui caractérise les filons de wacke ; nous avons déjà vu combien il y avait de vraisemblance à assimiler le système du Ténare à la réouverture H_{10-12} ; dans cette hypothèse les failles H_5 se rapporteraient au second axe volcanique (Etna-Ténériffe).

Quant aux filons anciens, nous rapprochons les plus importants d'entre eux, les faisceaux H_6, des fentes de même direction que les grünsteins et les porphyres ont injectées au voisinage, et aussi de l'orientation si constante des schistes ; nous rapportons tous ces accidents au système du Land's-End.

Tous les filons anciens contiennent sans exception le rother-Horn, ils sont donc vraisemblablement antérieurs aux Pyrénées, qui sont dans toute la Saxe plus jeunes que ce remplissage si caractéristique.

Les filons H_{11} et H_0 contiennent en outre un quartz ancien laiteux que l'on ne peut absolument assimiler qu'au quartz de la venue sulfurée S_1, peut-être au quartz de la venue stannifère, dès lors l'assimilation des filons anciens de Joachimsthal aux systèmes de montagnes ne présente plus d'ambiguïté ; nous la résumons dans le tableau qui suit :

SYSTÈMES de montagnes.	AGE géologique.	DIRECTION à Freiberg.	PHÉNOMÈNES de soulèvements locaux à Joachimsthal.	DIRECTION	ÉRUPTIONS, REMPLISSAGES.
		degrés.		degrés.	
Morbihan.	Ante-silurien. . .	N. 140 E.	Cassures des micaschistes.	N. 135 E.	Granite de Kirchberg et Eibenstock.
Land's End.	Dévonien. . . .	96	Plissement violent des micaschistes.	90	
	Carbonifère. . . .		Cassures anciennes E.-O.		
			Filons H_6.		Venue porphyrique?
Forez.	Millstone-grit. . .	172	Filons H_{11}.	171	
	Terrain houiller				
Nord de l'Angleterre.	Terrain houiller.	7	Filons H_9.	3	
	Rothliegendes. . .				
Rhin.	Zechstein. . . .	24	Filons H_2.	28	Quartz ancien?
	Grès bigarré. . .				
Mont Viso.	Craie inférieure.	162	Filons H_{10}.	149	Quartz hornstein. Venue du bismuth. Venue de l'urane. — (Système de la Corse et de la Sardaigne?)
	Craie supérieure.				
Alpes occidentales. .	Miocène.	33	Failles H_2 (?).	32	Épanchement des basaltes et phonolites de la Bohême. Filons de wacke. Venue de l'argent. Calcite blanche.
	Pliocène.				
Alpes principales. . .	Pliocène.	80	Réouverture des veines H_6.	80	
	Diluvium. . . .		Filons de wacke $H_{5\text{-}6}$.		
Ténare.	. . . . .	168	Réouverture $H_{10\text{-}12}$. Failles.	175 152	Sources thermales de Carlsbad, Teplitz. Source thermale dans le filon Geschieber.
Etna-Ténériffe. . . .	. . . . .	78	Butzen-wacke. Failles. Réouverture des filons de wacke.	75	

§ 3. *Relations des veines métallifères entre elles.* — Nous citerons ici les exemples les plus saillants des croisements de filons ; ils serviront à justifier la classification par ordre d'âge que nous avons faite des différentes veines, de leurs réouvertures et de leurs remplissages.

a) *Croisement des veines Dreifaltigkeit, Hildebrand et Geschieber* (deuxième étage, mine Einigkeit, Pl. XI, *fig.* 11). La veine Dreifaltigkeit H_6 coupe la veine Hildebrand H_{11} et la rejette de 3 mètres ; le remplissage de celle-ci a $0^m,1$ de puissance ; il est formé de calcite rouge englobant des morceaux concassés de schistes, nettement coupée par Dreifaltigkeit ; au mur du filon Hildebrand s'étend une veine de calcite blanche jeune avec pyrite qui passe sans interruption dans le croiseur. Celui-ci est formé d'un remplissage de $0^m,60$ de schistes broyés dans lesquels a pénétré avec difficulté la calcite blanche : en suivant à l'est Dreifaltigkeit; on rencontre son croisement avec Geschieber; celui-ci le rejette de 2 mètres. Le remplissage de Geschieber consiste en : *a*) calcite rouge entourant des fragments de schistes ; *b*) calcite blanche s'étendant au voisinage de Dreifaltigkeit, la calcite rouge de Geschieber est brisée ; elle s'arrête nettement au point de croisement avec Dreifaltigkeit qui l'a aussi coupée.

La veine Geschieber a été certainement réouverte, puisqu'elle renferme la calcite rouge et qu'elle rejette le filon Dreifaltigkeit, lui-même postérieur à cette calcite. Cet exemple, le plus net de tous, nous donne la succession suivante :

1° Veines Hildebrand, Dreifaltigkeit, Geschieber.

2° Calcite rouge.

3° Réouverture H_6 de Dreifaltigkeit.

4° Calcite blanche.

5° Réouverture de Geschieber.

Nous avons placé la réouverture de Geschieber après la venue de calcite blanche, parce que celle-ci est aussi brisée dans le filon Geschieber.

b) *Croisement des veines Andréas, Haüer zechner et d'un filon de wacke* (dixième étage, mine Einigkeit, Pl. XI, *fig.* 13). — Les veines Andréas et Hauer zechner sont constituées toutes deux par des veinules nombreuses de calcite rouge et par une fente argileuse stérile occupant le toit du filon dans Haüer zechner et le mur dans Andréas. Les deux filons se croisent sans qu'il y ait aucun rejet apparent : les deux fentes argileuses se traversent sans rejet, mais chacune d'elles coupe et rejette les veinules de calcite parallèles à l'autre; enfin les veinules de calcite rouge appartenant à Andréas coupent comme fente les veinules analogues d'Haüer zechner. Un filon de wacke à 70° coupe les deux veines métallifères non loin de leur croisement; l'intersection avec Andréas est simple, la wacke l'injecte sur 10 à 15 mètres, puis continue son chemin : le remplissage d'Andréas en ce point, *a*) vieux quartz brisé, *b*) calcite rouge, pyrite, est complétement coupé.

Le croisement d'Haüer zechner et de la wacke offre plus d'intérêt : la veine Haüer zechner pénètre dans un lit de calcaire de 16 mètres d'épaisseur; son remplissage consiste en une veinule de calcite rouge, parfois jaunâtre. La wacke d'Andréas pénètre dans le filon en suivant une ancienne cassure injectée de calcite rouge, elle remplit la veine Hauer zechner et reprend bientôt sa première direction. La calcite rouge est coupée par la wacke, mais la fente du filon se prolonge dans celle-ci et se remplit de calcite blanche nacrée; c'est en ce point que l'on a trouvé la wacke chargée de minerais d'argent. Les différents phénomènes dont ces veines ont été le théâtre se classent comme il suit :

1° Veine Haüer zechner H_{11}.
2° Veine Andréas H_6.
3° Calcite rouge.
4° Réouverture H_6 d'Andréas. Wacke à 78°.
5° Fendillettes d'Haüer zechner dans la wacke. Venue argentifère, calcite blanche.

c) *Croisement des veines Andréas, Geister et de l'Andréas-wacke.* — Ce croisement montrera clairement comment les réouvertures des filons peuvent modifier les anciens rejets et donner lieu dans la même intersection à des combinaisons variées. La *fig.* 14, Pl. XI, représente les veines à l'étage Barbara : le filon Andréas H_6 coupe et rejette le filon Geister H_{11} formé de deux veines séparées; la wacke en filon à 70° est nettement coupée par les deux branches de Geister, elle se répand dans Andréas comme l'indique la figure. A l'étage Danielli (40 mètres plus bas) la disposition (*fig.* 15) est tout autre et explique l'apparente inconséquence des rejets *fig.* 14; la wacke est injectée dans Andréas et ne forme plus de veine distincte; le filon Geister, les rejette tous deux de quelques décimètres, mais en examinant la veine de l'Andréas-wacke située au mur de Geister on voit l'une de ses salbandes se prolonger à travers Geister et le rejeter aussi comme l'indique la figure. A l'étage Barbara la réouverture d'Andréas est donc prédominante, tandis qu'à l'étage Danielli les deux réouvertures sont sensibles, et celle de Geister est la plus apparente; en résumé ces fractures successives se sont succédé comme il suit :

1° Veine Geister à 172°.
2° Veine Andréas à 92°.
3° Wacke à 70° et réouverture H_{5-6} d'Andréas.
4° Réouverture H'_{11} de Geister.

d) *Croisement d'Andréas Liegendtrum* H_6 *et d'une veine* H_{11}, dixième étage. — La *fig.* 12, Pl. XI, représente les détails de ce croisement, la veine H_{11} est coupée par l'ancien filon Andréas, la calcite rouge passe à travers l'ancien filon; la réouverture stérile d'Andréas coupe à la fois et la veine à 170° et sa calcite; on a donc l'ordre suivant : veine H_6 et veine H_{11}, calcite rouge, réouverture H_{5-6} d'Andréas.

e) *Croisement des veines Anna et Geier*, deuxième étage. — La *fig.* 10, Pl. XI, explique suffisamment les détails du croisement; on y reconnaît l'ordre d'âge suivant :

veine Anna H_{10}, calcite rouge, réouverture H_{5-6} de Geier.

f) Croisement des veines Fundgrübner H_0 *et Geschieber* H_{10}. Étage, 8 1/2. — La veine Fundgrübner à 178°, est nettement rejetée par le filon Geschieber ; tous deux renferment du quartz hornstein et le quartz cristallin de la venue de cobalt; la réouverture de Geschieber a cassé ces quartz.

Section VII. — Résumé relatif à l'Erzgebirge.

§ 1. *Age des remplissages.*— Nous résumons dans le tableau qui suit les résultats généraux de l'étude que nous avons entreprise; on y pourra suivre les modifications physiques et chimiques des remplissages que présentent les filons de la Saxe, durant les longues périodes pendant lesquelles les sources thermales ont pu y circuler, grâce aux nombreuses réouvertures que ces fentes ont eu à subir.

SYSTÈMES.	SULFURES. Arséniures, antimoniures.	FLUORURES.	OXYDES. Métaux natifs.	QUARTZ. Silicates.	SULFATES. Phosphates, Tungstates.	CARBONATES.	ÉMANATIONS carboniques.	ROCHES contemporaines.
Westmoreland.		Tourmaline.	Etain oxydé, finement imprégné dans le greisen.	Greisen à grain fin.				Granite – porphyre.
		Topaze.	Etain oxydé en mouches.	Émeraude.				Grünsteins talqueux, chloriteux, micacés.
Land's-End.	Mispickel. Pyrites de fer, de cuivre. Molybdène sulfuré.	Mica lithique.	Bismuth natif.	Quartz à éclat gras.	Apatite, Schéelite. Wolfram.			Pegmatites.
		Fluorine.	Fer oligiste.	Feldspath. Talc, chlorite.				
	Mispickel. Pyrites de cuivre et de fer.		Remaniements d'étain.	Quartz à éclat gras, grisâtre.				Porphyres n° I et II.
Rhin.	Blende noire. Galène argentifère. Mispickel. Pyrites de fer et cuivre.			Quartz blanc laiteux et vitreux cristallin.		Dolomite. Manganèse carbonaté.	Schistes noirs de Braunsdorf.	Felsit-fels. Pechsteins.
Thuringerwald.	Bournonite (rare). Galène pauvre (raie).		Fer oligiste.	Quartz grenu.	Barytine à larges facettes. Anhydrite.	Dolomite.		Argilophyres à Sanidine.
Mont Viso.	Pyrite de cuivre. Fahlerz.	Fluorine.	Fer oligiste, hématites rouge et brune. Manganèse oxydé.	Hornstein (rother Horn). Quartz améthiste.	Barytine à petites facettes.	Dolomite. Fer carbonaté.		
Pyrénées.	Antimonio-arséniosulfures (Co, Ni, Cu). Galène. Blende jaune.	Fluorine.	Bismuth natif.	Quartz saccharoïde.			Alaunschiefer à Schneeberg.	Premiers Basaltes?
Tatra (?)	Galène concrétionnée. Marcassite concrétionnée.	Fluorine.			Barytine concrétionnée.			
Alpes occidentales.			Arsenic natif. Pechblende.	Quartz bipyramidé.		Calcite et dolomie.		
Alpes principales.	Arsénio-antimonio – sulfures d'argent. Galène.		Argent natif.			Calcite.	Alaunschiefer (Annaberg, Joachimsthal).	Basaltes et phonolites de l'Erzgebirge.
Ténare.	Sources thermales	Sources thermales		Sources thermales		Sources thermales		Tufs volcaniques.

§ 2. *Quantités relatives et directions riches*—L'ensemble des phénomènes de remplissage offre ainsi une continuité qu'on n'aurait pu prévoir; par exemple les transformations physiques et chimiques des quartz et des silicates de remplissage présentent des caractères assez nets pour que l'on puisse, dans la plupart des cas, leur assigner un âge géologique à première vue.

Cette continuité n'est cependant qu'apparente, et il faut tenir compte théoriquement et pratiquement des quantités relatives de chaque minéral et de l'abondance de chaque venue; à ce point de vue, le tableau précédent peut se simplifier et se mettre sous la forme suivante :

REMPLISSAGES.	AGES GÉOLOGIQUES.
Greisen finement imprégné d'étain (1).	Du Westmoreland au Land's-End.
Filons de Hyalomicte à gros éléments, de quartz, de feldspath avec mouches d'étain.	**Land's-End.**
Venue de pyrites (pyrites de cuivre), rudimentaire en Saxe.	Du Land's-End au Rhin.
Grande venue sulfurée; galène argentifère.	**Rhin.**
Venue barytique, ferrugineuse, fluorée et cuprifère.	Du Thuringerwald au mont Viso.
Venue sulfurée, arsenicale et antimonifère (galène; cobalt, nickel, bismuth).	**Pyrénées.**
Venue de barytine, fluorine, et pyrites concrétionnées.	Des Pyrénées aux Alpes occidentales.
Venue de dolomite et de calcite, commencement de la venue uranifère.	**Alpes occidentales.**
Pechblende, venue argentifère.	**Alpes principales.**

(1) Nous faisons ici abstraction de la venue stannifère d'Abertham qui se trouve dans des fentes Longmynd, mais dont l'étude n'est pas assez complète pour se prêter à une généralisation quelconque.

Les directions ordinaires qu'affectent ces différentes venues sont figurées Pl. XI, *fig.* 16, sur une rose que l'on pourra comparer à celle des dykes de roches éruptives, *fig.* 17 (*).

(*) Les notes que M. Moissenet a publiées sur ses travaux encore inédits, relatifs au Cornwall, seront intéressantes à rapprocher de cette rose. *Annales des mines.*

§ 3. *Comparaison avec les champs de cassures de la Bohême méridionale.* — Si l'on compare les directions que remplissent d'ordinaire les grandes venues de galène argentifère de Freiberg et de Przibram, ainsi que les âges géologiques que ces directions leur assignent, on arrive à les assimiler l'une à l'autre (*) ; ce sont de nouvelles preuves de l'existence d'une période métallifère très-générale en Europe, correspondant à la période triasique, et principalement au grès bigarré et au muschelkalk.

La grande quantité de plomb que fournissent les gisements triasiques interstratifiés de Tarnovitz (haute Silésie), de Commern (Prusse Rhénane), fournit d'ailleurs à la théorie des directions une vérification qui prouve combien le système du Rhin a d'importance au point de vue du mineur. On sait combien est général le fait de l'imprégnation de certaines couches triasiques par les sulfures métallifères et les produits oxydés qui en dérivent.

Remarquons ici que les mines actuellement exploitées en Saxe ne présentent qu'à l'état rudimentaire la venue sulfurée principalement cuprifère qui correspond à l'imprégnation, si générale aussi, des couches du Zechstein.

Au point de vue minéralogique, c'est à l'Edle braunspath Formation que nous comparons le plus volontiers la venue sulfurée de Przibram; son fer carbonaté, si abondant et si caractéristique, paraît remplacé à Freiberg par la dolomite et le manganèse carbonaté.

La venue barytique à grandes facettes, contemporaine du Thuringerwald, existe à Przibram et à Mies; nous avons signalé dans les mines de ce dernier district, quelques veines avec fluorine, blende jaune, et minéraux argentifères, qui nous permettent de présumer que les venues récentes de la Saxe remplissent peut-être à Mies des filons spéciaux.

(*) Études sur les filons de Przibram et de Mies, *Annales des mines*, 1869.

Il est remarquable que le système de l'Erzgebirge (Côte-d'Or), qui a produit en Bohême de grandes failles (Lettenkluft à Przibram, etc.), postérieures à la Barytine B_1, ne donne ni filons ni accidents importants dans les champs de cassures de la Saxe ; l'explication de cette anomalie apparente est dans le relief même de l'Erzgebirge qui ne présente d'escarpements que sur son versant méridional (*).

§ 4. *Des deux grandes venues sulfurées de l'Erzgebirge.* — Les grandes venues sulfurées de l'Erzgebirge, dont le type est représenté par le filon de galène, correspondraient, d'après ce qui précède, à deux périodes bien distinctes :

1° *Zechstein et Trias.* — Systèmes du Forez, du Nord de l'Angleterre, des Pays-Bas et du Rhin, grands épanchements porphyriques.

La venue triasique est la seule qui paraisse vraiment abondante en Saxe, dont les mines produisent d'ailleurs peu de cuivre.

2° *Période tertiaire et quaternaire.* — Systèmes des Pyrénées et des Alpes principales, grands épanchements de basaltes, trachytes et phonolites.

Les cassures des Alpes principales paraissent particulièrement en relation avec la venue argentifère en Saxe.

Il est remarquable que ces deux périodes soient précisément jalonnées dans les terrains stratifiés par des dépôts très-abondants de chlorure de sodium et de sulfate de chaux. Cette concomitance, déjà signalée par M. Élie de Beaumont pour la période triasique, se reproduit fidèlement dans la période tertiaire.

(*) Dans les Vosges, les filons du système de la Côte-d'Or (qui s'intercale entre le Thuringerwald et le mont Viso) contiennent de la fluorine cuprifère, de l'hématite rouge, du fer oligiste : ces faits confirment nos idées sur l'âge des venues V_3, V_4.

APPLICATION DE LA MÉCANIQUE

A L'HORLOGERIE.

(SUITE.)

Par M. H. RÉSAL, ingénieur des mines.

DES ÉCHAPPEMENTS.

§ I. — GÉNÉRALITÉS.

1. On désigne en horlogerie, sous le nom d'*échappement*, une pièce qui, à des intervalles égaux autant que possible, arrête et laisse échapper successivement les dents d'une roue, dite d'*échappement*, qui fait partie du corps de rouages du chronomètre.

L'échappement a ainsi pour effet : 1° d'empêcher le corps de rouages de prendre, sous l'action de la force motrice, un mouvement accéléré qui s'annulerait au bout de quelques instants avec l'intensité de cette force ; 2° de produire dans le corps de rouages des déplacements successifs intermittents de même durée et également espacés, d'où résulte dans le jeu de chaque aiguille un mouvement moyen que l'on peut considérer comme continu et uniforme, en raison de la petitesse des déplacements et des intermittences.

L'élément principal d'un *échappement*, quel que soit le système auquel il appartient (*), est une pièce animée d'un

(*) Nous ne nous occuperons pas ici de l'échappement dit à *roue de rencontre* qui, par ses défauts, est généralement proscrit, même dans les montres communes.

mouvement circulaire oscillatoire isochrone. L'isochronisme est produit par le pendule dans les chronomètres fixes et par l'action du *ressort spiral* sur le *balancier* dans les chronomètres portatifs.

Les parties de l'échappement qui arrêtent les dents de la roue ou qui correspondent aux intermittences portent le nom de *repos*.

Toutefois, dans certains échappements, la période du repos est remplacée, par suite d'une forme spéciale, par un petit déplacement rétrograde de la roue, dans un but que nous ferons connaître un peu plus tard : d'où la distinction entre un *échappement à repos* et un *échappement à recul*.

Le frottement et la résistance de l'air auraient bientôt détruit le mouvement du *régulateur* (pendule ou balancier), et le chronomètre s'arrêterait, si ce mouvement n'était pas entretenu par la force motrice à l'aide de certaines dispositions; à cet effet, avant qu'un second repos ou recul commence, la dent qui vient de s'échapper va frapper, après que la roue a tourné librement (ou à peu près) d'un petit angle, une autre partie de l'échappement que l'on désigne sous le nom de *lèvre*, et communique à cette pièce une petite impulsion dans le sens de son mouvement actuel, impulsion qui est transmise ensuite au régulateur.

En principe, l'action du moteur sur le régulateur devrait se borner à cette simple impulsion et cesser immédiatement après; et, comme nous l'avons démontré dans un précédent mémoire, s'il en était ainsi, l'isochronisme ne serait pas modifié sensiblement par cette impulsion.

Mais si la force motrice continue encore à agir sur le régulateur pendant un instant, quelque court qu'il soit, comme son action peut être comparable et même supérieure à l'énergie de celle à qui est due l'isochronisme, et qu'elle suit une autre loi, il pourrait arriver que les durées des oscillations successives du régulateur fussent assez

différentes les unes des autres pour altérer notablement la régularité de la marche du chronomètre.

Les échappements qui se trouvent dans les conditions les plus rationnelles peuvent donc se diviser en deux catégories : 1° Les échappements dans lesquels le dégagement entre une dent de la roue et la lèvre correspondante a lieu presque instantanément après l'impulsion communiquée à cette pièce. Dans ce cas, l'échappement peut être monté sur le même axe que le régulateur. Telles sont les différentes variétés de *l'échappement à détente*, appliqué aux chronomètres de marine et aux montres de prix, et qui rentre dans la catégorie des échappements *libres*, c'est-à-dire qui sont soustraits à l'action continue de la force motrice. 2° Les échappements dans lesquels le contact, ayant encore lieu entre une lèvre et une dent, pendant quelques instants après l'impulsion, sont montés sur un axe parallèle à celui du régulateur ; l'impulsion est communiquée par l'échappement au régulateur, au moyen d'une disposition qui permet, presque instantanément, le dégagement de cette dernière pièce devenue libre, pour toute l'étendue du contact de la lèvre et de la dent. Cette condition est remplie par *l'échappement à ancre des montres*, échappement qui est également libre, mais qui est moins sensible que le précédent en raison de la masse des pièces mises en mouvement, au point de vue de l'inertie et des frottements sur les pivots qui en résultent.

Il y a en outre les échappement montés sur l'arbre du balancier, dont le mouvement se trouve influencé par la force motrice pendant toute la durée du contact de la roue d'échappement et d'une lèvre: tel est *l'échappement à cylindre*, qui n'est plus libre sous aucun rapport. On s'explique ainsi pourquoi, malgré sa facilité d'exécution, ce dernier échappement n'est appliqué que dans les montres d'une valeur secondaire.

Les échappements à ancre de Grahanm pour les pendules

et les horloges, et l'échappement à chevilles des horloges sont soumis aux mêmes irrégularités que le précédent, mais elles peuvent être notablement amoindries en donnant au balancier une masse convenable, ce que permet d'ailleurs le dispositif de l'appareil.

Lorsque le balancier est dans sa position moyenne ou au milieu de sa course (c'est-à-dire lorsque chacun de ses points se trouve au milieu de l'arc qu'il décrit dans une oscillation complète), chaque demi-oscillation se décompose en deux parties. Dans la première, la force motrice, par l'intermédiaire de la voie d'échappement et de l'échappement, agit sur le balancier pour les motifs que nous avons indiqués plus haut; l'angle décrit est l'angle de *levée* (l'arc de levée des horlogers); dans la seconde, le balancier se meut librement sous l'influence du spiral ou de la pesanteur, selon les cas, et décrit, jusqu'au moment où la vitesse angulaire s'annule, *l'angle complémentaire*, c'est-à-dire la différence entre la demi-amplitude et l'angle de levée. Le balancier revient ensuite sur ses pas en décrivant librement l'angle complémentaire, puis sous l'action du rouage sur l'étendue de l'angle de levée, la demi-oscillation ascendante suivante suit la même marche que la première et ainsi de suite.

Nous allons maintenant chercher à étudier les propriétés des principaux types des trois genres d'échappement, en évitant autant que possible d'entrer dans les détails qui ne sont utiles qu'au point de vue technique et pour lesquels nous renverrons aux ouvrages spéciaux sur l'horlogerie.

Toute la théorie des échappements est comprise dans les trois propositions suivantes que nous établirons sous la forme de lemmes.

2. Premier lemme. — *Une lame élastique rectiligne* abc (*fig.* 1) *à section constante, encastrée à l'une de ses extrémités* a, *est sollicitée à son autre extrémité* c *par une force* p *perpendiculaire à sa direction et par une force* q *parallèle à la précédente, mais de sens contraire appliquée en un point* b. *On propose de trouver les expressions de ces deux forces en fonction des déplacements de leurs points d'application, lorsque la lame est parvenue à son état d'équilibre.*

Soient :

$ac = l$ la longuenr de la lame; $cb = \lambda l$, λ étant une fraction connue;

b_1, c_1 les positions que prennent les points b et c, lorsque la lame a pris sa forme d'équilibre sous l'action des forces p et q; μ le moment d'élasticité de la lame.

Nous prendrons la direction de ac pour axe des x, et sa perpendiculaire en a, menée dans le sens de p pour axe des y.

Pour l'objet qui nous occupe, il nous suffit de considérer le cas d'une faible flexion. La variation de la longueur de la lame supposée réduite à sa fibre moyenne étant nulle, les droites $cc_1 = c$, $bb_1 = b$ seront les ordonnées respectives des points c_1 et b_1.

D'après une formule connue de la théorie de la résistance des matériaux, applicable aux faibles flexions, on a, pour l'équation différentielle de la courbe b_1c_1 :

$$\mu \frac{d^2y}{dx^2} = p(l-x),$$

d'où, en intégrant et désignant par cc' deux constantes arbitraires,

$$(a) \qquad \begin{cases} \mu \dfrac{dy}{dx} = px\left(l - \dfrac{x}{2}\right) + C, \\ \mu y = p\dfrac{x^2}{2}\left(l - \dfrac{x}{3}\right) + Cx + C', \end{cases}$$

et puisque la courbe passe par les points b_1 et c_1, on a les relations :

$$\mu c = p\frac{l^3}{3} + Cl + C',$$

$$\mu b = p\frac{l^3}{3}\left(\frac{1}{3} - \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda^3}{6}\right) + Cl(1-\lambda) + C',$$

par suite

$$\mu\frac{(c-b)}{l\lambda} = \frac{pl^2}{2}\left(1 - \frac{\lambda^2}{3}\right) + C.$$

En désignant par α l'inclinaison de la tangente au point b sur l'axe des x, la seconde des formules (a) donne :

$$\mu \operatorname{tang}\alpha = \frac{pl^2}{2}(1-\lambda^2) + C,$$

d'où

$$(b) \qquad \mu \operatorname{tang}\alpha = \frac{\mu(c-b)}{l\lambda} - \frac{1}{3}pl^2\lambda^2.$$

Pour la courbe ab_1, qui part du point a et qui est tangente à ax en ce point, on a :

$$\mu\frac{d^2y}{dx^2} = p(l-x) - q[l(1-\lambda)-x] = [p-q(1-\lambda)]l - (p-q)x$$

$$\mu\frac{dy}{dx} = [p-q(1-\lambda)]lx - \frac{x^2}{2}(p-q),$$

$$\mu y = [p-q(1-\lambda)]\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}(p-q).$$

En exprimant que cette courbe passe par le point b_1 et qu'elle est tangente en ce point à b_1c_1, on trouve :

$$(c) \qquad p\left(\left(1+\frac{\lambda}{2}\right)(1-\lambda) - q(1-\lambda)^2 = \frac{3\mu b}{l^3(1-\lambda)},\right.$$

$$\mu \operatorname{tang}\alpha = \frac{l^2}{2}[p(1-\lambda^2) - q(1-\lambda)^2],$$

d'où en vertu de l'équation (b),

$$(d) \qquad p\left(1-\frac{\lambda^2}{3}\right) - q(1-\lambda)^2 = 2\mu\frac{(c-b)}{l^3\lambda}.$$

Enfin des équations (c) et (d) on tire

$$(A)\begin{cases} p = \dfrac{2\mu}{l^3\lambda\left(1+\dfrac{\lambda}{3}\right)}\left[2\dfrac{(c-b)}{\lambda} - \dfrac{3b}{1-\lambda}\right] \\ q(1-\lambda)^2 = \dfrac{2\mu}{l^3\lambda}\left[\dfrac{1-\dfrac{\lambda^3}{3}}{1+\dfrac{\lambda}{3}}\left(2\dfrac{(c-b)}{\lambda} - \dfrac{3b}{1-\lambda}\right) - 2(c-b)\right] \end{cases}$$

Ces formules permettront notamment de calculer les pressions exercées par une lame encastrée à une de ses extrémités, sur des appuis placés à deux points donnés, comme l'indique la figure, et qui feront fléchir la lame de manière à ce qu'elle passe par ces deux points.

3. *Cas particulier.*—Si les points c et b sont assez rapprochés l'un de l'autre pour que la fraction λ soit négligeable devant l'unité, les formules (A) se simplifient et donnent

$$p = q = 4\mu\frac{(c-b)}{l^3\lambda^2},$$

et enfin si le point b est assujetti à ne pas se déplacer (*fig.* 2), on a tout simplement

$$(B) \qquad p = q = \frac{4\mu c}{l^3\lambda^2},$$

quantité qui sera toujours petite lorsque, comme nous le supposerons toujours, les dimensions transversales de la lame, de même que c, seront au plus de l'ordre de λl ; car alors p et q seront du troisième ordre en λ.

4. Deuxième lemme. — *Calcul du moment auquel donne lieu un petit déplacement angulaire de l'extrémité extérieure d'un ressort spiral.* — Considérons une lame d'une section constante, affectant à l'état naturel la forme d'une spirale

d'Archimède, encastrée à ses deux extrémités dans des pièces assujetties à rester respectivement à des distances constantes de l'origine de la courbe. Supposons que l'encastrement intérieur soit fixe, et que sa distance à l'origine soit assez grande pour que plusieurs spires centrales (trois ou quatre au moins) soient supprimées, tandis que l'encastrement extérieur ait la faculté d'éprouver un déplacement rotatoire autour de l'origine géométrique de la spirale. Nous nous trouverons dans les conditions du ressort spiral de l'échappement libre dit *à bascule*, que nous avons principalement en vue de considérer, et pour lequel le déplacement angulaire de l'encastrement extérieur est très-petit.

Mais avant d'aborder cette question, nous allons, sinon établir, du moins rappeler quelques propriétés fondamentales de la spirale d'Archimède.

Soient :

$r = a\theta$ l'équation polaire de la courbe ;

V l'angle formé par la tangente avec le rayon vecteur correspondant ;

s la longueur de l'arc compté à partir du point dont les coordonnées sont r_0 et θ_0 ;

γ le rayon de courbure de la courbe.

On a :

$$\operatorname{tang} V = r\frac{d\theta}{dr} = \theta. \quad \cos V = \frac{1}{\sqrt{1+\theta^2}}, \quad \sin V = \frac{\theta}{\sqrt{1+\theta^2}},$$

$$ds^2 = a^2(1+\theta^2)\,d\theta, \qquad s = a\int_{\theta_0}^{\theta}\sqrt{1+\theta^2}\,d\theta,$$

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{d\theta + dv}{ds} = \frac{2+\theta^2}{a(1+a^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

L'angle θ_0 correspondant à l'encastrement extérieur du ressort spiral, est, comme nous l'avons supposé, au moins égal à trois ou quatre fois 2π. On peut sans inconvénient négliger l'unité devant θ^2, et les formules précédentes donnent :

$$(c)\quad \begin{cases} \cos V = \dfrac{1}{\theta} \quad \sin V = 1, \quad V = \dfrac{\pi}{2} - \dfrac{1}{\theta}, \\ s = a\left(\dfrac{\theta^2 - \theta_0^2}{2}\right) = \dfrac{r^2 - r_0^2}{2a}; \quad \theta = \sqrt{\dfrac{2s}{a} + \dfrac{r_0^2}{a^2}}, \\ V = a\theta = r = \sqrt{2sa + r_0^2}. \end{cases}$$

Cela posé, soient (*fig.* 3) :

O l'origine géométrique de la courbe ;

A_0 le point d'encastrement intérieur et fixe de la lame ;

A_1 son point d'encastrement extérieur, assujetti à rester à une distance constante du point O ;

r, r_1, r_0 les rayons vecteurs partant du point O et aboutissant respectivement à un point quelconque m de la spirale, et aux points A_1, A_0 ;

θ, θ_1, θ_0 les angles polaires correspondants ;

x, y les coordonnées du point m par rapport à la droite Ox qui joint les points O et A_0 et à sa perpendiculaire au premier de ces points.

μ le moment d'élasticité de la lame. Le nombre des spires comprises entre les points O et A_1 étant assez grand, comme nous l'avons supposé, on peut, sans erreur appréciable, considérer l'encastrement en A_1 comme étant perpendiculaire au rayon vecteur correspondant.

Soient de plus :

$\delta\theta_1$ la variation que l'on fait éprouver à l'angle θ_1 et dont nous négligerons les puissances supérieures à la première ;

x', y' ce que deviennent les coordonnées du point m après la déformation ;

ρ le rayon de courbure correspondant ;

μP, μQ les réactions normale et tangentielle de l'encastrement A_1 sur le ressort ;

$a\mu C$ le moment des forces élastiques développées dans la section normale au ressort en A_1 par rapport au centre de gravité de cette section, augmenté du moment de la force

μP par rapport au point O. C'est ce que l'on peut appeler moment moteur du ressort.

Nous négligerons, comme on le fait d'habitude et pour des motifs exposés dans les ouvrages spéciaux sur la théorie de la résistance des matériaux, et sur lesquels nous n'avons pas à revenir, l'allongement proportionnel de la fibre moyenne du ressort dû aux forces μP et μQ, et nous estimerons, de la même manière, les moments des forces qui sollicitent une portion quelconque du spiral comme s'il ne s'était pas déformé.

En appelant S la longueur totale du ressort, on a

$$(d) \qquad S = a\frac{(\theta_1^2 - \theta_0^2)}{2}, \quad r_1 = a\theta_1.$$

La composante de la force élastique dans la section correspondant au rayon Om, perpendiculaire à ce rayon, est égale et contraire à la projection sur la même direction des forces μP et μQ, et a pour expression

$$\mu\Big[P\cos(\theta_1 - \theta) - Q\sin(\theta_1 - \theta)\Big],$$

et l'on a par suite pour l'équation d'équilibre de la lame

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\gamma} = aC - a\theta\Big[P\cos(\theta_1 - \theta) - Q\sin(\theta_1 - \theta)\Big],$$

ou, en désignant par α et β les angles que forme avec Ox la tangente en m avant et après la déformation,

$$d\frac{(\beta - \alpha)}{ds} = aC - a\theta\Big[P\cos(\theta_1 - \theta) - Q\sin(\theta_1 - \theta)\Big],$$

et enfin en remarquant que $ds = a\theta d\theta$,

$$\frac{\beta - \alpha}{a} = C\frac{(\theta^2 - \theta_0^2)}{2} - P\int_{\theta_0}^{\theta} \theta^2\cos(\theta_1 - \theta)d\theta + Q\int_{\theta_0}^{\theta_1} \theta^2\sin(\theta_1 - \theta)d\theta.$$

La constante introduite par l'intégration est nulle à cause de la fixité de l'encastrement en A_0 qui fait que $\alpha = \beta$ pour $\theta = \theta_0$.

En effectuant les intégrations, on trouve en continuant le mode d'approximation adopté,

$$(c)\begin{cases} \dfrac{\beta - \alpha}{a^2} = C\dfrac{(\theta^2 - \theta_0^2}{2} + P\Big[\theta^2\sin(\theta_1 - \theta) - 2\theta\cos(\theta_1 - \theta)\Big]_{\theta_0}^{\theta} + \\ \qquad + L\Big[\theta^2\cos(\theta_1 - \theta) + 2\theta\sin(\theta_1 - \theta)\Big]_{\theta_0}^{\theta}. \end{cases}$$

Pour simplifier les formules, nous supposerons dorénavant que les angles θ_0 et θ_1 correspondent chacun à un nombre entier de spires, et alors le sinus de la somme ou de la différence de multiples de ces angles sera nul, tandis que le cosinus sera égal à l'unité.

Au point A, l'angle $\beta - \alpha$ est égal à $\delta\theta_1$ et par suite

$$(1) \qquad \frac{\delta\theta_1}{a^2} = C\frac{(\theta_1^2 - \theta_0^2)}{2} - 2P(\theta_1 - \theta) + Q(\theta_1^2 - \theta_0^2),$$

ce qui donne une première relation entre P, Q, C et $\delta\theta_1$.

Posons $\alpha - \beta = \varepsilon$, et négligeons le quarré de ε; nous aurons :

$$\cos\beta = \cos\alpha - \sin\alpha\,.\,\varepsilon,$$
$$\sin\beta = \sin\alpha + \delta\cos\alpha,$$
$$\cos\beta = \frac{dx'}{ds'}, \quad \sin\beta = \frac{dy'}{ds},$$
$$\cos\alpha = \frac{dx}{ds}, \quad \sin\alpha = \frac{dy}{ds},$$

d'où

$$(f)\begin{cases} x - x' = -a\displaystyle\int_{\theta_0}^{\theta} \sin\alpha\,.\,\varepsilon\theta d\theta, \\ y - y' = a\displaystyle\int_{\theta_0}^{\theta} \cos\alpha\,.\,\varepsilon\theta d\theta. \end{cases}$$

Les constantes introduites par l'intégration sont nulles,

puisque pour $\theta = \theta_0$, les coordonnées restent les mêmes après la déformation qu'auparavant. D'après ce que nous avons vu plus haut, on pourra prendre $\alpha = \frac{\pi}{2} + \theta$, par suite:

$$x - x' = -a \int_{\theta_0}^{\theta} \sin \theta . \varepsilon . \theta d\theta,$$

$$y - y' = -a \int_{\theta_0}^{\theta} \cos \theta . \varepsilon . \theta d\theta.$$

Pour $\theta = \theta_1$ on a $x = x'$ et $y = r_1 \delta\theta_1 = a\delta\theta_1$, et en effectuant les intégrations, on trouve :

$$(2) \begin{cases} 3C(\theta_1^2 - \theta_0^2) - \frac{P}{6}(\theta_1^3 - \theta_0^3) + \frac{Q}{4}(\theta_1^4 - \theta_0^4) = 0, \\ C\theta_1(\theta_1^2 - \theta_0^2) + \frac{P}{4}(\theta_1^4 - \theta_0^4) + Q\left[\frac{7}{6}\theta_1^3 + \frac{5}{6}\theta_1^3 - 2\theta^3{}_0\theta_1\right] = \\ = \frac{2\theta_1\delta\theta_1}{a^2}. \end{cases}$$

De l'équation (1) on tire

$$C + 2Q = \frac{2\delta\theta_1}{a^2(\theta_1^2 - \theta_0^2)},$$

et les précédentes deviennent par l'élimination de Q

$$C\left[\frac{72(\theta_1^2 - \theta_0^2) - 3(\theta_1 - \theta_0^4)}{\theta_1^3 - \theta_0^3}\right] - 4P = -\frac{6\delta\theta_1(\theta_1^4 - \theta_0^4)}{a^2(\theta_0^2 - \theta_0^2)(\theta_1^3 - \theta_0^3)},$$

$$5C\frac{(\theta_1^3 - \theta_0^3)}{(\theta_1^4 - \theta_0^4)} + 3P = \frac{24\theta_1\delta\theta_1}{a^2(\theta_1^4 - \theta_0^4)},$$

d'où l'on déduira facilement C.

Supposons que $\frac{\theta_0}{\theta_1}$ soit une assez petite fraction pour que l'on puisse en négliger le quarré devant l'unité, on aura :

$$C = 6\frac{\delta\theta_1}{a^2\theta_1^3}\left[\frac{3\theta_1^2 - 16}{9\theta_1^2 - 236}\right],$$

et si le ressort a seulement sept ou huit spires, cette formule se simplifie encore et peut être remplacée par la suivante :

$$C = \frac{2\delta\theta_0}{\theta^2\theta_1^2},$$

et en désignant par M le moment moteur qu'il s'agit de déterminer, on a

$$(3) \qquad M = a\mu C = \frac{2\mu\delta\theta_1}{a_1\theta_1^2} = \frac{\mu}{S}\delta\theta_1,$$

et ce moment est ainsi égal à celui qui serait nécessaire pour faire fléchir de l'angle $\delta\theta_1$ l'extrémité d'une lame droite de même section, de même nature et de même longueur que le ressort dont nous nous sommes occupé. Q est une quantité de la grandeur de celles que l'on néglige, et l'on a :

$$\mu P = \frac{14\mu}{3}\frac{\delta\theta_1}{a^2\theta_1^2} = \frac{14\mu\delta\theta_1}{3r_1^2}.$$

5. Troisième lemme. — *Du choc de deux corps tournant autour d'axes parallèles.*

Deux corps S, S' mobiles autour de deux axes parallèles viennent à se choquer de manière que leur plan tangent commun au point de contact, soit perpendiculaire au plan des axes. Proposons-nous de déterminer le mouvement qu'ils prennent après le choc. Nous prendrons pour plan de la figure, celui qui est mené du point de contact m perpendiculairement à la direction des axes, et nous serons ramené à considérer géométriquement les sections faites dans ces deux corps par ce plan à la direction des axes.

Soient (*fig* 4) :

O, O' les traces des axes de S et de S' qui sera par exemple le corps choquant;

ω_0, ω'_0 les vitesses angulaires correspondantes au moment où le choc commence ; nous les supposerons de sens con-

traire, la première, par exemple, ayant lieu de la gauche vers la droite;

ω_1, ω'_1 les vitesses angulaires des mêmes corps à la fin du choc;

I, I′ les moments d'inertie de S, S′ autour de leurs axes respectifs;

p, p' les distances de O, O′ à la normale commune en m aux deux courbes déterminées par le plan de la figure dans les surfaces des deux corps;

q, q' les distances des mêmes points à la tangente commune à ces courbes;

N la réaction normale en m entre les deux corps à un instant quelconque du choc;

ω, ω' les vitesses angulaires de S, S′ au même instant.

Pendant la durée du choc les surfaces des deux corps éprouveront un glissement de l'une sur l'autre, et la réaction N engendrera par suite un frottement Nf.

Nous ne considérons que le cas où le choc ne modifie pas le sens des vitesses angulaires, en supposant que le diamètre des tourillons soit assez petit pour que l'on puisse négliger les frottements auxquels ils donnent lieu.

Pour déterminer le sens du frottement sur chacun des corps S, S′ nous pourrons supposer qu'ils soient complétement invariables de forme. Si dans cette hypothèse on imprime au système de S, S′ une vitesse angulaire égale et contraire à ω' de manière à ramener ce dernier corps au repos, le centre instantané de S viendra se placer sur O, O′ en un point I déterminé par la relation

$$\omega' \cdot O'I = \omega \cdot OI,$$

et comme S glisse sur S′, mI est la normale commune aux deux profils; dès lors on voit que le frottement sur S est dirigé suivant ma, et par suite, suivant ma' sur S′.

De la relation ci-dessus on déduit la suivante

$$(1) \qquad \frac{\omega'}{\omega} = \frac{p'}{p},$$

qui exprime que les composantes normales des vitesses des deux corps au point m sont égales et de même sens, ce que l'on devait prévoir.

Nous aurons donc, quel que soit le degré d'élasticité des deux corps,

$$(2) \qquad I\frac{d\omega}{dt} = (p + fq)N,$$

$$I'\frac{d\omega'}{dt} = -(p' + fq')N,$$

d'où en éliminant N et intégrant pour toute la durée du choc,

$$(3) \qquad \omega_1 - \omega_0 = -\frac{I'(p + fq)}{I(p' + fq')}(\omega'_1 - \omega'_0),$$

Si deux corps après s'être choqués, reprennent exactement leur forme primitive, on dit qu'ils sont *parfaitement élastiques*, et leur force vive est la même après qu'avant la collision, ce qui définit analytiquement la nature de ces corps; car le travail moléculaire développé s'annule quand les distances intermoléculaires redeviennent les mêmes. Il y a très-peu de corps que l'on puisse considérer comme parfaitement élastiques, et encore pour des chocs dont l'énergie ne dépasse pas une certaine limite.

6. Les deux corps sont *complétement dénués d'élasticité ou sont mous*, lorsque leur déformation va en augmentant pendant toute la durée du choc, qui cesse lorsque leurs vitesses au point de contact, estimées suivant la normale, sont égales entre elles. D'après ce que l'on a vu plus haut, on a :

$$(4) \qquad \frac{\omega'_1}{\omega_1} = \frac{p}{p'},$$

et le point I est la trace de l'axe instantané de rotation dans le mouvement relatif, après le choc, de l'un des corps par rapport à l'autre.

En général les corps ne sont ni mous ni complétement élastiques; dans une première partie de la durée du choc, leur déformation va d'abord en croissant jusqu'à une certaine limite, puis en décroissant dans la seconde partie de cette durée sans qu'elle s'annule complétement. La déformation permanente des corps, lorsqu'ils sont sur le point de se séparer a nécessité une dépense de travail neutralisant le travail résistant des actions moléculaires. Ce travail moléculaire, nul pour les corps parfaitement élastiques, atteint son maximum pour les corps mous. Ce maximum, d'après le théorème de Carnot est représenté par la demi-force vive des corps due aux vitesses perdues, soit dans le problème actuel par

$$-\frac{1}{2}[\mathrm{I}(\omega_1-\omega_0)^2+\mathrm{I}'(\omega'_1-\omega'_0)^2].$$

Dans le cas ordinaire des corps semi-élastiques, on pourra prendre pour l'expression de ce travail :

$$-\frac{\varepsilon}{2}[\mathrm{I}(\omega_1-\omega_0)^2+\mathrm{I}'(\omega'_1-\omega'_0)^2],$$

ε désignant une fraction qui dépend de la nature des corps choquants.

Il nous reste maintenant à trouver l'expression du travail relatif au frottement Nf. Les vitesses des corps S, S' au point m étant, $q\omega$, $q\omega'$, à un instant quelconque de la durée du choc, on a pour l'expression de ce travail :

$$fq\int \mathrm{N}\omega dt - fq'\int \mathrm{N}\omega' dt,$$

ou, en vertu des équations (2),

$$\frac{1}{2}\frac{fq\mathrm{I}}{p+fq}(\omega_1^2-\omega_0^2)+\frac{1}{2}\frac{fq'\mathrm{I}'}{p'+fq'}(\omega'^2_1-\omega'^2_0).$$

Le principe des forces vives donne donc :

$$\mathrm{I}(\omega_1^2+\omega_0^2)+\mathrm{I}'(\omega'^2_1-\omega'^2_0)=-\varepsilon[\mathrm{I}(\omega_1-\omega_0)^2+\mathrm{I}'(\omega'^2_1-\omega'^2_0]+$$
$$+\frac{fq\mathrm{I}}{p+fq}(\omega_1^2-\omega_0^2)+\frac{fq'\mathrm{I}'}{p'+fq'}(\omega'^2_1-\omega'^2_0),$$

ou

$$(5)\quad\begin{cases}\mathrm{I}(\omega_1-\omega_0)\left[\left(1-\dfrac{fq}{p+fq}\right)(\omega_1+\omega_0)+\varepsilon(\omega_1-\omega_0)\right]+\\ +\mathrm{I}'(\omega'_1-\omega'_0)\left[\left(1-\dfrac{fq'}{p'+fq'}\right)(\omega'_1+\omega'_0)+\varepsilon(\omega'_1-\omega'_0)\right]=0,\end{cases}$$

ou encore, en vertu de l'équation (3),

$$(6)\quad\begin{cases}\left(1+\varepsilon-\dfrac{fq}{p+fq}\right)(\omega_1-\omega_0)-\dfrac{\mathrm{I}p'+fq'}{\mathrm{I}'p+fq}\left(1+\varepsilon-\dfrac{fq'}{p'+fq'}\right)(\omega'_1-\omega'_0)=\\ =2\left[\dfrac{p'+fq'}{p+fq}\left(1-\dfrac{fq'}{p'+fq'}\right)\omega'_0-\left(1-\dfrac{fq}{p+fq}\right)\omega_1\right]\end{cases}$$

et

$$(7)\quad\begin{cases}(\omega_1-\omega_0)\left[1+\varepsilon-\dfrac{fq}{p+fq}+\dfrac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}\left(\dfrac{p'+fq'}{p+fq}\right)^2\left(1+\varepsilon-\dfrac{fq'}{p'+fq'}\right)\right]=\\ =2\left[\dfrac{p'+fq'}{p+fq}\left(1-\dfrac{fq'}{p'+fq'}\right)\omega'_0-\omega_0\left(1-\dfrac{fq}{p+fq}\right)\right].\end{cases}$$

Si l'on néglige le quarré du frottement comme on le fait d'habitude dans les questions de cette nature, il vient

$$(\omega_1-\omega_0)\left[(1+\varepsilon)\left(1+\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}\frac{p'^2}{p^2}\right)-f\left(\frac{q}{p}+\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}\frac{p'^2}{p^2}\cdot\frac{q'}{q}-2\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}(1+\varepsilon)\frac{p'}{p}\frac{pq'-qp'}{p^2}\right)\right]=$$
$$=2\left(\omega'_0\frac{p'}{p}-\omega_0\right)+\frac{fq}{p}\left(\omega_0-\omega'_0\frac{p'}{p}\right),$$

d'où

$$\omega_1-\omega_0=2\frac{(\omega'_0p'-\omega_0p_0)}{p(1+\varepsilon)\left(1+\dfrac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}\dfrac{p'^2}{p^2}\right)}\left[\frac{1-f\dfrac{q}{p}+f\left(\dfrac{q}{p}+\dfrac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}\dfrac{p'^2}{p^2}\dfrac{q'}{q}-2\dfrac{\mathrm{I}'}{\mathrm{I}}(1+\varepsilon)\dfrac{p'}{p}\dfrac{pq'-qp'}{p^2}\right)}{(1+\varepsilon)\left(1+\dfrac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}\dfrac{p'^2}{p^2}\right)}\right]$$

formule dont on déduira $\omega'_1-\omega'_0$ par une simple transformation de lettres.

Avant d'aller plus loin nous ferons remarquer que pour qu'il y ait choc du corps S′ contre le corps S, il faut que l'on ait :

$$\omega_0 p_0 < \omega'_0 p_0,$$

ou que la quantité $\omega'_0 p'_0 - \omega_0 p_0$ qui entre au numérateur du second nombre de l'équation (8) soit positive; car cette quantité est la projection sur la normale mI de la vitesse relative du point de S′ en vertu de laquelle il parcourt dans l'instant qui précède le choc l'élément de chemin qui le sépare du point correspondant du corps choqué, et il faut pour qu'il y ait rencontre que cette vitesse soit positive.

7. *Cas particulier.* — Lorsque le choc a lieu sur la ligne des autres OO′, et de telle manière que la normale au point de contact soit perpendiculaire à sa direction, le frottement disparaît de la formule (8), comme on devait s'y attendre, et en désignant d'une manière générale par w la vitesse du point de contact, cette formule donne :

$$(9) \qquad w_1 = -\frac{(1-\varepsilon)}{1+\varepsilon} w_0 + \frac{2}{1+\varepsilon} \frac{w_0 \mathrm{I} p'^2 + w'_0 \mathrm{I}' p^2}{\mathrm{I}' p^2 + \mathrm{I} p'^2}.$$

En permutant les lettres pour obtenir w_1', on voit que le second terme du second membre ne change pas de valeur, et comme c'est le seul qui reste dans le cas des corps mous ou de $\varepsilon = 0$, on a $w_1 = w'_1$, ce qui vérifie le principe de Carnot.

En général on a cette relation remarquable :

$$(10) \qquad w_1 - w_0 = \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}(w'_0 - w'_1).$$

Si à l'instant où le choc a lieu le corps choqué est en repos, on a $w_0 = 0$, et

$$(11) \qquad \begin{cases} w_1 = \dfrac{\varepsilon}{1+\varepsilon} w'_0 \cdot \dfrac{\mathrm{I}' p^2}{\mathrm{I}' p^2 + \mathrm{I} p'^2} \\ w'_1 = \dfrac{w'_0}{1+\varepsilon}\left(-1 + \varepsilon + \dfrac{2\mathrm{I}' p^2}{\mathrm{I}' p^2 + \mathrm{I} p'^2}\right) \end{cases}$$

8. Considérons maintenant un troisième corps S″ tournant autour d'un axe fixe O″ parallèle aux axes O et O′, et choqué par S au moment même où ce dernier corps l'est par S′; supposons que le contact de S et S″ ait lieu en un point de OO′ et que cette droite soit la tangente commune aux profils des deux corps en ce point; enfin que par suite d'une disposition particulière, les vitesses de S et S″ en leur point de contact soient les mêmes avant comme après le choc.

Soient :

I″ le moment d'inertie de s'' autour de son axe;

p'' la distance du point de contact avec s au point o'';

ω_0'', ω_1'' les vitesses angulaires de ce même corps avant et après le choc;

a la distance au point O du point de contact de S et S″;

N′ la réaction au contact de chacun de ces deux corps sur l'autre à un instant quelconque du choc.

On a en conservant les autres notations du numéro précédent :

$$(12) \qquad \begin{cases} \mathrm{I}(\omega_1 - \omega_0) = (p + fq)\int \mathrm{N} dt - a\int \mathrm{N}' dt, \\ \mathrm{I}'(\omega'_1 - \omega'_0) = -(p' + fq')\int \mathrm{N} dt, \\ \mathrm{I}''(\omega''_1 - \omega'''_1) = p''\int \mathrm{N} dt. \end{cases}$$

Mais, par hypothèse,

$$\omega''_0 = \omega_0 \frac{a}{p''}, \qquad \omega''_1 = \omega''_1 \frac{a}{p''},$$

par suite

$$\int \mathrm{N}' dt = \mathrm{I}'' \frac{a}{p''^2}(\omega_1 - \omega_0).$$

La première des équations (12) devient :

$$(13) \qquad (\omega_1 - \omega_0)\left(I + I''\frac{a^2}{p''^2}\right) = (p + fq)\int N dt,$$

qui, réunie à la seconde de ces équations, fera connaître les éléments du problème.

Mais il est visible qu'il est inutile de recommencer les calculs que nous avons faits plus haut, et qu'il suffit de remplacer dans l'équation (8) I par $I + \frac{I''a^2}{p''^2}$. On voit donc que *l'influence du corps choqué par réaction, produit le même effet que si en le supprimant, on augmentait le moment d'inertie du corps choqué directement, du moment d'inertie du précédent, multiplié par le carré des distances du point de contact à l'axe du dernier de ces corps et à celui de l'autre corps.*

9. Quatrième lemme. — *Détermination du point où viennent à se rencontrer deux corps tournant autour d'axes parallèles après avoir été en contact, le corps choquant partant du repos.*

Nous supposerons que les deux corps sont de forme cylindrique et que les génératrices de leurs surfaces soient parallèles à la direction des axes; le tout revient par suite à raisonner sur la figure résultant de la section faite dans les deux corps par un plan perpendiculaire aux axes et que nous prendrons pour plan de la figure.

Soient (*fig.* 5) :

S, S' les deux corps tournant autour des axes projetés en O, O'.

ac et *ab* les surfaces de ces corps à un instant tel que S est en repos et s'appuie en *a* contre S' sans qu'il y ait en ce point un plan tangent commun aux deux surfaces.

ω' la vitesse angulaire de S' supposée constante et ayant lieu de la droite vers la gauche.

φ l'accélération angulaire de S, également supposée constante, mais ayant lieu en sens inverse de ω', c'est-à-dire de la gauche vers la droite.

A l'instant qui suit celui que nous considérons, S' en vertu de la rotation ω', se sépare de S qui lui-même prend un mouvement accéléré ; mais au bout d'un certain temps, qui sera très-petit, si, comme nous le supposerons, φ est très-grand par rapport à ω', les deux corps se rencontreront en ayant en leur point de contact le même plan tangent. Soient $a'b'$ la nouvelle position de *ab*.

m le point de contact ;

a_1 la nouvelle position du point de *ac* primitivement en *a*

$$r = Oa = Oa_1, \qquad Om = r + \delta r,$$
$$r' = O'a = O'a', \qquad O'm = r' + \delta r',$$
$$\widehat{O'Oa} = \alpha, \qquad \widehat{O'Om} = \alpha + \delta\alpha,$$
$$\widehat{OO'a} = \alpha, \qquad \widehat{OO'm} = \alpha' + \delta\alpha',$$

enfin

$$\delta n = \frac{\varphi t^2}{2} = a\widehat{Oa_1}, \qquad \delta n' = \omega' t = a'\widehat{O'a},$$

les déplacements angulaires éprouvés par S, S' au bout du temps *t* qui s'est écoulé jusqu'au moment du choc ;

d la distance des centres O, O' ;

*a*T, *a*'T' les tangentes en *a* aux courbes *ac* et *ab* ;

V, V' les angles qu'elles font respectivement avec *Oa*, *O'a*.

Nous ne conserverons que les premières puissances des variations ayant δ pour caractéristique.

On a évidemment :

$$(1) \qquad \begin{cases} r'\cos\alpha' + r\cos\alpha = d, \\ r'\cos\alpha' + r\sin\alpha = 0, \end{cases}$$

d'où

$$(2) \qquad \begin{cases} \delta r'\cos\alpha' + \delta r\cos\alpha - r'\sin\alpha'\delta\alpha' - r\sin\alpha\delta\alpha = 0, \\ \delta r'\sin\alpha' - \delta r\sin\alpha + r'\cos\alpha'\delta\alpha' - r\cos\alpha\delta\alpha = 0. \end{cases}$$

Nous supposerons que les deux courbes ab, ac sont rapportées respectivement aux centres O, O′ et à l'axe polaire OO′.

Si nous concevons que l'on ramène la courbe $a'b'$ en ab, on voit que l'angle polaire de m dans sa nouvelle position sera égal à α' diminué de l'angle

$$mO'a' = aO'a' - mO'a = \delta n - \delta\alpha',$$

et l'on a par suite

$$(a') \qquad \delta r' = \frac{dr'}{d\alpha}(\delta\alpha' - \delta n) = r' \cot V' (\delta\alpha' - \delta n').$$

On trouverait de même :

$$(a) \qquad \delta r = \frac{dr}{d\alpha}(\delta\alpha - \delta n) = r \cot V (\delta\alpha - \delta n),$$

et en substituant ces valeurs dans l'équation (2) et posant pour abréger :

$$(b) \qquad \frac{r'}{\sin V'} \cdot \frac{\sin V}{r} = m,$$

on trouve :

$$(3) \quad \begin{cases} m\delta\alpha' \cos(\alpha' + V') + \delta\alpha \cos(\alpha + V) = \\ \qquad = m \cos\alpha' \cos V' \delta n' + \cos\alpha \cos V \delta n, \\ m\delta\alpha' \sin(\alpha' + V') - \delta\alpha \sin(\alpha + V) = \\ \qquad = m \sin\alpha' \cos V' \delta\alpha' - \sin\alpha \cos V \delta n. \end{cases}$$

d'où

$$(4) \quad \begin{cases} \delta\alpha = \dfrac{m\delta' n \sin V' \cos V' + \delta n \cos V \sin(\alpha + \alpha' + V')}{\sin(\alpha + \alpha' + V + V')}, \\ m\delta\alpha' = \dfrac{m\delta n' \cos V' \sin(\alpha + \alpha' + V) + \delta n \sin V \cos V}{\sin(\alpha + \alpha' + V + V')}. \end{cases}$$

Soient :

A, A′ (*fig.* 6) les points où les directions des tangentes A′T et A″T′ rencontrent le prolongement O′x de OO′;

ε l'angle formé par AT avec le prolongement de aT′;

i l'angle formé par aT avec aO′;

i' l'angle compris sous aT′ et Oa.

La figure donne :

$$\widehat{x\,A\,a} = V + \alpha$$

$$\widehat{O'\,A'\,a} = V' + \alpha' - 180^\circ \quad \text{d'où} \quad \widehat{x\,A'\,a} = 360^\circ - V' - \alpha',$$

par suite

$$(c) \qquad \varepsilon = 360^\circ - (V + \alpha + V' + \alpha'),$$

et

$$\sin(\alpha + \alpha' + V + V') = -\sin\varepsilon.$$

Pour que le contact ait lieu à droite du point a', comme le suppose la figure, il faut évidemment que le point A se trouve entre A′ et O′; dans le cas contraire ce serait l'inverse, et il suffirait alors de changer le signe de ε.

Prolongeant Oa en aJ, on a :

$$\alpha + \alpha' + V = O'aJ + OaT = O'aJ + 180^\circ - TaJ = 180^\circ + i,$$

d'où

$$(d) \qquad \sin(\alpha + \alpha' + V) = -\sin i,$$

et l'on trouverait de même :

$$(d') \qquad \sin(\alpha + \alpha' + V') = -\sin i'.$$

Les formules (4) deviennent donc en ayant égard à ces valeurs et remplaçant m par son expression (*b*) :

$$(5) \quad \begin{cases} \delta\alpha = \dfrac{\sin i' r \cos V . \delta n - r' \sin V \cos V' . \delta n'}{r \sin\varepsilon}, \\ \delta\alpha' = \dfrac{\sin i r' \cos V' . \delta n' - r \sin V' \cos V . \delta n}{r' \sin\varepsilon}. \end{cases}$$

Ces formules peuvent s'interpréter géométriquement en

remarquant que $-r'\cos r'\delta n'$ est le déplacement éprouvé par le point a de S.

Nous avons ainsi deux relations entre les déplacements angulaires $\delta\alpha$, $\delta\alpha'$ en fonction de δn, $\delta n'$, ou du temps t qui est lui-même une inconnue de la question, il nous faut donc en trouver une troisième que nous obtiendrons en exprimant que les tangentes en m aux deux courbes coïncident.

De la relation

$$(e) \qquad \cot V = \frac{1}{r}\frac{dr}{d\alpha},$$

on tire :

$$\delta V = -\sin^2 V\left[-\frac{dr}{d\alpha}\frac{\delta r}{r^2} + \frac{1}{r}\frac{d^2r}{d\alpha^2}(\delta\alpha - \delta n)\right],$$

pour la variation éprouvée par l'angle V, correspondant à celle $\delta\alpha - \delta n$ de α, lorsque l'on va du point a de ac_1, au point de cette courbe correspondant à sa position $a'c'$. Au moyen des valeurs (a) et (d), cette formule se met facilement sous la forme :

$$(6) \qquad \delta V = \left(\cos^2 V - \frac{\sin^2 V}{r}\frac{d^2r}{d\alpha^2}\right)(\delta\alpha - \delta n).$$

Avant d'aller plus loin, nous allons chercher à interpréter géométriquement l'expression $\frac{1}{r}\frac{d^2r}{d\alpha^2}\sin^2 V$. En désignant par ρ le rayon de courbure de ac_1 en a, et remarquant que $d(V+\alpha)$ est l'angle de contingence et $\frac{dr}{\cos V}$ l'élément d'arc, on a :

$$(f) \qquad \frac{1}{\rho} = -\left(\frac{dV}{dr} + \frac{d\alpha}{dr}\right)\cos V = -\left(\frac{dV}{dr}\cos V + \frac{1}{r}\sin V\right).$$

Or, de la formule (e) on tire :

$$-\frac{1}{\sin^2 V}\frac{dV}{dr} = \frac{1}{r}\frac{d^2r}{d\alpha^2}\frac{d\alpha}{dr} - \frac{1}{r^2}\frac{dr}{d\alpha},$$

d'où

$$-\cos V\frac{dV}{dr} = \frac{1}{r^2}\frac{d^2r}{d\alpha^2}\sin^3 V - \frac{\sin V\cos^2 V}{r},$$

et

$$\frac{r}{\rho} = \frac{1}{r}\frac{d^2r}{d\alpha^2}\sin^3 V - \sin V\cos^2 V,$$

par suite

$$\sin^2 V\frac{d^2r}{d\alpha^2} = \frac{r^2}{\rho\sin V} - r(1+\cos^2 V),$$

expression que l'on construira géométriquement sans difficulté en remarquant que $\rho\sin V$ est la distance du point a à la projection du centre de courbure correspondant sur Oa, et que $r\cos^2 V$ est la projection de r sur la tangente reprojetée ensuite sur la direction de ce rayon.

Nous aurons donc :

$$(7) \qquad \begin{cases} \delta V = \left(1 + 2\cos^2 V - \dfrac{r}{\rho\sin V}\right)(\delta\alpha - \delta n), \\ \delta V' = \left(1 + 2\cos^2 V' - \dfrac{r'}{\rho'\sin V'}\right)(\delta\alpha' - \delta n'). \end{cases}$$

L'angle des deux tangentes en m, s'obtiendra en faisant varier V, V', o, α', les variations respectives de ces deux dernières quantités étant respectivement $\delta\alpha - \delta n$, $\delta\alpha' - \delta n'$: On a ainsi :

$$\varepsilon = \delta V + \delta\alpha + \delta V' + \delta\alpha',$$

ou

$$(8) \quad \varepsilon = (\delta\alpha - \delta n)\left[2(1+\cos^2 V) - \frac{r}{\rho\sin V}\right] + (\delta\alpha' - \delta n')\left[2(1+\cos^2 V') - \frac{r'}{\rho'\sin V'}\right].$$

On voit ainsi que pour que la collision des corps ait lieu comme on l'a supposé, il faut que l'angle ε soit très-petit, ce qui était visible *à priori*, et l'on pourra alors dans les expressions (5) remplacer $\sin\varepsilon$ par ε, avant de les substituer dans la formule (8). En remplaçant dans le résultat δn, $\delta n'$ par

leurs valeurs, on aura une équation du second degré qui permettra de calculer le temps t. Mais pour éviter une grande complication dans les formules, nous ne résoudrons complétement le problème que dans le cas suivant, le seul qui puisse nous intéresser dans la suite. Nous supposerons que l'angle $O'aO$ est égal à 90°.

Soient γ, γ' les angles aigus qui forment les directions des tangentes aT, aT' avec la perpendiculaire à Oa au point a menée dans le sens du mouvement de ce rayon. Nous aurons :

$$\alpha+\alpha'=90^\circ, \qquad V=90^\circ+\gamma, \qquad V'=180^\circ-\gamma',$$
$$i'=V-90^\circ=\gamma, \qquad i'=V'-90^\circ=90^\circ-\gamma',$$

par suite en vertu de la formule (c)

$$\varepsilon=\gamma'-\gamma,$$
$$V'=180^\circ-\gamma-\varepsilon,$$
$$i'=90^\circ-\gamma-\varepsilon,$$

en ne conservant que la première puissance de ε. Si on désigne par η l'angle que forme Oa avec OO', ou si l'on pose :

$$\frac{r'}{r}=\text{tang }\eta,$$

on trouve, en faisant les substitutions précédentes dans les équations (5) et (6),

$$\delta\alpha-\delta n=-\delta n\cos\gamma(\sin\gamma+\varepsilon\cos\gamma)-\delta n'\,\text{tang}\,\eta\cos\gamma(-\\ -\cos\gamma+\varepsilon\sin\gamma),$$

$$\delta\alpha'-\delta n'=-\delta n'\cos\gamma(\sin\gamma+\varepsilon\cos\gamma)+\delta n\cot\eta\sin\gamma(-\sin\gamma+\\ \varepsilon\cos\gamma),$$

$$\varepsilon=(\delta\alpha-\delta n)\left[2(1+\sin^2\gamma)-\frac{r}{\rho\cos\gamma}\right]+(\delta\alpha'-\delta n')\left[2(1+\right.\\ \left.+\cos^2\gamma)-\frac{r'}{\rho'\sin\gamma}-\varepsilon\left(4\sin\gamma\cos\gamma-\frac{r'}{\rho'}\frac{\cot\gamma}{\sin\gamma}\right)\right],$$

d'où

$$\varepsilon^2=\delta n\left[\sin\gamma\left[-2(1+\sin^2\gamma)\cos\gamma+2(1+\cos^2\gamma)\sin\gamma\cos\eta+\right.\right.\\ \left.+\frac{r}{\rho}-\frac{r'}{\rho'}\cot\eta\right]+\varepsilon\cos\gamma\left[-2(1+\sin^2\gamma)\cos\gamma+\frac{r}{\rho}+\right.\\ \left.\left.+2\sin\gamma\cos\eta(-1+3\cos^2\gamma)\right]+\delta n'\left[-\cos\gamma\left[-2(1+\right.\right.\\ \left.+\sin^2\gamma)\cos\gamma\,\text{tang}\,\eta+2(1+\cos^2\gamma)\sin\gamma-\frac{r}{\rho}\,\text{tang}\,\eta-\right.\\ \left.\left.\frac{r'}{\rho'}\right]-\varepsilon\left[2(1+\sin^2\gamma)\cos\gamma\,\text{tang}\,\eta-\frac{r}{\rho}\,\text{tang}\,\eta+2\cos^2\gamma\right.\right.\\ \left.\left.(3\cos^2\gamma-1)\right]\right].$$

et en supposant $\delta n=\frac{\varphi t^2}{2}$, $\delta n'=\omega' t$, on aura une équation du second degré qui donnera pour t deux valeurs qui devront être réelles et dont l'une au moins devra être positive pour que les choses aient lieu comme nous l'avons supposé. Dans le cas où les deux racines seraient positives, elles correspondront respectivement à deux rencontres à droite et à gauche du point a sur la courbe ab et l'on devra prendre la plus petite de ces racines, puisque le premier choc empêchera naturellement que le second ait lieu.

Mais si du côté de a, où le premier choc devrait avoir lieu, on supprime la courbe de manière à le rendre impossible, le second se produira et c'est l'autre racine qui devra être prise.

Ce qu'il nous importe le plus de connaître, c'est moins la position du point m que le rapport des composantes des vitesses en ce point estimées suivant la normale. Pour déterminer ce rapport, remarquons que l'équation ci-dessus peut se mettre sous la forme :

$$\varphi\, t^2\sin\gamma\,A-2B\omega'\cos\gamma\,.\,t=2\varepsilon^2.$$

A et B étant des fonctions connues de γ, ε, $\frac{r}{\rho}$, $\frac{r'}{\rho'}$.

On déduit de là

$$t = \frac{B\omega' \cos \pm \gamma \sqrt{B^2 \omega^2 \cos^2 \gamma + 2\varphi A \sin \gamma \varepsilon^2}}{\varphi A \sin \gamma},$$

d'où l'on tire pour le rapport cherché :

$$(10) \qquad \frac{\varphi t \sin \gamma}{\omega' \cos \gamma \operatorname{tang} \eta} = \frac{B \pm \sqrt{B^2 + \frac{2\varphi}{\omega'^2} A \frac{\sin \gamma}{\cos^2 \gamma} \varepsilon^2}}{A},$$

expression dont la valeur est finie et facile à calculer en choisissant le signe du radical ainsi qu'on l'a dit plus haut.

On voit ainsi que le rapport des vitesses normales au moment du choc ne dépend que du rapport de l'accélération angulaire du corps primitivement en repos, au quarré de la vitesse angulaire de l'autre, et de la forme et de la position relative de ces deux corps. — Dans le cas où les rotations des deux corps auraient lieu dans le même sens, de la gauche vers la droite, il suffirait de changer dans les formules précédentes le signe de δn ou de φ et de plus celui de ε, si l'on s'imposait la condition que le contact eût lieu à gauche du point a.

10. *Cas particulier.* — 1° *La partie du corps choquant qui vient heurter le corps choqué est une pointe aiguë.* — Cette hypothèse revient à supposer que la courbe ac se réduit au point qui termine le rayon Oa. Dans les formules (2) on devra supposer $\delta r = 0, \delta\alpha = \delta n$, et en ayant égard à la valeur (a') on trouve :

$$r' \delta\alpha' \cos(V' + \alpha') - r' \cos V' \cos\alpha' \delta n' - r \sin\alpha \sin V' \delta n = 0,$$

$$r' \delta\alpha \sin(V' + \alpha') - r \cos V' \sin\alpha' \delta n' - r \cos\alpha \sin V' \delta n = 0,$$

d'où par l'élimination de $\delta\alpha'$

$$(11) \qquad r' \cos V' \delta n' = r \delta n \cos(V' + \alpha' + \alpha') = -r \delta n \cos i,$$

et enfin

$$(12) \qquad t = -\frac{2r'}{r} \omega' \frac{\cos V'}{\cos i'}.$$

Si les deux rayons Oa, $O'a$ sont perpendiculaires entre eux, on a, en appelant γ' l'inclinaison de la tangente au point de contact sur $O'a$, $V' = 180° - \gamma'$, $i' = 90° - \gamma'$, et, par suite, pour le rapport des composantes normales de la vitesse au point de contact,

$$(13) \qquad \frac{r\varphi t \sin \gamma'}{r'\omega' \cos \gamma'} = 2,$$

résultat remarquable qui est indépendant de la forme de la surface du corps S'.

11. 2° *La partie du corps choqué qui vient en contact avec le corps choquant est une pointe aiguë.* — Pour obtenir la formule équivalente à l'équation (11), il suffit de changer l'accentuation des lettres qu'elle renferme, ce qui donne :

$$r \cos V \delta n = -r' \delta n' \cos i,$$

d'où

$$(14) \qquad t = -\frac{r'}{r} \frac{\omega'}{\varphi} \frac{\cos i}{\cos V},$$

et enfin, dans le cas où l'angle $O'aO$ est droit, on obtient également comme tout à l'heure pour le rapport des composantes normales des vitesses au point de contact :

$$(15) \qquad \frac{r\varphi t \sin \gamma}{\omega' r' \cos \gamma} = 2.$$

12. Revenons au cas général. Si nous négligeons dans les coefficients de $\delta n\, \delta n'$ les termes en ε, et si nous supposons que les rayons de courbure soient assez grands pour que on puisse négliger les rapports $\frac{r}{\rho}, \frac{r'}{\rho'}$ devant l'unité, on a

$$\left[\delta n \frac{\sin\gamma}{\operatorname{tang}\eta} - \delta n' \cos\gamma\right] \left[2(1+\sin^2\gamma)\cos\gamma\operatorname{tang}\eta + 2(1+\cos^2\gamma)\sin\gamma\right] = \varepsilon^2,$$

$$\frac{\varphi t \sin\gamma}{\omega'\cos\gamma\operatorname{tang}\eta} = 2 + \frac{2\varepsilon^2}{[2(1+\sin^2\gamma)\cos\gamma\operatorname{tang}\eta + 2(1+\cos^2\gamma)\cos\gamma]t}.$$

Si l'on remplace dans le deuxième membre t par

$$t = \frac{2\omega'\cos\gamma\operatorname{tang}\eta}{\varphi\sin\gamma},$$

valeur résultant d'une première approximation, on trouve :

$$\frac{\varphi t \sin\gamma}{\omega\cos\gamma\operatorname{tang}\eta} = 2 + \frac{2\varepsilon^2\varphi\sin\gamma}{\omega'\cos\gamma\operatorname{tang}\eta[2(1+\sin^2\gamma)\cos\gamma\operatorname{tang}\eta + 2(1+\cos^2\gamma)\sin\gamma]}$$

Mais il nous sera plus simple de prendre tout simplement et approximativement

$$\frac{\varphi t \sin\gamma}{\omega'\cos\gamma\cot\eta} = 2.$$

comme dans les cas particuliers étudiés plus haut.

§ II. — Échappement a ancre.

13. Cette dénomination est due à la forme, se rapprochant de celle d'une ancre marine, qu'affecte la pièce oscillante qui arrête et laisse échapper successivement les dents de la roue d'échappement. Il existe, pour les chronomètres fixes et portatifs, plusieurs variétés d'échappements à ancre. Nous nous bornerons à en indiquer les principaux types.

Échappements en pendules.

14. 1° *Échappements à repos.* — Soient (*fig* 7) ;

O l'axe de rotation de la roue d'échappement dont les dents sont pointues, et qui est censée se mouvoir de la gauche vers la droite ;

O′ celui de l'ancre ;

b, a' deux points de la circonférence décrite par les extrémités des dents, pris à égale distance et de part et d'autre de l'un des points de contact et des tangentes menées du point O à cette circonférence.

L'arc $a'b$ est assez petit pour que l'on puisse le considérer comme se confondant avec la tangente en a.

Du point O′ comme centre, décrivons deux circonférences qui passent par les points b et a' ; elles rencontrent la circonférence O en deux autres points c et d' équidistants du point de contact de la seconde tangente menée du point O′ à la circonférence O. Joignons O′b, O′c ; faisons les angles bO′a au-dessus de O′b et cO′d au-dessous de O′c égaux à l'angle de levée qui ordinairement diffère peu de 5°.

Les points a et d se trouvent sur la circonférence extérieure, et les points b et c sur la circonférence intérieure. Les lèvres de l'échappement sont formées par les droites ab et cd. Deux circonférences de centre O achèvent de déterminer complétement le profil $baefdc$ de l'ancre.

La fourchette, qui établit, entre l'échappement et le balancier, la relation voulue, est une tige légère fixée d'une part à l'arbre de l'ancre et portant à son autre extrémité une pièce fendue dans laquelle s'engage sans jeu ni frottement la tige du balancier.

La *fig* 7 représente la position qu'occupe l'ancre lorsque le balancier, arrivé dans sa position naturelle ou verticale est sur le point de commencer sa demi-oscillation ascendante de droite ; la dent dont la pointe est en c, arrêtée en ce point, se dégage, puis vient frapper la lèvre, en communiquant une impulsion à l'ancre, par suite au balancier ; elle exerce ensuite une pression sur cette lèvre et se dégage en d ; tout le corps de rouages se meut alors librement sous l'action de la force motrice, mais pour un très-petit dépla-

cement angulaire de la roue O, limité par la rencontre de la dent a_1 qui précède a, avec le repos ac sur lequel elle s'appuie pendant tout le temps que s'achève la demi-oscillation ascendante. Lorsqu'a lieu la demi-oscillation descendante suivante, le repos ac glisse sur la pointe a_1; bientôt a et a_1 coïncident; puis la dent a se dégage, vient frapper ab, etc.

Soient :

r' le rayon $\alpha O'$ de la circonférence intérieure de l'ancre;

λ l'angle de levée supposé très-petit;

e l'épaisseur de l'ancre;

γ'_1, γ' les inclinaisons des lèvres d'entrée ab et de sortie cd sur les rayons $O'a$ et $O'd$.

On voit facilement que

$$\operatorname{tang}\gamma'_1 = \lambda\frac{r'+e}{e},$$

$$\operatorname{tang}\gamma' = \frac{\lambda r'}{e}.$$

Soient par exemple $\frac{e'}{r'} = \frac{22}{81}$, $\lambda = 5^\circ$ ou plutôt

$$\lambda = 5^\circ\frac{\pi}{180} = 0,0873;$$

On a :

$\operatorname{tang}\gamma'_1 = 0,643$, d'où $\gamma'_1 = 32^\circ,30''$.

$\operatorname{tang}\gamma' = 0,468$, d'où $\gamma' = 25^\circ,50''$.

Cherchons maintenant à voir quelle peut être l'influence de l'échappement sur l'isochronisme du régulateur. Nous examinerons, comme si elle existait seule, chacune des causes qui peut apporter une perturbation dans la loi du mouvement du pendule.

15. En premier lieu occupons-nous du choc ou de la chute.

La vitesse angulaire du pendule et de l'échappement peut, à peu de chose près, être considérée comme étant la même au moment où le choc a lieu que lorsque la levée

commence, puisqu'à ce dernier instant, elle atteint son maximum, et que pendant la chute, l'angle décrit par l'échappement est très-petit.

Reportons-nous au n° 9 et à la formule (13) qui est applicable au cas actuel, en introduisant toutefois quelques variantes dans les notations.

Soient $\omega_0 = \varphi t$, ω'_0, les vitesses angulaires de la roue et de l'ancre, au moment où le choc a lieu; r le rayon de la circonférence formée par les extrémités des dents.

On peut, sans erreur sensible, supposer que le point de la lèvre où le choc a lieu, se trouve à la même distance du point O' que son extrémité intérieure ou extérieure, selon qu'il s'agit de la lèvre d'entrée ou de sortie. Considérons le premier cas; le second pouvant s'en déduire en changeant r' en $r' + e$ et en attribuant une autre valeur à l'angle γ'. La formule précitée donne :

$$\frac{\omega_0}{\omega'_0} = 2\frac{r'}{r}\cot\gamma'. \qquad (1)$$

Les déplacements angulaires, que nous avons supposés très-petits pendant la chute, sont respectivement pour l'échappement et la roue :

$$\delta n' = \omega'_0 t = \frac{2r'}{r}\cot\gamma'\frac{\omega_0^2}{\varphi},$$

$$\delta n = \frac{\varphi t^2}{2} = \frac{2r'^2}{r^2}\cot^2\gamma'\frac{\omega_0^2}{\varphi},$$

d'où

$$\frac{\delta n}{\delta n'} = \frac{r'}{r}\cot\gamma'.$$

En désignant par α' l'angle OO'C et par α', l'angle que forme O'C, avec le rayon qui joint O' au point de la lèvre où le choc a lieu, on a,

$$\delta\alpha' = \frac{2r'}{r}\frac{(\cot\gamma' - 1)}{1 + \operatorname{tang}\alpha'\operatorname{tang}\gamma'}\times\frac{\omega'^2_0}{\varphi}.$$

Pour que le choc ait lieu, il faut que $\delta\alpha'$ soit au plus égal à l'angle de levée λ. A la limite on aura donc :

$$\frac{2r'}{r}\frac{\omega_0^2}{\varphi} = \lambda \frac{1 + \operatorname{tang}\alpha' \operatorname{tang}\gamma'}{\cot\gamma' - 1},$$

et pour la valeur correspondante de $\delta n'$,

$$\delta n' = \lambda \frac{1 + \operatorname{tang}\alpha' \operatorname{tang}\gamma'}{\cot\gamma' - 1}.$$

Dans le cas particulier examiné plus haut où

$$\gamma' = 25^\circ 50'' \quad \text{d'où} \quad \operatorname{tang}\gamma' = 0{,}468,$$
$$\alpha' = 60^\circ \qquad\qquad \operatorname{tang}\alpha' = 0{,}577,$$

on a de plus :

$$\frac{r'}{r} = \frac{55}{62},$$

par suite

$$\frac{\delta n'}{\lambda} = 1{,}12.$$

Comme nous avons supposé plus haut $\lambda = 5^\circ$, on a :

$$\delta n' = 5^\circ{,}36'',$$

et, comme conséquence,

$$\delta n = 5^\circ{,}40'',$$

angles qui sont assez petits pour que l'approximation adoptée soit permise.

16. Soient maintenant :

ω_1, ω'_1 les vitesses angulaires après le choc de la roue d'échappement et de l'échappement ;

I' le moment d'inertie par rapport à O', du système formé par l'échappement et le régulateur, et I celui par rapport à O que l'on doit attribuer à la roue d'échappement pour qu'il soit permis de faire abstraction du corps de rouages.

L'échappement ayant lieu à la tangente, on voit facilement que l'on a pour les distance de

O à la normale à la lèvre.		$p = r\sin\gamma'$,
O'	— —	$p' = r'\cos\gamma'$,
O à la direction de la lèvre.		$q = r\cos\gamma'$,
O'	— —	$q' = r'\sin\gamma'$.

La formule (8) du troisième lemme dont nous conservons les notations, en transposant toutefois les accents, donne, en conservant les corps comme complétement dénués d'élasticité ($\varepsilon = 1$) :

$$\omega'_1 - \omega'_0 = \frac{\omega_0 r' \sin\gamma' - \omega'_0 r' \cos\gamma'\,(*)}{r'\cos\gamma'\left(1 + \frac{I'}{I}\frac{r^2}{r'^2}\operatorname{tang}^2\gamma'\right)} \times$$

$$\times \left[1 - f\operatorname{tang}\gamma' + \frac{f}{2}\frac{\operatorname{tang}\gamma' + \frac{I'}{I}\frac{r}{r'}\operatorname{tang}\gamma' - \frac{4.I}{I'}\frac{r^2}{r'^2}\frac{\cos 2\gamma'}{\cos\gamma'}}{1 + \frac{I'}{I}\frac{r^2}{r'^2}\operatorname{tang}^2\gamma'}\right]$$

Mais, en vertu de l'équation (1), on a :

$$\omega_0 r_0 \sin\gamma' = 2\omega'_0 r' \cos\gamma',$$

par suite

(*) Il serait plus exact de remplacer ω'_0 par $\omega'_0 + \delta\omega'_0$, l'accroissement $\delta\omega'_0$ étant calculé au moyen de l'équation des forces vives qui donne

$$I'\omega'_0\delta\omega_0' = -\frac{u'\delta' u^2}{2} - h'(\omega'_0 + \eta')\delta u',$$

formule dans laquelle $m\delta u'$ désigne le moment du poids du balancier par rapport à O', h' et η' des coefficients très-petits relatifs à la résistance de l'air et aux frottements sur les appuis.

$$\omega_{01}=\omega'_0\left\{1+\frac{1}{1+\frac{I'}{I}\frac{r^2}{r'^2}\tang^2\gamma'}\left[1-f\tang\gamma'+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{f}{2}\left(\tang\gamma'-\frac{Ir'}{Ir}\tang\gamma'-\frac{4\frac{I'}{I}\frac{r^2}{r'^2}\frac{\cos 2\gamma'}{\cos\gamma'}}{1+\frac{I'}{I}\frac{r^2}{r'^2}\tang^2\gamma'}\right)\right]\right\}.$$

Comme le rapport $\frac{I'}{I}$ a une valeur très-notable, à plus forte raison, lorsqu'il est multiplié par $\frac{r^2}{r'^2}$, on voit que l'on pourra poser comme dans un précédent mémoire :

$$\omega'_1=\omega'_0(1+\varepsilon),$$

ε étant une quantité assez petite pour que l'on puisse en négliger les puissances supérieures à la première, et qui n'a pas une influence sensible sur l'isochronisme du pendule ainsi que nous l'avons demandée dans le mémoire précité.

Cherchons maintenant à nous rendre compte de l'influence que peut avoir, sur l'isochronisme, la pression continue exercée sur les lèvres de l'échappement par les dents de la roue qui se succèdent.

Pour simplifier, nous négligerons le frottement, et cela avec d'autant plus de raison qu'il n'est environ que d'un dixième de la pression normale, et que, d'après le tracé adopté en général, son bras de levier par rapport à O′ est inférieur à celui de cette pression.

Nous rendrons plus claire l'analyse suivante, en résumant les notations qui précèdent, et auxquelles nous ferons d'ailleurs subir quelques modifications. Soient (*fig.* 8) :

O′ et O les axes de l'échappement et de sa roue ;

m le point de contact d'une dent et de la lèvre de sortie ;

a la naissance intérieure de cette lèvre ;

γ' l'angle aigu formé par *ma* avec O′*a* ;

$$r'=O'm=O'a;\qquad r'_0=O'a;\qquad \psi'_0=\widehat{OO'a};$$

$$\widehat{mO'a}=\psi';\qquad r=Om;\qquad \widehat{O'Om}=\theta;\qquad OO'=a;$$

I′ le moment d'inertie du régulateur et de l'échappement par rapport à O′, et I celui par rapport à O que l'on doit attribuer à la roue d'échappement pour que l'on puisse faire abstraction du corps de rouages ;

N, N′ les pressions normales et contraires exercées par la lèvre sur la dent et inversement ;

n le pied de la perpendiculaire abaissée de *m* sur OO′.

Nous désignerons par l'indice o, toutes les quantités qui se rapportent à la fin du choc, c'est-à-dire au moment où la dent considérée exerce une action continue sur la lèvre.

Soient de plus $m'(\psi'-\psi'_0)$ le moment du poids du pendule par rapport à O′, en négligeant ainsi l'angle de la chute, et *m* le moment moteur par rapport à O dû à l'action de la force motrice.

Nous aurons ainsi, en remarquant que *m* variant relativement avec une grande lenteur peut être considéré comme constant pour une période assez longue,

$$(1)\qquad \frac{I'(\omega'^2-\omega'^2_0)+I(\omega^2-\omega^2_0)}{2}=-m'\int_{\psi'_0}^{\psi'}(\psi'-\psi'_0)\,d\psi'+$$

$$+m(\theta-\theta_0)=-\frac{m'}{2}(\psi'-\psi'_0)^2+m(\theta-\theta_0).$$

L'équation polaire du profil de la lèvre est

$$(2)\qquad r'=\frac{r'_0\sin\gamma'}{\sin(\gamma'-\theta')},$$

et en égalant deux expressions de *mn*, puis exprimant que la somme des projections de O′*m* et O*m* sur OO′ est égale à *a*, on obtient les relations :

$$(3)\qquad \begin{aligned} r'\sin(\psi'-\theta') &= r\sin\theta,\\ r'\cos(\psi'-\theta')+r\cos\theta &= a. \end{aligned}$$

D'autre part, on a :

$$\begin{aligned} \widehat{Nm\,O} &= \widehat{O'm\,O}-\widehat{O'm\,N}=\widehat{O'm\,O}-(90^\circ-\gamma'+\theta'),\\ &= 90^\circ-\theta-\psi'+\gamma'. \end{aligned}$$

Si l'on exprime que les composantes normales des vitesses en m sont égales pour la roue et l'échappement, on trouve :

$$(4)\qquad \omega' r'\sin(\gamma'-\theta') = \omega r\cos(\theta+\psi'-\gamma').$$

Cette relation peut se déduire par la différentiation des équations (3), qui expriment bien que le contact a lieu entre les systèmes O et O', et qui, eu égard à la formule (2), est équivalente à la suivante qui subsiste également, lorsque l'on affecte de l'indice o les quantités qui en sont susceptibles :

$$(4')\qquad \omega' r_0\sin\gamma' = \omega r\cos(\theta+\psi-\gamma').$$

L'équation (1) devient ainsi par l'élimination ω et ω_0 :

$$(5)\qquad \frac{\omega'^2}{2}\left[I'+\frac{Ir'^2_0\sin^2\gamma'}{r^2\cos^2(\theta+\psi'-\gamma')}\right]-\frac{\omega'^2_0}{2}\left[I'+\frac{Ir_0^2\sin^2\gamma'}{r^2\cos(\theta_0+\psi_0-\gamma')}\right] = -\frac{m'}{2}(\psi'-\psi'_0)^2+m(\theta-\theta_0).$$

Il s'agit maintenant d'exprimer ω' en fonction de ψ' seulement, en éliminant entre cette équation et les formules (2) et (3), les quantités r' et θ'. Ce calcul, qui dans toute sa généralité présente des difficultés insurmontables, se simplifie considérablement, si l'on remarque que les angles θ', $\psi'-\psi'_0=\delta\psi$, $\theta-\theta_0=\delta\theta$ sont toujours assez petits pour que l'on puisse, sans grande erreur, en négliger les puissances supérieures à la première. On a ainsi, en se rappelant que $\psi'_0+\theta'_0=90^\circ$:

$$(6)\qquad \begin{cases} \sin\psi' = \cos\theta_0+\sin\theta_0\delta\psi',\\ \cos\psi' = \sin\theta_0-\cos\theta_0\delta\psi',\\ \sin\theta = \sin\theta_0+\cos\theta_0\delta\theta',\\ \cos\theta = \cos\theta_0-\sin\theta_0\delta\theta,\\ \sin\theta' = \theta', \qquad \cos\theta' = 1. \end{cases}$$

$$(7)\qquad r' = r'_0(1+\theta'\cot\gamma').$$

Les équations (3) deviennent par suite :

$$\begin{aligned} r_0\sin\theta_0\delta\psi'-r\cos\theta_0\delta\theta &= -r'_0(\cot\gamma'\cos\theta_0-\sin\theta_0)\theta',\\ r'_0\cos\theta_0\delta\psi'+r\sin\theta_0\delta\theta &= r'_0(\cot\gamma'\sin\theta_0+\cos\theta_0)\theta', \end{aligned}$$

d'où

$$(8)\qquad \delta\psi' = \theta' \qquad \delta\theta = \frac{r'_0\cot\gamma'}{r}\delta\psi'.$$

Enfin on voit facilement que

$$\begin{aligned} \cos(\theta+\psi'-\varepsilon) &= -\cos\gamma'(\delta\theta+\delta\psi')+\sin\gamma',\\ &= \sin\gamma'-\sin\gamma'\left(1+\frac{r'_0}{r}\cot\gamma'\right)\delta\psi'. \end{aligned}$$

Mais, en ce qui concerne le premier membre de l'équation (5), on pourra toujours négliger sans grande erreur le terme en $\delta\psi'$ et par suite écrire :

$$\frac{(\omega'^2-\omega'^2_0)}{2}\left(I'+I\frac{r'^2_0}{r^2}\right) = -\frac{m'}{2}(\psi'-\psi'_0)^2+m\delta\theta,$$

d'où différentiant

$$\left(I'+I\frac{r'^2_0}{r^2}\right)\frac{d^2\psi'}{dt^2} = -m'(\psi'-\psi'_0)+m\frac{d\delta\theta}{d\psi'},$$

ou encore, en vertu de la seconde des formules (8),

$$\left(I'+I\frac{r'^2_0}{r^2}\right)\frac{d^2\psi'}{dt^2} = -m'(\psi'-\psi'_0)+m\frac{r'_0}{r}\cot\gamma',$$

Nous pourrons mettre cette équation sous la forme :

$$\frac{d^2\psi'}{dt^2} = -K'^2(\psi' - \psi'_0 - \beta'), \tag{9}$$

en posant :

$$\frac{m'}{I' + I\frac{r'^2_0}{r^2}} = K'^2, \qquad \beta' = m\frac{r'_0}{r}\cot\gamma'.$$

Comme nous analysons séparément, ainsi que nous l'avons dit plus haut, les effets des causes perturbatrices, nous ferons abstraction de la chute, et l'équation (9) donne alors :

$$\psi' - \psi'_0 - \beta' = A \sin K't - \beta' \cos K't,$$

le temps t étant compté à partir du moment où le pendule est dans la verticale, et A étant une constante qui ne dépend que de la vitesse angulaire maximum du pendule.

Soient t et ψ'_1, les valeurs de t et ψ' correspondant au moment où le dégagement a lieu entre l'échappement et la roue. On a :

$$\psi'_1 - \psi'_0 - \beta' = A \sin K't_1 - \beta' \cos K't_1. \tag{10}$$

En ne conservant que la première puissance de $K't_1$ qui est très-petite, il vient :

$$\begin{cases} \psi'_1 - \psi'_0 = AK't_1, \\ \left(\frac{d\psi'_1}{dt}\right)_1 = AK' + \beta' K'^2 t_1. \end{cases} \tag{11}$$

Si nous posons maintenant :

$$K^2 = \frac{m'}{I'},$$

nous aurons, pour l'arc complémentaire, et en négligeant la résistance de l'air,

$$\frac{d^2\psi'}{dt^2} = -K^2(\psi' - \psi'_0 + \beta),$$

β étant un terme proportionnel à l'énergie de la force motrice, et qui représente l'influence des frottements dus à la pression de la roue sur le repos ; d'où

$$\psi' - \psi'_0 + \beta = A' \sin Kt + B' \cos Kt. \tag{12}$$

Mais les formules (11) et (12) doivent donner pour ψ' et $\frac{d\psi'}{dt}$ les mêmes valeurs, lorsque l'on suppose $t = t_1$, ce qui donne les relations :

$$A'Kt_1 = B' - \beta + A'Kt_1,$$
$$AK' + \beta' K'^2 t_1 = A'K - \beta B' K'^2 t_1,$$

d'où

$$B' = \frac{\beta - \beta' K'^2 t_1^2}{1 + K^2 t_1^2} = \beta - \frac{B'}{A^2}\delta\psi'^2_1,$$

$$A' = \frac{AK'}{K} + \beta K^2 + \beta'(1 - K^2)\frac{\delta\psi'_1}{A}.$$

Nous avons conservé, contrairement à ce que nous avons fait jusqu'ici, le terme en $\delta\psi'^2$ dans B', mais c'est à cause du coefficient β' qui le multiplie, et qui étant proportionnel à m, a relativement une valeur assez grande. Il vient par suite pour l'angle complémentaire,

$$\psi' - \psi'_0 + \beta = \left(\frac{AK'}{K} + \beta K^2 + \frac{\beta'(1 - K^2)}{A}\delta\psi'^2_1\right)\sin Kt + \left(\beta - \frac{\beta'}{A^2}\delta\psi'^2_1\right)\cos Kt,$$

et l'on trouve aux termes du second ordre près en β, et du quatrième en $\delta\psi'_1$ par la durée de la demi-oscillation ascendante considérée :

$$t = \frac{\pi}{2K}\left(1 + \frac{\frac{\beta'}{A^2}\delta\psi_1^2 - \beta}{A\frac{K'}{K}}\right).$$

Dans cette expression on peut calculer A comme s'il n'y avait pas de cause perturbatrice, ce qui revient à supposer que cette quantité représente la demi-amplitude.

Pour la demi-oscillation descendante suivante, il faudra changer le signe de β, de sorte que le terme n'ayant aucune influence sur la durée T d'une demi-oscillation complète, on peut en faire abstraction, et l'on a :

$$T = \frac{\pi}{K}\left(1 + \frac{\beta'}{A^3}\frac{K}{K'}\delta\psi'\right).$$

Ainsi l'action continue de la force motrice sur l'échappement a pour effet d'augmenter la durée des oscillations d'une quantité proportionnelle à l'intensité de la force motrice, au quarré de l'angle correspondant au contact entre l'échappement et sa roue, et inversement proportionnelle au cube de la demi-amplitude, ce qui constitue une cause d'irrégularité dans la marche du pendule du commencement à la fin de la période d'un remontage.

17. Pour compléter la théorie de l'échappement à ancre il faudrait déterminer les pertes de travail moteur dues au choc et au frottement résultant de l'action de la roue sur l'échappement : la première de ces pertes de travail se calculera facilement en vertu du principe de Carnot, en ayant égard aux résultats obtenus ci-dessus. Quant à la seconde on l'estimera approximativement en partant de l'expression de la pression normale N calculée d'après la formule

$$I' \frac{d\omega'}{dt} = Np',$$

c'est-à-dire comme si le frottement était nul, la valeur de ω' étant fournie par l'équation de forces vives telle qu'on l'a établie plus haut; mais comme on n'a aucune donnée précise sur les limites entre lesquelles peut varier le rapport $\frac{I'}{I}$, et que l'on ne peut par suite, même approximativement, arriver à estimer numériquement la fraction de travail moteur qui est absorbée, la recherche dont il s'agit n'offre aucun intérêt, et c'est pourquoi nous ne nous y arrêterons pas.

18. Les calculs qui précèdent s'appliquent moyennant quelques modifications à l'échappement de Graham dans lequel les repos se trouvent sur une même circonférence, passant par le centre de la roue d'échappement. Mais comme cet échappement est exclusivement appliqué aux horloges dont la force motrice est constante, il n'y a aucun intérêt à en étudier le jeu au point de vue mécanique.

19. 2° *Échappement à recul de Berthout.* — Donner à l'échappement à ancre des pendule une forme telle que l'influence des causes perturbatrices sur l'isochronisme, soit sinon détruite, du moins notablement atténuée, tel est le problème que Berthout paraît s'être proposé de résoudre par l'expérience. A cet effet il remplace les repos par les *reculs*, c'est-à-dire par des arcs de cercle excentriques à l'échappement, tracés de telle manière qu'ils déterminent dans le corps de rouages un déplacement rétrograde, plus ou moins sensible. La construction à laquelle Berthout est conduit est la suivante :

Traçons en pointillé les repos auxquels on doit substituer les reculs; à partir de l'extrémité n° o de chacun d'eux, portons trois ouvertures de compas successives (0,1), (1,2), (2,3) égales à l'épaisseur *e* de l'ancre mesurée, suivant le rayon qui joint le centre O' au point n° o. Au delà ou en deçà du point n° 3, selon qu'il s'agit de l'entrée et de la sortie, portons sur le rayon (O',3) une longueur égale à *e*. Nous obtiendrons ainsi deux points n° 4, par chacun desquels, et par le point correspondant n° o, nous ferons passer un arc de cercle d'un rayon égal à celui du repos; et le tracé des reculs se trouvera effectué; la seule

condition imposée à ce tracé est d'avoir un angle de levée égal à 5°.

Il est évident *à priori* que la règle ci-dessus est trop absolue pour qu'elle soit fructueusement applicable à tous les cas. Mais quoique Berthout ne s'explique pas sur les causes perturbatrices qu'il a en vue de faire disparaître, il semble qu'il a principalement pour objet de créer sur le balancier, par le recul, un moment de sens contraire à celui qui est produit par l'action continue exercée par la roue sur les lèvres de manière à en éliminer l'effet, en même temps de compenser le défaut d'isochronisme résultant d'un trop grand écart du pendule.

La question ainsi posée pourrait se résoudre par l'analyse, en déterminant la forme qu'il convient de donner aux reculs pour qu'ils satisfassent aux conditions exigées. On n'aurait pour cela qu'à suivre une marche analogue à celle du n° 17; mais comme nous n'avons pas ici d'angles qu'il soit permis de considérer comme très-petits, on serait arrêté par l'élimination des angles auxiliaires que l'on est obligé de faire entrer dans les formules. Je ne pense pas que le sujet dont il s'agit comporte, par son importance, un semblable travail.

20. *Échappements libres des montres.* — Les échappements à ancre des montres offrent la plus grande analogie avec ceux des pendules. La seule différence essentielle consiste en ce que la fourchette se trouve naturellement dans le même plan que l'ancre. On s'arrange de manière que le centre de gravité se trouve sur l'axe de rotation.

La longue branche de la fourchette est terminée par deux cornes, à la naissance desquelles est ménagée une encoche destinée à recevoir un doigt fixé à un plateau faisant corps avec l'arbre du balancier, lorsque ce dernier se trouve dans sa position moyenne. Dès que la chute a eu lieu, le doigt reçoit par contre-coup une impulsion, se dégage presque instantanément de la fourchette, et le balancier, soustrait à

l'action de la force motrice, continue sa demi-oscillation en étant uniquement sollicité par le spiral. A la fin de la demi-oscillation suivante, le doigt s'engage de nouveau dans l'encoche, entraîne avec lui la fourchette qui reçoit une nouvelle impulsion et ainsi de suite.

Les dents de la roue d'échappement sont pointues, ou ont la forme indiquée par les *fig.* 10 et 10 *bis*, empruntées à M. Saunier et qui représentent les dispositions le plus fréquemment adoptées.

Deux goupilles limitent latéralement la course de la fourchette. Il y a aussi le coin de renversement et d'autres détails dans lesquels nous ne croyons pas devoir entrer.

Chaque repos est remplacé par un recul rectiligne qui a pour objet de donner de la stabilité à l'ancre, c'est-à-dire de lui permettre de ne pas se déplacer sous l'influence de certaines secousses, par suite de l'obliquité de l'action de la roue sur les plans inclinés ainsi déterminés; c'est ce qui donne lieu à ce que les horlogers appellent le *tirage*.

La vitesse angulaire du balancier après le choc se calculera d'après les considérations exposées au n° 8 et en se reportant à ce qui précède, on doit considérer la théorie de l'échappement comme complète.

21. Il ne nous reste plus qu'à nous occuper du tirage. Pour qu'il fût le même à l'entrée et à la sortie, il suffirait que les inclinaisons des reculs sur les rayons de la roue à la tangente fussent égales. Mais on peut se demander quelle est la relation qui doit exister entre ces deux inclinaisons pour que le recul soit le même de part et d'autre, en prenant, pour la plus faible, une valeur reconnue suffisante par la pratique.

Soient (*fig.* 11) :

a, a' les naissances des reculs de sortie et d'entrée;

ab, $a'b'$ leur partie utile correspondant à l'angle au centre $\alpha = \widehat{b0'a} = \widehat{b'0'a'}$;

i, i' les inclinaisons respectives de ab, $a'b'$ sur les rayons correspondants de la roue, Oa, Oa' prolongés en conséquence ;

ε l'angle de recul $\widehat{aOb} = \widehat{a'Ob'}$;

$$r = Oa = Oa', \qquad r' = O'a = O'a'.$$

Les triangles $aO'b$, aOb donnent :

$$ab = \frac{r' \sin\alpha}{\cos(i+\alpha)}; \quad ab = \frac{r \sin\varepsilon}{\sin(\varepsilon + 180^\circ - i)} = \frac{r \sin\varepsilon}{\sin(i-\varepsilon)},$$

d'où, en égalant ces valeurs et faisant quelques réductions simples :

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \frac{\frac{r'}{r}\operatorname{tang}\alpha \operatorname{tang} i}{1 - \operatorname{tang}\alpha \operatorname{tang} i - \frac{r'}{r}\operatorname{tang}\alpha}.$$

On trouve de la même manière :

$$a'b' = \frac{r' \sin\alpha}{\cos(i'-\alpha)}, \qquad a'b' = \frac{r \sin\varepsilon}{\sin(i'-\varepsilon)},$$

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \frac{\frac{r'}{r}\operatorname{tang}\alpha \operatorname{tang} i'}{1 - \frac{r'}{r}\operatorname{tang}\alpha - \operatorname{tang}\alpha \operatorname{tang} i'}.$$

En égalant les deux expressions de tang ε, on arrive à

$$\operatorname{tang} i' = \operatorname{tang} i \frac{1 - \frac{r'}{r}\operatorname{tang}\alpha}{1 + \frac{r'}{r}\operatorname{tang}\alpha}.$$

Appliquons cette formule au type suivant emprunté à l'ouvrage de M. Martens :

$\frac{r'}{r} = \frac{35}{62}$, $i = 12^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, d'où $\operatorname{tang} i = 0{,}213$, $\operatorname{tang}\alpha = 0{,}105$,

on trouve :

$$\operatorname{tang}\varepsilon = 0{,}0126,$$
$$\operatorname{tang} i' = 0{,}892 \operatorname{tang} i = 0{,}190,$$

d'où

$$i' = 11^\circ \quad \text{et} \quad \varepsilon = 4^\circ.$$

L'angle de tirage devrait donc être plus faible à l'entrée qu'à la sortie. Or c'est précisément l'inverse qui a lieu (généralement 15° à l'entrée et 12° à la sortie). Mais je n'ai pu saisir le sens du singulier raisonnement sur lequel on a établi cette règle pratique, due, dit-on, à des horlogers suisses.

Quant au moment résistant sur l'ancre résultant de la pression exercée par la roue d'échappement et du frottement qu'elle développe, il est trop facile de le calculer pour que nous ayons à nous y arrêter.

§ III. — Échappement à cylindre.

22. Cet échappement qui est le plus généralement adopté pour les montres, n'est au fond que l'échappement à repos des pendules dont il dérive par suite des modifications suivantes :

1° La traverse de l'ancre est remplacée par les surfaces des repos prolongés en conséquence. Il résulte de là une portion de cylindre annulaire à laquelle on a donné le nom d'*écorce*.

2° L'écorce est montée directement sur l'arbre du balancier, dont l'axe coïncide avec celui des surfaces cylindriques, ce qui supprime la fourchette.

3° Les dents de la roue d'échappement sont déterminées de manière que chacune d'elles occupe seule et complétement, à un faible jeu près, l'intervalle cylindrique intérieur.

L'écorce se compose d'un demi-cylindre augmenté de part et d'autre d'une partie correspondant à 10° (d'après M. Martens). Cet angle complémentaire détermine complétement la lèvre de sortie qui est droite ou légèrement convexe. La lèvre d'entrée ne résulte que du raccordement des surfaces interne et externe de l'écorce par une surface cylindrique plus ou moins convexe (voir la *fig.* 12).

Nous n'insisterons pas sur le jeu de l'échappement, qui est pour ainsi dire identique, au point de vue descriptif, à celui de l'échappement à ancre des pendules et que la *fig.* 13 rappellera d'ailleurs beaucoup mieux que toute explication.

La portion du projet des dents qui agit sur les lèvres est rectiligne ou légèrement convexe. M. Saunier préconise la première forme qui comporte une chute plus convenable.

L'épaisseur de l'ancre étant assez faible pour que l'on puisse en faire abstraction, on calculera la vitesse angulaire de la roue, $\omega_0 = \varphi t$ au moment où le choc a lieu par la formule 14 du n° 11.

La vitesse angulaire, après le choc du système de l'ancre et du balancier, se déterminera comme au n° 16.

De la grande étendue des repos résulte de la part du frottement un travail négatif relativement important, mais qui, suivant certains auteurs, est utile au point de vue de la régularisation de l'action de la force motrice; c'est ce que l'on ne saurait admettre. En effet, nous avons vu dans un autre mémoire (VI n° 8), et même un peu plus haut à propos de l'échappement à ancre, qu'une résistance constante ou, par suite, qui varie très-lentement, n'a pas d'influence sur l'isochronisme, et le frottement sur les repos résultant de la force motrice varie très-lentement comme cette dernière.

Le défaut d'isochronisme est surtout dû à l'emploi du spiral plat qui n'est pas du tout isochrone, du moins dans

les limites des amplitudes adoptées pour l'échappement à cylindre. L'étude de ce spiral, limitée à des approximations convenables, conduit à des calculs tellement ingrats que je n'ai pas eu le courage de la pousser à bout.

Dans le cas d'un incliné droit des dents, l'influence de la force motrice sur l'isochronisme se calculera en suivant une marche à peu près identique à celle du n° 17, et nous ne pensons pas devoir entrer dans ce détail, et d'autant plus que l'approximation serait moindre que dans le cas précité en raison de la grandeur de l'angle correspondant à une dent.

Si l'incliné est légèrement convexe, en admettant, pour plus de simplicité (ce qui comporte une grande approximation), qu'il se confonde avec l'arc de cercle osculateur, la même méthode est également applicable, mais conduit à des formules très-compliquées que je me bornerai à indiquer un peu plus loin dans une note, en considérant que j'ignore les conséquences que l'on doit en tirer relativement à la forme la plus convenable à donner aux inclinés. En effet, les horlogers auteurs ne sont pas bien d'accord sur la nature du problème qu'il s'agit de résoudre. D'après Jodin, l'incliné devrait affecter une forme telle que :

1° Ou qu'il fasse parcourir au cylindre des angles égaux pour des parties égales de son arc (*);

2° Ou qu'il éprouve toujours la même résistance de la part du spiral.

Moinet ne se prononce pas catégoriquement à ce sujet, et

(*) Il est hors de doute que cet auteur a voulu dire que les angles décrits par la roue et l'angle doivent être proportionnels. Les vitesses angulaires de ces deux organes pouvant se calculer à la suite du choc, on voit que le profil de la dent se détermine par un arc d'épicycloïde intérieur, et qu'il serait concave au lieu d'être convexe. Parmi tous les profils admissibles, c'est donc la ligne droite qui satisfait le plus approximativement à la condition énoncée.

j'ai encore plus de raisons que lui pour user de la même circonspection.

Je ne m'occuperai pas des échappements Dupleix à virgule, à chevilles, etc., qui sont plus ou moins employés et dont les théories respectives ne sont que des applications des lemmes établis en premier lieu.

Note relative à la théorie de l'échappement à cylindre.

Conservons, aux modifications suivantes près, les notations du n° 17, en négligeant la chute. Soient (*fig.* 14) :

m le point de contact de la lèvre, dont on néglige l'épaisseur, avec le profil mm_0 de la dent dont m_0 est l'extrémité antérieure.

$$r_0 = Om_0, \quad r = Om, \quad \psi = O\widehat{Om_0}, \quad \theta = \widehat{mOm_0}$$
$$r' = O'm, \quad \psi' = \widehat{OO'm}, \quad a = \overline{OO'}.$$

$Nm'M$ la normale en m à mm_0.

$$V = \widehat{NmO},$$

mT, mT' les tangentes en m à la dent et au cylindre. On a :

$$\text{tang } V = \frac{dr}{rd\theta}, \quad \omega = \frac{d\psi}{dt}, \quad \omega' = \frac{d\psi}{dt},$$

$$\widehat{NMT'} = \widehat{O'MN'} - 90^\circ = 180^\circ - \widehat{O'mN} - 90^\circ = \psi' + \psi - \theta + V - 90^\circ.$$

On déduit de là pour l'égalité des composantes normales es vitesses :

$$\omega r \sin V = \omega' r' \sin(\psi' + \psi - \theta + V). \tag{2}$$

D'autre part on a, en égalant deux expressions de mn et remarquant que $O'n + On = a$,

$$\begin{cases} r' \sin\psi' = r \sin(\psi - \theta), \\ r' \cos\psi' + r\cos(\psi - \theta) = a. \end{cases} \tag{3}$$

Enfin, le principe des forces vives donne :

$$I\frac{(\omega^2 - \omega_0^2)}{2} + I'\frac{(\omega'^2 - \omega'^2_0)}{2} = -\frac{1}{2}(\psi' - \psi'_0)^2 + m(\psi - \psi_0), \tag{4}$$

l'indice o se rapportant aux quantités correspondant à l'instant où le contact a lieu en m_0.

L'équation de l'arc de cercle mm_0 est d'ailleurs de la forme

$$\rho^2 + 2\rho(\alpha\cos\theta + \beta\sin\theta) = \gamma. \tag{5}$$

α, β, γ, étant des constantes que l'on devra déterminer en faisant usage des équations (1).... (5) convenablement combinées entre elles, d'après les conditions que l'on voudra faire remplir à mm_0, si toutefois elles sont compatibles les unes avec les autres.

Si l'une de ces conditions est relative à l'action normale mutuelle N de la dent et de la lèvre de l'écorce, on devra joindre aux équations précédentes l'une des relations

$$I'\frac{d\omega'}{dt} = -m'(\psi' - \psi'_0) + Nr' \sin(\psi' + \psi - \theta + V),$$
$$I\frac{d\omega}{dt} = m - Nr \sin V,$$

qui, jointes à la formule (2) par l'élimination de N et par une intégration, font retomber sur l'équation (4).

§ IV. — Des échappements a détente.

23. *Description de l'échappement à bascule.* — Cet échappement se compose (*fig.* 16) : 1° d'une pièce dOC_0 appelée *bascule*, mobile autour du pivot O, et bien équilibrée de manière à éliminer complétement les effets de la pesanteur sur sa masse, quelle que soit la position que l'on donne au hronomètre ; 2° d'une lame flexible et rectiligne $a_0 b_0 c_0$

encastrée dans cette pièce à une petite distance de son pivot, et établie de manière à toucher l'extrémité b_0 de la même pièce en exerçant en ce point une faible pression; cette lame se prolonge très-peu au delà du point b_0; 3° d'une roue d'échappement de centre C, dont les dents sont pointues et inclinées d'un petit angle sur le rayon partant du centre précédent et aboutissant à leur extrémité; 4° d'un ressort spiral de centre O, qui a pour effet de ramener contre un obstacle disposé à cet effet, la bascule dans son état naturel ou de repos, lorsque après l'avoir fait tourner autour de son pivot O, on vient à l'abandonner à elle-même; 5° d'un *repos r* en rubis implanté dans la bascule entre les points c_0 et O, et taillé de manière à présenter un plan incliné qui fasse avec le rayon qui le joint au centre C le même angle que les dents de la roue avec les rayons pareils.

L'axe du balancier est projeté en O'; il est muni de deux doigts rectilignes *e* et *f* dont nous ferons connaître l'objet un peu plus loin.

Lorsque la roue d'échappement est immobile, une de ses dents *g* vient s'appuyer contre le repos *r*; mais quand le balancier tourne de la droite vers la gauche, le doigt *e* finit par rencontrer l'extrémité c_0 de la lame rectiligne, la soulève en entraînant avec elle la bascule dans un mouvement de gauche à droite autour de son pivot; bientôt la dent *g* se dégage du repos, et pour que le doigt *e* abandonne la lame élastique, on s'arrange de manière que, avant que la bascule ne soit revenue dans sa position naturelle sous l'action du spiral, l'une des dents *k* de la roue d'échappement en mouvement sous l'action de la force motrice, vienne choquer, pour s'en dégager presque immédiatement, le doigt *f*; il résulte de ce choc une communication de force vive au balancier pour neutraliser les effets du choc du doigt *e* en c_0, du frottement des pivots et de la résistance de l'air. Il faut toutefois que la bascule arrive à son état

de repos en temps voulu, pour arrêter au passage la dent *i* qui précédait immédiatement la dent *g*. Lorsque le balancier revient sur lui-même, ou de la gauche vers la droite, le doigt *e* abaisse légèrement la lame $a_0 c_0$ et s'en dégage ensuite, sans modifier l'état de repos de la bascule. On voit ainsi que la roue d'échappement ne tourne que de l'intervalle d'une dent pour chaque oscillation complète du balancier.

L'échappement est *libre* parce que la dent *h*, après avoir frappé le doigt *f* s'en dégage immédiatement et que l'action de la force motrice ne peut dans un temps aussi court modifier le mouvement du balancier.

Si un chronomètre muni d'un pareil échappement s'est arrêté, il ne peut de lui-même se remettre en marche après le remontage; il faut lui imprimer une secousse capable de dégager la dent *g* du repos.

24. *Du tirage.* — Mais cette faculté que possède l'échappement peut devenir un inconvénient et engendrer des irrégularités dans la marche du chronomètre à la suite de secousses accidentelles que l'on ne peut pas toujours éviter; et c'est pourquoi on a donné une inclinaison des dents sur le rayon pour produire du *tirage*, en se servant de l'expression ordinaire des horlogers, et c'est ce dont nous allons maintenant chercher à nous rendre compte.

Soient (*fig.* 17) :

ε l'inclinaison dont il s'agit;

μ le moment de la force motrice transmise à la roue, par rapport au point C;

N la pression normale exercée par la dent *g* sur le repos;

f le coefficient du frottement qui en résulte lorsque le dégagement de la dent se produit ou tend à se produire;

R le rayon *r*C.

Le moment des forces N et N*f* par rapport à C doit être égal à μ, ce qui donne la relation :

$$N = \frac{\mu}{R(\cos\varepsilon - f\sin\varepsilon)}.$$

Les composantes de ces mêmes forces suivant la direction de R, et celle qui lui est perpendiculaire ont respectivement pour valeurs :

$$N \sin\varepsilon + Nf\cos\varepsilon = \frac{\mu}{R}\left(\frac{\operatorname{tang}\varepsilon + f}{1 - f\operatorname{tang}\varepsilon}\right),$$

$$N\cos\varepsilon - Nf\cos\varepsilon = \frac{\mu}{R}.$$

La distance d du point O à la première de ces composantes ne variera pas d'une manière appréciable pendant toute la durée du dégagement de la dent g; il n'en sera pas de même de la distance du point d'application de N et Nf à la perpendiculaire abaissée de O sur R au-dessous de laquelle est situé ce point; cette distance, quoique toujours très-petite, peut varier relativement d'une manière appréciable suivant les relations de positions adoptées, et nous y substituerons sa valeur moyenne d. Les forces N et Nf, donneront donc lieu par rapport au point O, un moment résistant ou qui s'opposera au seul déplacement possible de la bascule, ayant pour expression :

$$(1) \qquad \frac{\mu d}{R}\left(\frac{\operatorname{tang}\varepsilon + f + \frac{d'}{d}}{1 - f\operatorname{tang}\varepsilon}\right).$$

ou approximativement comme f, ε, $\frac{d'}{d}$ sont de petites quantités,

$$(2) \qquad \frac{\mu d}{R}\left(\operatorname{tang}\varepsilon + f + \frac{d'}{d}\right).$$

Cette expression devra être multipliée par le déplacement angulaire de la bascule décrit jusqu'au moment où la dent se dégage, pour représenter le travail résistant qu'il faudra vaincre, ou la portion de la demi-force vive due à une secousse nécessaire pour produire le dégagement.

Si l'on fait abstraction du terme $\frac{d'}{d}$ qui est indépendant de l'angle ε, l'expression ci-dessus du moment devient :

$$\frac{\mu}{R}(\operatorname{tang}\varepsilon + f),$$

son rapport à ce qu'il serait si ε était nul est

$$(3) \qquad \frac{\operatorname{tang}\varepsilon}{f} + 1,$$

et a pour valeur 3,226 dans le cas usuel de $\varepsilon = 12°$, $f = 0{,}1$: on voit aussi quelle est l'influence considérable que peut avoir une faible inclinaison de 12° pour les dents relativement à la stabilité de l'échappement.

25. *Du mode de tracé de l'échappement et des relations entre ses éléments linéaires et angulaires.* — Supposons (*fig.* 18) que l'on se donne la position des centres C et O' dont nous prendrons la distance pour unité, et que la bascule soit au repos; on détermine l'extrémité k de la dent qui doit la première frapper l'appendice f par l'intersection de deux droites Ck O'k partant des points C et O', et faisant respectivement avec O'C les angles donnés α et β. La naissance h de la même dent résultera de la rencontre de deux droites, l'une Oh faisant avec Ok l'angle γ, l'autre kh faisant avec Ck l'angle ε.

On reconnaît très-facilement que l'on a :

$$(4) \quad \begin{cases} Ck = \dfrac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}, \\ Ok = \dfrac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}, \\ kh = \dfrac{\sin\gamma \cdot OK}{\sin(\alpha+\beta-\delta-\gamma)} = \dfrac{\sin\alpha\sin\gamma}{\sin(\alpha+\beta-\delta-\gamma)\sin(\alpha+\beta)} \end{cases}$$

Pour trouver le rayon Ch de la circonférence intérieure

de la roue, il suffit de résoudre le triangle Ckh dont on connaît deux côtés Ck et kh et l'angle compris ε; mais comme cet angle est généralement petit, on peut prendre tout simplement

$$Ch = Ck - kh\cos\delta. \tag{5}$$

M. Martens suppose douze dents à la roue; il s'arrange de manière que les dents soient symétriquement situées par rapport à O'C lors du repos, et l'on a par suite :

$$\alpha = 12^\circ.$$

Il prend en outre

$$\beta = \delta = 25^\circ,$$
$$\varepsilon = 12^\circ, \quad \gamma = 5^\circ.$$

Et en effectuant les calculs, on trouve

$$Ck = 0{,}7019$$
$$O'k = 0{,}3452$$
$$kh = 0{,}0880$$
$$Ch = 0{,}6156.$$

On choisit la troisième des dents qui suit la dent Kh, pour celle qui s'appuie sur le repos, et si Cg est le rayon qui aboutit à sa naissance g, l'angle $O'Cg$ est égal à 60°.

Le repos se trouve à très-peu près à égale distance du pivot et de l'extrémité libre de la bascule.

L'étendue du repos correspond à un angle de 3° ayant son sommet au point O.

26. ***Du jeu de l'échappement en ayant égard à l'élasticité de la lame de levée.*** — L'encastrement de la lame étant très-voisin de l'axe de rotation de la bascule, on peut sans erreur appréciable, et en vue de simplifier les formules supposer qu'il coïncide avec le point O.

Soient :

Obc (*fig.* 19) la forme et la position de la lame, lorsque

la bascule tourne d'un angle très-petit, θ dont nous ne conserverons que la première puissance.

Obx la position correspondante de la tangente au point d'encastrement, faisant avec Oc_0 l'angle θ.

O' la projection de l'axe de rotation du balancier qui se trouve sur le prolongement de Oc_0.

c la position moyenne du contact entre la lame et le doigt, pendant toute la durée de la levée, et où nous supposerons que le contact a lieu constamment.

θ' l'angle également petit qui forme Oc_1, avec OO'.

r' le rayon $O'c_0$ que nous pouvons considérer comme égal à $O'c_1$.

z, z' les ordonnées des points c_1 et c_1, par rapport à OO' avec lesquelles les chemins c_1c_0, cc_0 coïncident très-sensiblement.

ω_1, ω_1' les vitesses angulaires de la bascule et du balancier, après le choc du doigt et de la lame, calculée d'après les principes exposés plus haut.

I, I' les moments d'inertie de la bascule et du balancier autour de leurs axes respectifs.

τ le moment résistant par rapport au point O dû au tirage.

$K\theta$ le moment dû à la tension du ressort spiral placé en O par rapport au même point, supposé ainsi proportionnel à l'angle θ à cause de la petitesse du déplacement (*).

$K'\theta'$ le moment dû à l'action du spiral réglant sur le balancier.

Nous conserverons d'ailleurs les autres notations du n° 4 où nous sommes occupé des relations entre les divers éléments qui se rapportent à une lame élastique.

Nous aurons :

(*) Voir, pour la détermination de K, le lemme n° 4.

$$c = z' - z,$$

$$p = \frac{4\mu}{l^3\lambda^2}(z' - z),$$

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{4\mu}{l^3\lambda^2}(z' - z) - \tau - K\theta,$$

$$I'\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{4\mu}{l^3\lambda^2}(z' - z) - K'\theta',$$

et comme

$$z' = r'\theta', \quad z = l\theta,$$

il vient :

$$(1)\quad \begin{cases} \dfrac{I}{l}\dfrac{d^2z}{dt^2} = \dfrac{4\mu}{l^3\lambda^2}(z' - z) - \dfrac{K}{l}z - \tau, \\ \dfrac{I'}{r'}\dfrac{d^2z'}{dt^2} = -\dfrac{4\mu}{l^3\lambda^2}(z' - z) - \dfrac{K'}{r'}z'. \end{cases}$$

Pour simplifier, nous poserons :

$$\frac{\frac{4\mu}{l^3\lambda^2} + K}{I} = A, \qquad \frac{\frac{4\mu r'}{l^3\lambda^2} + K'}{I'} = A', \qquad \frac{\tau l}{I} = C,$$

$$\frac{4\mu}{l^3\lambda^2 I} = B', \qquad \frac{4\mu r'}{l^3\lambda^2 I'} = B',$$

et nous aurons :

$$(2)\quad \begin{cases} \dfrac{d^2z}{dt^2} = -Az + Bz' - C, \\ \dfrac{d^2z'}{dt^2} = -A'z' + B'z. \end{cases}$$

En posant :

$$z = z_1 + \frac{C}{BB' - AA'}, \qquad z' = z'_1 + \frac{C}{A'B - AB'},$$

ces deux équations deviennent :

$$(3)\quad \begin{cases} \dfrac{d^2z_1}{dt^2} = -Az_1 + B'z'z'_1, \\ \dfrac{d^2z'_1}{dt^2} = -A'z'z'_1 + Bz'_1,\ z_1. \end{cases}$$

Soient :

$$\alpha_1^2 = \frac{A + A' + \sqrt{(A - A')^2 + 4BB'}}{2}, \qquad \beta_1 = \frac{A - A' - \sqrt{(A - A')^2 + 4BB'}}{2B'},$$

$$\alpha_2^2 = \frac{A + A' - \sqrt{(A - A')^2 + 4BB'}}{2}, \qquad \beta_2 = \frac{A - A' + \sqrt{(A - A')^2 + 4BB'}}{2B'}.$$

En désignant par M_1, M_2, N_1, N_2 quatre constantes arbitraires, les intégrales générales des équations (3) seront :

$$(4)\quad \begin{cases} z_1 = M_1\cos(\alpha_1 t + N_1) + M_2\cos(\alpha_2 t + N_2), \\ z'_1 = M_1\beta_1\cos(\alpha_1 t + N_1) + M_2\beta_2\cos(\alpha_2 t + N_2). \end{cases}$$

Nous remarquerons que l'on a $AA' > BB'$, et que par suite les valeurs ci-dessus de α_1^2, α_2^2 sont positives, et qu'enfin les inconnues z et z' ne renferment pas d'exponentielles. Nous avons donc :

$$(5)\quad \begin{cases} z = M_1\cos(\alpha_1 t + N_1) + M_2\cos(\alpha_2 t + N_2) - \dfrac{C}{AA' - BB'}, \\ z' = M_1\beta_1\cos(\alpha_1 t + N_1) + M_2\beta_2\cos(\alpha_2 t + N_2) - \dfrac{C}{AB' - A'B}. \end{cases}$$

Les questions constantes M_1, M_2, N_1, N_2 se détermineront par les conditions :

$$\left.\begin{aligned} z &= 0 \\ z' &= 0 \\ \frac{dz}{dt} &= w \\ \frac{dz'}{dt} &= w' \end{aligned}\right\} \text{ pour } t = 0.$$

Mais comme les formules sont trop compliquées pour être facilement discutées, nous allons étudier séparément l'influence des différentes forces qui agissent sur la bascule.

Supposons en premier lieu que l'on puisse négliger le

tirage et l'action des ressorts spiraux. Dans ce cas on a les équations :

$$(6)\qquad \begin{cases} \dfrac{d^2z}{dt^2} = A(z'-z), \\ \dfrac{d^2z'}{dt^2} = -A'(z'-z). \end{cases}$$

En les retranchant l'une de l'autre, on obtient :

$$\frac{d^2(z'-z)}{dt^2} = -(A+A')(z'-z),$$

d'où

$$z'-z = M\cos\sqrt{A+A'}\,.\,t + M'\sin\sqrt{A+A'}\,.\,t,$$

M et M′ étant deux constantes arbitraires. La constante M sera nulle, parce que l'on a $z=0$, $z'=0$ pour $t=0$, et comme, pour la même valeur du temps, la différence des vitesses est $w'_1 = w_1$ il vient :

$$(8)\qquad \begin{cases} w'_1 - w_1 = M'\sqrt{A+A'}, \\ z'-z = \dfrac{w'_1-w_1}{\sqrt{A+A'}}\sin\sqrt{A+A'}.t. \end{cases}$$

En éliminant les seconds membres des mêmes équations (6) on trouve :

$$(9)\qquad A'z + Az' = (A'w_1 + Aw'_1)t.$$

Les deux vitesses w_1', w_1 étant très-sensiblement égales, z' est égal à z, et la différence $z'-z$ ne peut provenir que du tirage et de l'action des ressorts spiraux que nous avons négligée.

Tenons maintenant compte du tirage en négligeant les actions des spiraux, et en supposant égales les deux vitesses w_1, w'.

On aura :

$$\frac{d^2z}{dt^2} = A(z'-z) - \tau,$$

$$\frac{d^2z'}{dt^2} = -A'(z'-z),$$

d'où

$$\frac{d^2}{dt^2}(z'-z) = -(A+A')(z'-z) + \tau,$$

par suite

$$(10)\qquad z'-z = \frac{\tau}{A+A'} + M\cos\sqrt{A+A'}.t + N\sin\sqrt{A+A'}t.$$

Si nous admettons que les vitesses w_1, w'_1 soient égales, on a :

$$(11)\qquad z'-z = \frac{C}{A+A'}\left(1-\cos\sqrt{A+A'}.t\right);$$

d'autre part :

$$A'\left(\frac{dz}{dt}-w_1\right) + A\left(\frac{dz'}{dt}-w_1\right) = -Ct^2A',$$

d'où

$$(12)\qquad A'z + Az' = (A+A')w_1t - \frac{Ct^2A'}{2},$$

En négligeant les puissances de t supérieures à la deuxième, l'équation (11) donne :

$$(13)\qquad z'-z = \frac{C}{2}t^2,$$

d'où

$$A'z + Az' = (A+A')w_1t - A'(z'-z),$$

$$z' = w_1t,$$

$$z'-z = \frac{C}{2}\frac{z'^2_1}{w_1^2}.$$

Cette dernière quantité est très-petite et peut être considérée comme nulle.

27. Soient c (*fig.* 20), la longueur du doigt à partir du point c_0; c_2 le point, où il est sur le point de quitter la lame; comme Oc_0 est très-grand par rapport à $O'c_0$, on peut comme

nous l'avons fait jusqu'ici considérer comme rectiligne, le chemin décrit par l'extrémité du ressort; l'ordonnée en point de dégagement est

$$z_2 = \sqrt{2r'e},$$

en négligeant le quarré de e.

Soit δ l'angle au centre correspondant au repos, et qui est supposé très-petit, il faut pour que le doigt se dégage que

$$l\delta \leq z_2,$$

d'où

$$e \geq \frac{l^2\delta^2}{2r'}.$$

28. Des considérations analogues sont applicables à l'échappement libre à ressort et aux diverses variétés de l'échappement à détente pour la description desquelles nous renverrons au traité d'échappement de M. Martens.

NOTE

SUR UN NOUVEAU TUBE INDICATEUR DU NIVEAU DE L'EAU DANS LES CHAUDIÈRES VERTICALES, INVENTÉ PAR M. PLANCHE, INGÉNIEUR AUX FORGES D'IMPHY.

Par M. ICHON, ingénieur des mines.

Lors de l'explosion d'une chaudière verticale survenue au mois d'octobre 1868, aux forges d'Imphy (Nièvre), j'ai signalé l'absence du tube indicateur sur toutes les chaudières verticales. On n'y trouve, en général, pour indiquer le niveau de l'eau, que des flotteurs et des robinets de jauge. L'un et l'autre de ces systèmes d'indication présentent des inconvénients sérieux, et l'on ne peut pas toujours compter sur les indications qu'ils fournissent. Les garnitures des tiges des flotteurs sont fréquemment trop serrées et ne permettent pas leur libre mouvement; quant aux robinets de jauge, ils peuvent induire en erreur, l'eau condensée de la vapeur pouvant faire croire à l'immersion des tubes dans l'eau de la chaudière, tandis que par le fait ils débouchent dans la vapeur. On ne peut donc que louer l'article 9 du décret du 25 janvier qui prescrit, alinéa 2 :

L'un de ces deux indicateurs est un tube en verre disposé de manière à pouvoir être facilement nettoyé et remplacé au besoin; l'alinéa 1 prescrit en outre qu'il sera placé en vue du chauffeur.

Or, s'il est facile de remplir ces conditions pour les chaudières horizontales, il n'en est pas de même pour les chaudières verticales, au moins avec les tubes ordinairement en usage jusqu'à ce jour. En effet, le niveau de l'eau dans les chaudières verticales peut, en général, varier entre des li-

mites extrêmes éloignées de 50 à 60 centimètres. Il faudrait donc des tubes en cristal d'au moins $0^m,50$ de longueur et, quand on sait combien ces tubes sont sujets à rupture, on comprend que leur remplacement pourrait entraîner une dépense sérieuse. En outre, il serait impossible de satisfaire à la prescription du premier alinéa de l'article 9, c'est-à-dire de les placer en vue du chauffeur, car on sait que ces tubes se salissent très-rapidement, et il ne serait pas possible de distinguer le niveau de l'eau à une hauteur pareille, même dans un tube parfaitement propre.

La commission des machines à vapeur a jugé, à propos de l'accident d'Imphy, que, malgré les inconvénients que nous venons de signaler, il y avait lieu d'obliger les propriétaires à munir leurs chaudières verticales du niveau, et qu'il était du devoir du chauffeur de monter pour l'examiner. Outre que cela ne répond plus à l'alinéa 1 de l'article 9 du décret, je me permettrai de faire observer que si, à la vérité, il est du devoir du chauffeur de monter pour examiner son niveau, c'est là un de ces devoirs auxquels il peut manquer facilement, et c'est généralement à la suite d'un devoir négligé que se produisent les accidents.

J'indiquerai ici un nouveau système de niveau pour les chaudières verticales, imaginé par M. Planche, ingénieur aux forges d'Imphy, pour lequel il a pris un brevet et qui résout d'une manière avantageuse toutes les difficultés.

Cet appareil est fondé sur la différence de densité entre le mercure et l'eau. Un tube en U, en verre, contenant à sa base une petite colonne de mercure, et placé au bas de la chaudière, est mis en communication par l'une de ses branches avec la partie supérieure de la chaudière contenant la vapeur, par l'autre avec l'eau de la chaudière, au moyen des tubes T et R débouchant en *a* et *b* (*fig.* n° 1). Les deux tubes seront pleins d'eau, le tube T étant toujours rempli par l'eau de condensation. En supposant le

niveau de l'eau en *cd*, on aura sur la surface A de la colonne mercurielle une pression :

$$Q+P,$$

Q étant la pression de la vapeur ;
P celle de la colonne d'eau de hauteur H.
Sur la surface C nous aurons :

$$Q+P-p,$$

p étant la pression d'une colonne d'eau de hauteur *h*, la différence des pressions sera précisément cette même quantité *p* correspondant à *h*. En vertu de cette différence de pressions, le mercure montera en C, descendra en A, de manière à venir en A′ et C′ pour rétablir l'équilibre ; *hm* étant la dénivellation du mercure, on aura :

$$hm \,.\, 13,6 = (h+hm) \,.\, 1,$$

d'où

$$hm = \frac{h}{12,6}.$$

Les variations de niveau du mercure seraient donc à peu près le treizième de celles de l'eau, ce qui donnerait pour $0^m,50$ une dénivellation totale d'à peu près $0^m,04$. Pour rendre les indications encore plus sensibles, on élargit l'un des tubes dans la partie où oscille le niveau du mercure, de manière à y rendre ces oscillations plus évidentes et à doubler à peu près l'étendue de celles qu'on observe dans l'autre branche.

Les *fig.* 3 et 4 montrent la disposition de l'appareil tel qu'il est installé à Imphy ; j'ai constaté qu'il fonctionnait parfaitement ; le niveau du mercure est très-mobile et se distingue beaucoup mieux que celui de l'eau dans les tubes ordinaires. Dans l'essai fait d'abord à Imphy, on avait fait déboucher le tube R un peu au-dessous du niveau le plus

bas habituellement atteint: j'ai fait observer que de cette manière l'appareil donnerait des indications fausses, si le niveau descendait plus bas ; aujourd'hui les tubes R et T débouchent au delà des limites extrêmes, que la surface de l'eau ne doit jamais dépasser.

Les *fig.* 3 et 4 indiquent suffisamment les détails de la construction de l'appareil pour qu'il soit inutile d'y insister; deux robinets munis de garnitures à vis permettent d'enlever facilement le tube pour le nettoyer, lorsque cela devient nécessaire. Il est d'ailleurs placé en vue du chauffeur et répond ainsi à toutes les conditions prescrites. Je pense donc qu'il serait utile de recommander cet appareil aux propriétaires d'usines, et je crois qu'il remplira avantageusement, pour les chaudières verticales, les fonctions du tube à eau dans les chaudières horizontales.

NOTE SUR LE RAPPORTEUR TABARANT.

Par M. ICHON, ingénieur des mines.

M. Tabarant, géomètre aux mines de Decize (Nièvre), a imaginé un instrument destiné à rapporter sur le papier, plus rapidement et plus exactement qu'il n'est possible de le faire avec les procédés généralement usités jusqu'ici, les plans levés d'une manière quelconque, soit dans la mine, soit au jour. Les procédés en usage pour rapporter les plans levés avec la boussole suspendue, la boussole quarrée, le graphomètre, le théodolithe ou le pantomètre, sont graphiques ou numériques, c'est-à-dire se fondant sur l'emploi du rapporteur ordinaire, de la boussole ou des trois plans coordonnés.

Les opérations exécutées avec le rapporteur ordinaire sont entachées de deux causes d'erreurs : la première gît dans l'imperfection même de l'instrument qui ne permet pas d'obtenir une approximation de plus de 1/8 de degré, et dans la difficulté de faire coïncider exactement son centre avec le point auquel on veut faire un angle donné; la seconde, dans l'amplification d'une première erreur qui, par le mode même de construction, se répète sur tous les angles subséquents. Cette deuxième cause d'erreur est évitée avec la boussole; en effet, supposons dans une construction une erreur sur une direction ab, représentée par l'angle bab_1 (*fig.* 1) ; si abc est l'angle suivant, nous aurons avec la boussole, les directions étant toujours rapportées au méridien magnétique, b_1c_1 pour le nouveau côté du lever au lieu de bc; avec le rapporteur nous aurons $b_1c'_1$; dans ce dernier cas l'écart sera cc'_1 plus grand que cc_1 qui est

égal à bb_1. Il n'est cependant pas possible non plus avec la boussole d'obtenir une approximation de plus de 1/8 de degré, en outre il faut, pour pouvoir se servir de cet instrument, être placé dans un bureau dépourvu d'objets en fer et éloigné des masses de fer un peu considérables, telles que grilles, voies ferrées, etc., condition généralement fort difficile à réaliser et sur l'importance de laquelle on n'est probablement pas fixé partout; elle ressort de ce fait qu'au bureau des mines de Decize, placé au premier étage, où tous les ferrements des fenêtres, volets, etc., ont été faits en cuivre, l'influence d'une grille en fer dans la cour sur l'aiguille est telle qu'il y a un écart de 1/4 de degré d'un bout à l'autre du plan qui n'a que $2^m,50$ de longueur. Enfin pour bien opérer avec la boussole, la table à dessin doit être exactement horizontale pour permettre à l'aiguille d'osciller librement.

Toutes ces conditions étant réalisées, les opérations elles-mêmes sont très-longues, pour peu que l'aiguille soit sensible, à cause des oscillations répétées et des tâtonnements auxquels on est astreint.

Reste la méthode des trois plans coordonnés. On ne peut lui refuser l'exactitude, mais tout le monde sait combien elle est longue et encore, pour opérer un peu plus facilement, faut-il se servir de papier quadrillé qui ne contribue pas à la netteté des plans de mine toujours exposés à se salir et à devenir diffus dans la longue durée de leur service. Pour les galeries secondaires surtout, où l'on est fréquemment obligé de lever un grand nombre de points, sans que toutefois ce lever comporte le degré d'exactitude attaché à la méthode des trois plans coordonnés, elle devient très-fastidieuse.

Le rapporteur Tabarant combine la rapidité d'opération avec une grande exactitude, suffisante même pour les levers faits au théodolithe. Il permet de rapporter immédiatement les angles levés à la boussole et, à l'aide d'une

transformation très-simple, ceux levés au graphomètre, théodolithe, etc.

Son emploi se fonde, comme celui de la boussole, sur l'existence d'une direction fixe à laquelle sont rapportées les directions de toutes les lignes du lever; seulement ici cette direction qui est celle du méridien astronomique, est absolument fixe, tandis que celle du méridien magnétique, qui sert dans l'emploi de la boussole, varie avec le temps.

La direction fixe est donnée dans l'instrument par les deux règles AB, CD (*fig.* 3 et coupes), d'un lozange articulé en fer; les côtés ont $0^m,60$ de longueur. J'appellerai AB le côté fixe, parce qu'il est maintenu dans une position invariable pendant l'opération au moyen d'un fort poids en plomb ou en fonte figuré sur le dessin; le côté fixe a une épaisseur double des autres, pour que l'on puisse renverser le parallélogramme sens dessus dessous, comme nous le verrons plus loin.

Le rapporteur lui-même se compose d'un demi-cercle évidé en laiton, prolongé un peu en dessous de son diamètre et porté par une règle IK parallèle à ce diamètre; le demi-cercle est divisé en demi-degrés, il porte quatre graduations, une de 0° à 180° et une de 180° à 360° de gauche à droite et deux parcilles de droite à gauche. A son centre est attachée une alidade munie d'un petit arc LM formant vernier et donnant les minutes. En dessous de la règle LK est attaché un arc de cercle NP dont le centre se trouve en O et qui porte une division en quarts de degré jusqu'à 25°. La vis Q permet de fixer cet arc dans une position déterminée par rapport à la règle IK.

Il reste à indiquer la manière de se servir de l'instrument. Je suppose qu'il s'agisse d'un lever fait à la boussole, on commence par placer la règle AB (*fig.* 2) sur une ligne parallèle au méridien astronomique; il suffit de tracer sur le plan des lignes distantes de $0^m,60$, suivant cette direction pour pouvoir atteindre un point quelconque. On

fixe l'arc NP de manière que ON forme avec IK un angle égal à la déclinaison de l'aiguille magnétique au moment de l'opération du lever ; cet angle variera donc avec le temps et les lieux ; l'arc NP permet de lui donner la valeur convenable; supposons-le de 18°. En admettant qu'on ait lu un angle de 45° dans le lever d'une direction avec une boussole graduée de gauche à droite, IK étant la direction de l'aiguille, il suffira de faire tourner l'alidade de droite à gauche depuis le 0° jusqu'à la division 45°, pour avoir la direction cherchée ; pour tracer ensuite une ligne parallèle par un point quelconque p, on n'aura qu'à faire glisser l'appareil, AB restant toujours fixe jusqu'à amener ce point contre l'alidade, ce qui se fait très-facilement et très-rapidement.

Si la boussole était graduée de droite à gauche, on aurait lu 315°, et ce même angle se lirait sur le rapporteur dans les graduations de gauche à droite 180° à 360°.

On voit qu'en opérant comme je viens de l'indiquer, on compte les angles sur le rapporteur en sens contraire de leur lecture sur la boussole ; c'est pour obvier à cet inconvénient qui, lorsqu'on manque d'habitude, peut occasionner des erreurs, qu'on a aménagé le parallélogramme de manière à ce qu'en le renversant la règle CD ne s'applique plus sur le papier (*fig.* 4 et coupe correspondante), et permette au rapporteur de glisser en dessous de cette règle. Pour arriver dans ces conditions à lire les angles directement, on applique la règle ON sur une ligne NS tracée sur le plan ; on ramène l'alidade à la ligne 0—180° (*fig.* 5), et l'on applique contre les taquets aa de cette alidade (voir *fig.* 4 et la coupe *lmn*) le côté CD du parallélogramme ; CD et AB sont alors parallèles au méridien magnétique et l'on fixe AB dans cette position. Pour faire l'angle de 45° on laisse l'alidade fixée contre la règle CD, et l'on tourne le rapporteur en dessous, ainsi que le montre la *fig.* 6 ; IK donne alors la direction cherchée, et l'on voit que l'angle de 45° est lu

de gauche à droite ; pour tracer la direction cherchée par le point p on opère comme précédemment. Il est bien entendu que dans la pratique on fera l'angle de 45° au moyen de l'alidade, puis on appliquera celle-ci contre la règle CD, le parallélogramme ayant été monté à l'avance, et l'on tracera alors immédiatement la direction cherchée avec la règle IK. La description de l'opération est du reste plus longue que la pratique, et l'on est étonné de voir la rapidité avec laquelle un lever peut être rapporté. Ainsi j'ai fait tracer sous mes yeux, à l'aide du rapporteur Tabarant, un polygone régulier de 24 côtés ; il a été achevé en vingt-cinq minutes ; le même polygone tracé avec la boussole a demandé $1^h,15$, et tandis que sur les 24 angles tracés l'erreur totale avec le rapporteur n'était que de 10 minutes ce qui fait $\frac{5}{12}$ de minute d'erreur moyenne par angle, avec une boussole de même diamètre, l'erreur totale s'est trouvée de 3° 45′ et par suite l'erreur par angle de $\frac{225'}{24}$ ou de 9′,3, c'est-à-dire que cette dernière était au moins 18 fois plus forte, ce qui s'explique du reste, le rapporteur donnant les angles à une minute près, tandis que la boussole ne les donne qu'à 7′,5 au plus.

Ces résultats montrent très-nettement le grand avantage de l'emploi du rapporteur Tabarant sur celui de la boussole, rien qu'au point de vue de la rapidité et de l'exactitude des opérations. Je ne pense pas qu'il soit nécessaire d'insister sur une comparaison entre cet instrument et le rapporteur ordinaire.

Pour s'en servir dans les levers faits au graphomètre ou au théodolithe, il suffit d'une transformation très-simple des angles lus ; en effet, AB (*fig.* 7) étant la première direction levée qui servira de direction fixe pour le parallé-

logramme, et ABC le premier angle lu, CBN nous donnera l'angle à lire sur le rapporteur : or

$$CBN = 180° - CBA ;$$

pour la deuxième direction :

$$DNM = CBN + 180° - DCB,$$

pour la troisième :

$$DMO = CNM + 180° - EDC,$$

et ainsi de suite. C'est absolument la même opération qu'il faut faire pour réduire à la boussole les angles lus au théodolithe.

Je ferai observer que l'on pourrait, à la rigueur, simplifier le rapporteur en supprimant l'alidade ON; il suffirait pour cela de toujours établir le parallélogramme suivant le méridien magnétique, dans la lecture inverse comme dans la lecture directe, ce qui peut se faire au moyen de l'alidade centrale; cela présenterait seulement l'inconvénient d'obliger à refaire l'angle de déclinaison, chaque fois qu'on changerait la position de la règle fixe AB sur le plan.

Je crois pouvoir recommander le rapporteur Tabarant à tous les bureaux de dessin et spécialement aux bureaux de mines, dans lesquels il est appelé à rendre de véritables services.

BULLETIN.

Creusement des puits en montant.

Le creusement des puits en montant est fréquemment appliqué depuis vingt ans dans les houillères de Belgique.

Le premier essai de ce procédé eut lieu en 1851 au puits *Hainchamps*; en 1863 un semblable travail fut exécuté à la houillère de Fanny, de la mine de l'Espérance, à Seraing, et a été décrit par M. Havrez dans la *Revue universelle*, t. XIV, p. 15; en 1868, on a commencé sur le même principe le creusement du *Bure-Léon* à la houillère de Morchamps.

L'expérience ayant indiqué, dans les travaux de ce genre, des inconvénients quant à l'aérage et à la circulation des ouvriers, on a introduit, pour le creusement du Bure-Léon, des dispositions nouvelles qui y remédient.

Examinons successivement les conditions générales du creusement en montant, puis les dispositions adoptées à Morchamps, enfin les principales circonstances du travail en cours d'exécution.

Conditions générales. — Un étage de 40 à 50 mètres est en exploitation par un ou plusieurs puits d'extraction, foncés jusqu'au niveau des voies de roulage; un puits d'aérage n'atteint que le niveau supérieur du retour d'air.

L'exploitation de cet étage touchant à sa fin, il s'agit d'en préparer un autre 40 à 50 mètres plus bas. On approfondit les puits d'extraction par les procédés ordinaires de fonçage, et on attaque ensuite les nouveaux travers bancs inférieurs. Pendant ce temps il faut que le puits d'aérage atteigne le précédent niveau des voies de roulage, destiné à devenir le retour d'air de l'étage en préparation. *C'est cette extension du puits d'aérage qui se fait en montant.*

Dispositions adoptées à Morchamps. — Le puits en montage est divisé en trois compartiments par deux cloisons verticales. Des deux compartiments latéraux, l'un est muni d'échelles inclinées pour la circulation des ouvriers; l'autre reçoit une partie des dé-

blais; il est maintenu plein, mais il est terminé par une trémie pour le chargement des wagons au pied du montage. Le reste des déblais est provisoirement accumulé dans le compartiment du milieu, où l'on installe ordinairement un ou deux conduits d'aérage, qui se trouvent ainsi logés dans du remblai.

L'air monte par ces conduits et descend ensuite par le compartiment des échelles, ou inversement, selon que l'on préfère aérer en soufflant ou en aspirant : suivant le cas, les portes d'aérage sont placées de l'un ou de l'autre côté du compartiment des échelles.

Enfin ce compartiment est protégé contre la chute des pierres, par un petit plancher horizontal que l'on remonte à mesure de l'avancement du travail.

Circonstances principales du montage au Bure-Léon.—Le puits est circulaire, il doit avoir $3^{m},70$ de diamètre intérieur, soit 3 mètres après revêtement d'une brique et demie. La longueur totale à creuser est de 157 mètres, répartie en deux tronçons consécutifs: le premier de 117 mètres en montant du niveau de 283 mètres au niveau de 166 mètres : le second de 40 mètres entre les niveaux 323 et 283. Le puits est boisé au moyen de cadres octogonaux en chêne ; les bois ont 15 à 20 centimètres de côté et sont assemblés à plats joints, avec clames boulonnées. Les cadres sont espacés d'environ 1 mètre et sont reliés par huit montants aux angles et huit boulons à embases, placés au milieu des pièces. Le premier cadre, et par suite tout le système, repose sur une forte charpente comprenant quatre pièces horizontales de 30 centimètres d'équarrissage encastrées dans le terrain, au toit de la galerie inférieure, et supportées en outre par 14 étais verticaux.

Les cadres, cloisons et conduits d'aérage sont placés à mesure de besoin.

Quand le puits est arrivé à hauteur, on vide les deux compartiments pleins de pierre, puis on commence la maçonnerie sur un cadre d'assise, qu'on a eu soin de placer avant d'attaquer le creusement et le boisage du puits; à mesure que la maçonnerie monte on défait les cadres, comme dans une avaleresse ordinaire.

Le travail comporte quatre ouvriers mineurs travaillant en tâche par poste de huit heures; les postes sont continués sans interruption. Voici les chiffres extrêmes caractérisant les résultats dans la partie déjà exécutée.

Le prix par mètre a été de 84 francs et 75 francs dans les *schistes* et de 150 francs et 168 francs dans les *grès*.

La journée est ressortie à des prix variant de $1^{f},76$ à $7^{f},39$.

L'avancement par quinzaine a varié de $2^{m},50$ à $9^{m},40$; le minimum de $2^{m},50$ a été percé dans le grès seul; le maximum de $9^{m},40$ comprend $8^{m},90$ de schiste et $0^{m},50$ de grès.

(*Extrait d'une note de* MM. G. GODIN, *directeur, et* CH. DEMANET, *ingénieur des charbonnages de l'Espérance, à Seraing*, publiée en date du 15 avril 1869, dans le tome XXVIII (année 1870), des *Annales des travaux publics de Belgique.*) L. M.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Mémoire sur les principaux champs de filons de la Saxe et de la Bohême septentrionale; par MM. *Michel Lévy* et *Chouletle* :

1re partie. 117

2e partie. 287

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Nouveau procédé de traitement des minerais d'or et d'argent; par feu M. *L.-E. Rivot*. 1

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Application de la mécanique à l'horlogerie (suite et fin); par M. *H. Résal*. 317

Note sur un nouveau tube indicateur de niveau de l'eau dans les chaudières verticales, inventé par M. Planche; par M. *Ichon*. 379

Note sur le rapporteur Tabarant; par M. *Ichon*. 385

CHIMIE.

Extraits des travaux exécutés au Laboratoire de Mézières (années 1867 et 1868); par MM. *Nivoit* et *Létrange*. 105

BULLETIN.

Creusement des puits en montant 389

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-HUITIÈME.

Pages.

Pl. I à VI. Traitement des minerais d'or et d'argent par le procédé de feu M. L.-E. Rivot. 1

Pl. VII à Pl. XI. Filons de la Saxe et de la Bohême septentrionale. . . 117

Pl. XII. Horlogerie. 317

Pl. XIII, *fig.* 1 à 4. Tube de niveau d'eau de M. Planche. 379

Fig. 1 *bis* à 4 *bis* et 5, 6 et 7. Rapporteur Tabarant. 383

227. — Paris. — Imprimerie Cusset et Cᵉ, rue Racine, 26.

réchauffé.

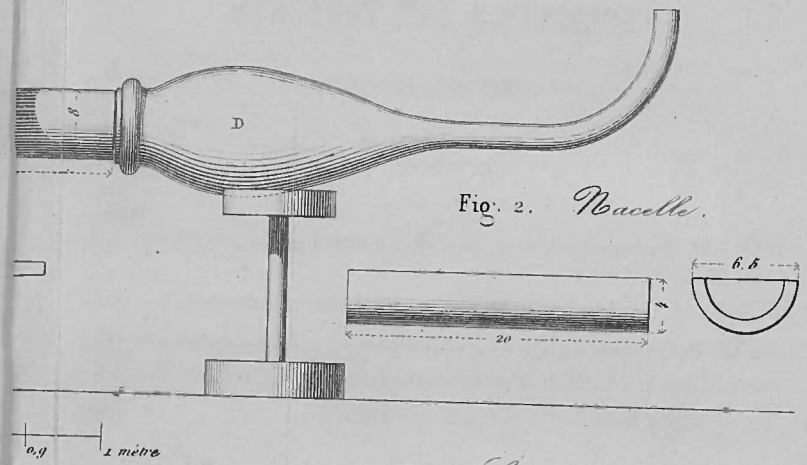
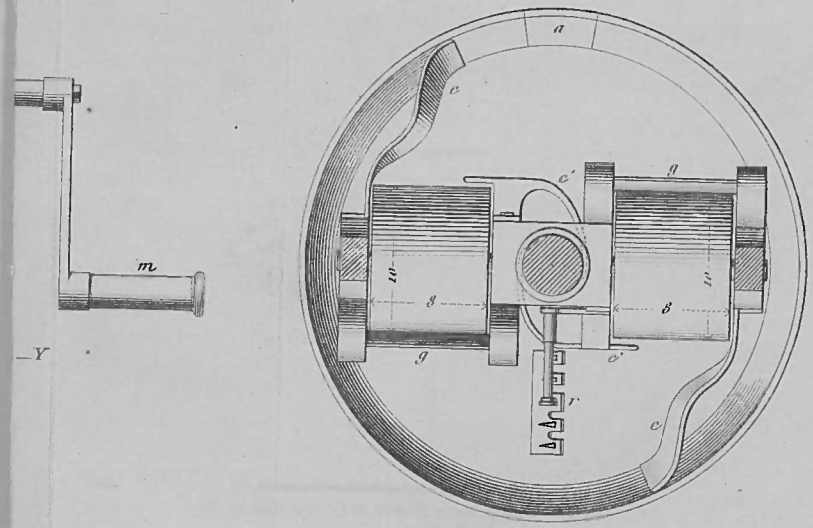
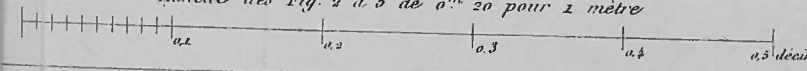


Fig. 2. *Nacelle.*

Fig. 4. *Coupe horizontale par la ligne XY.*



Echelle des Fig. 2 à 5 de 0ᵐ 20 pour 1 mètre



Lemaître, Graveur de l'Empereur, sc.

Appareil pour le grillage à la vapeur surchauffée.

Fig. 1. *Elévation.*

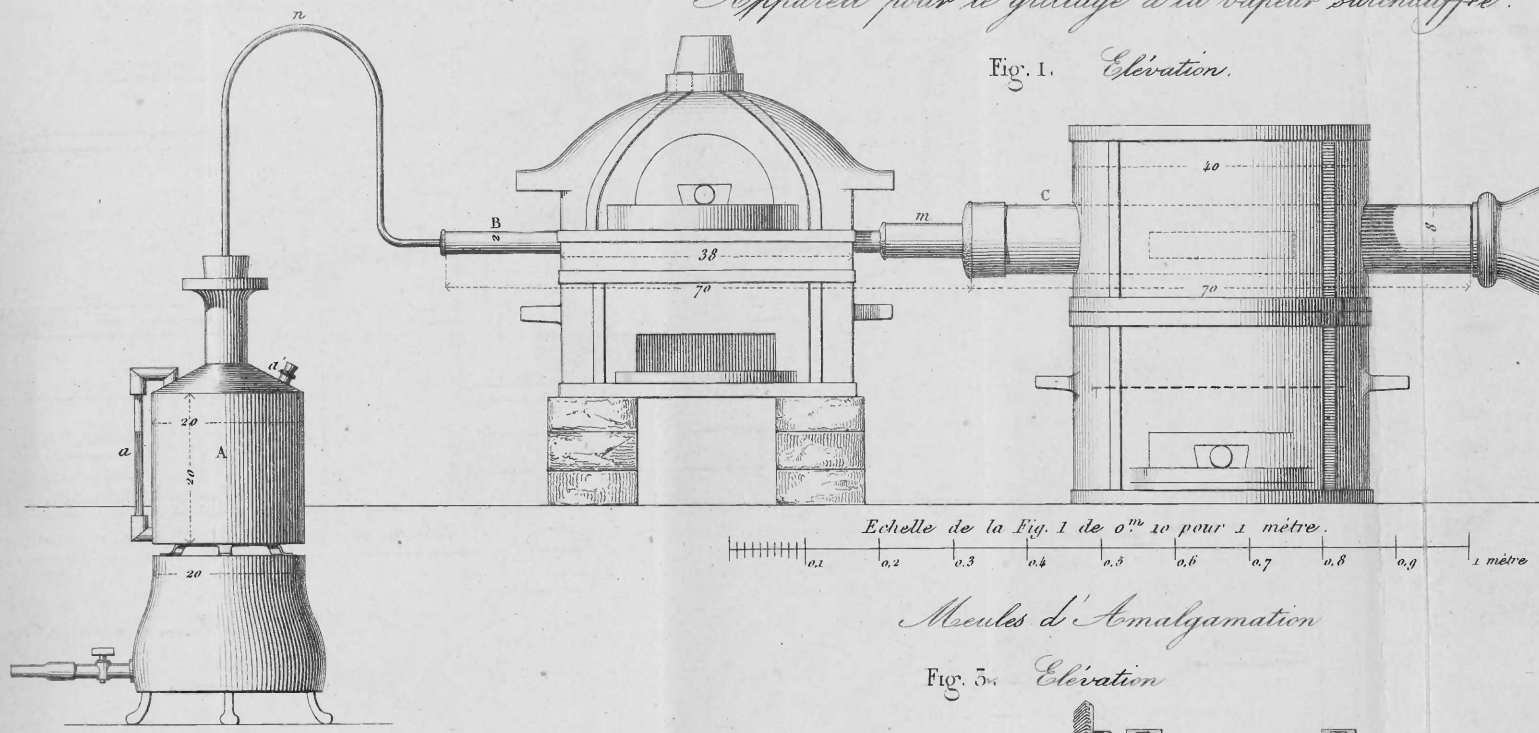
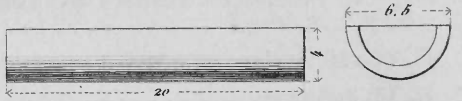


Fig. 2. *Nacelle.*



Echelle de la Fig. 1 de 0^{m} 10 pour 1 mètre.

Meules d'Amalgamation

Fig. 3. *Elévation*

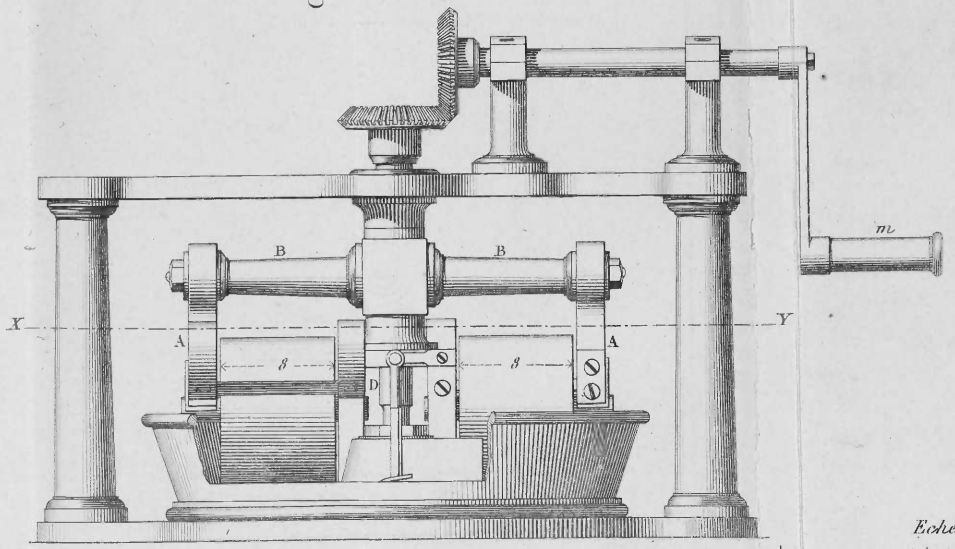


Fig. 4. *Coupe horizontale par la ligne XY.*

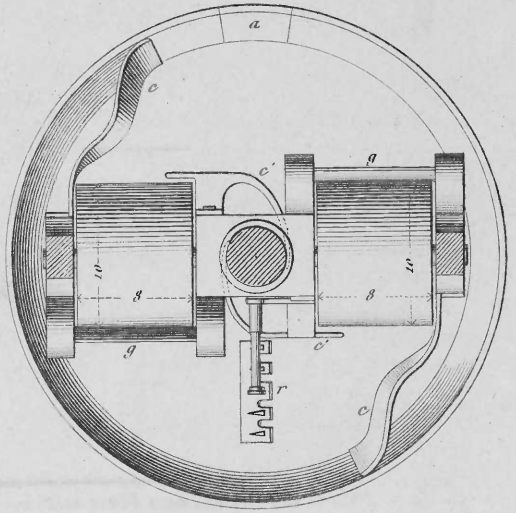
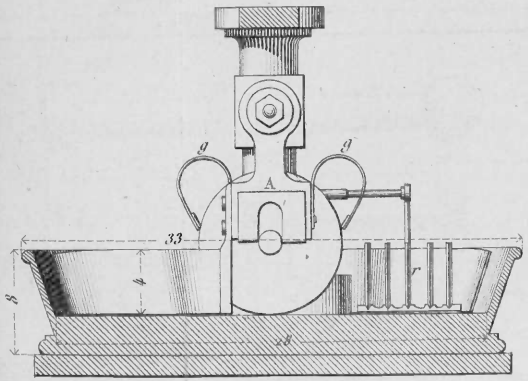
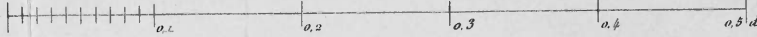


Fig. 5. *Elévation et coupe.*



Echelle des Fig. 2 à 5 de 0^{m} 20 pour 1 mètre



Réverbère pour le grillage des Pyrites à l'air

Fig. 1. *Coupe verticale suivant* 12. (de la Fig. 2.)

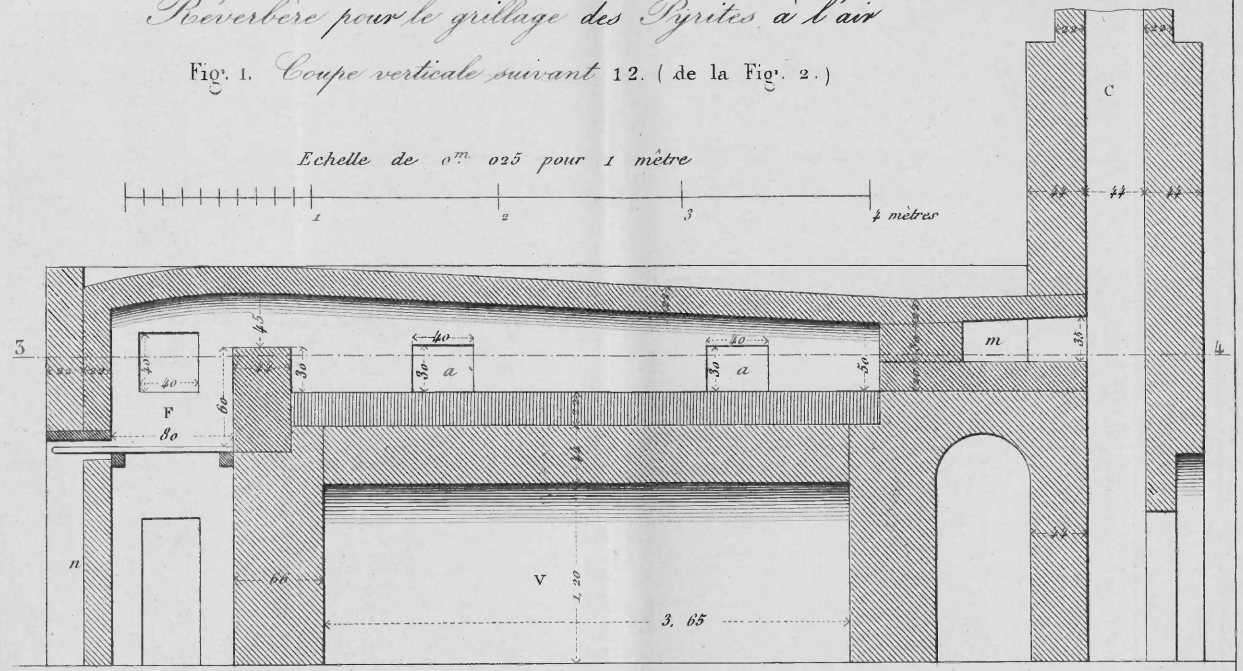
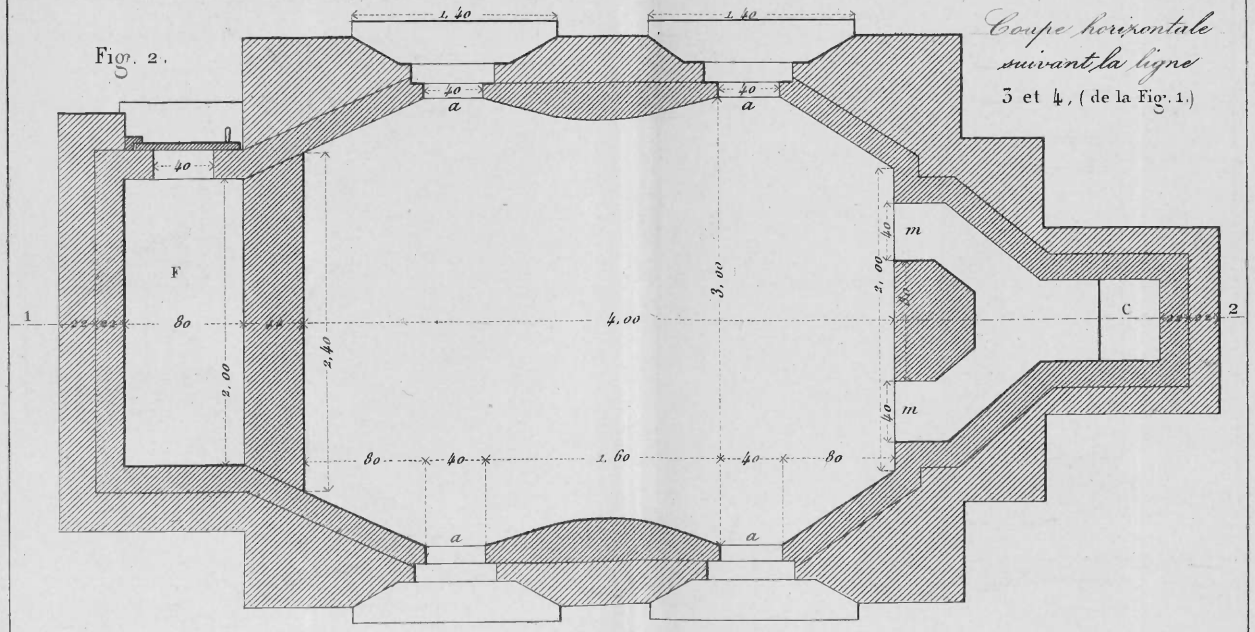


Fig. 2. *Coupe horizontale suivant la ligne* 3 et 4, (de la Fig. 1.)



Four à rotation; détails

Fig. 3. *Base* E.

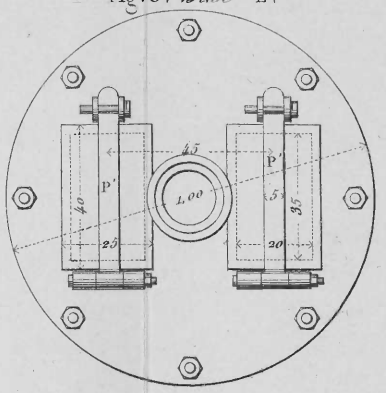


Fig. 4. *Coupe de l'entrée de vapeur*

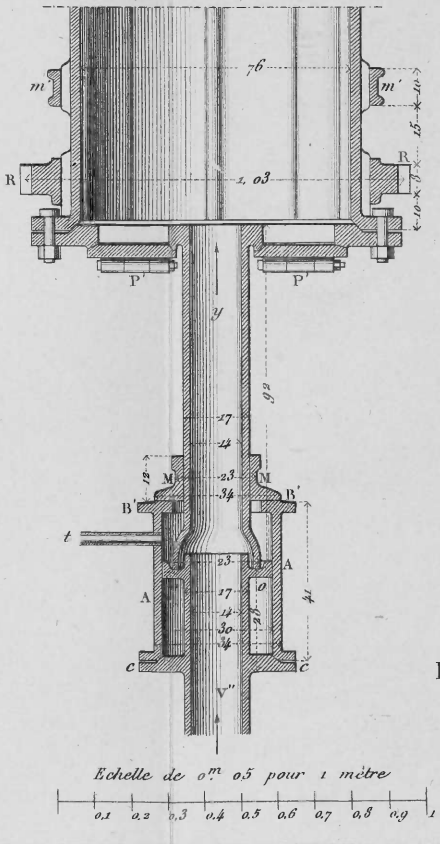


Fig. 5. *Coupe transversale du cylindre*

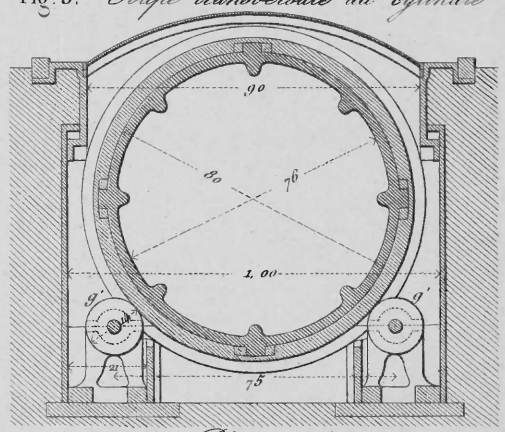
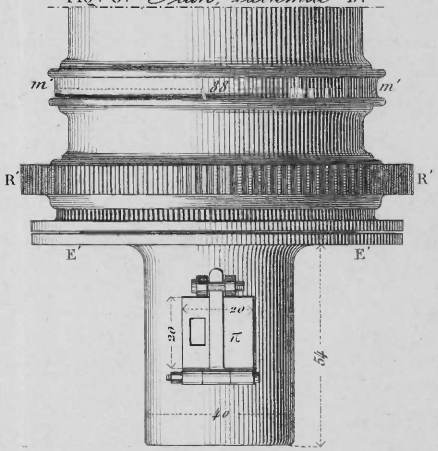


Fig. 6. *Plan: extrémité* E'.



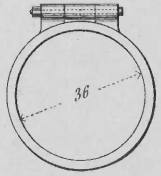
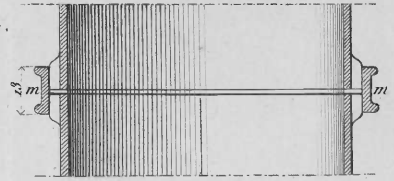


Fig. 7.

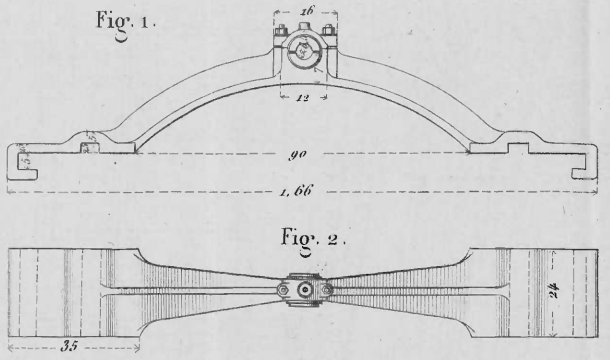
Fig. 8.

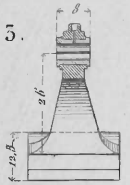


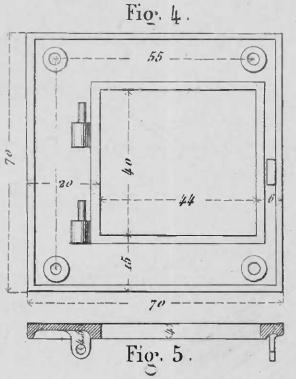
Echelle de 0m. 05 pour 1 mètre

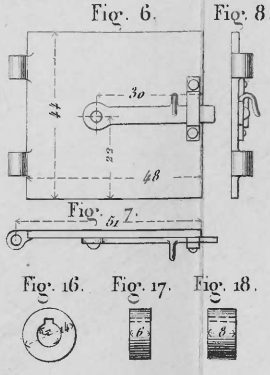
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 mètre

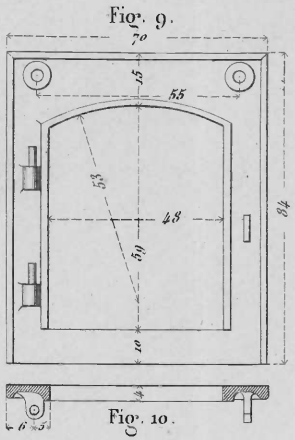
Four à rotation; détails.

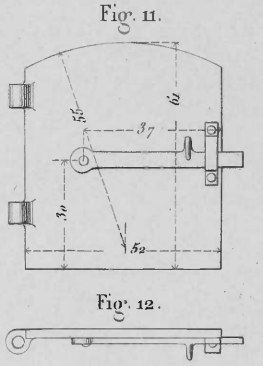


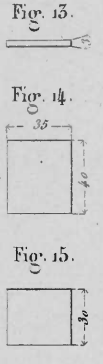


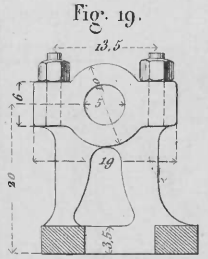


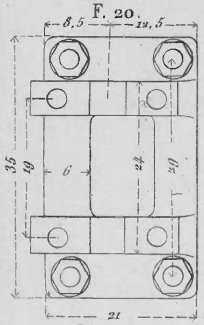


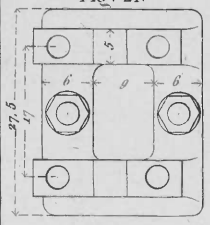


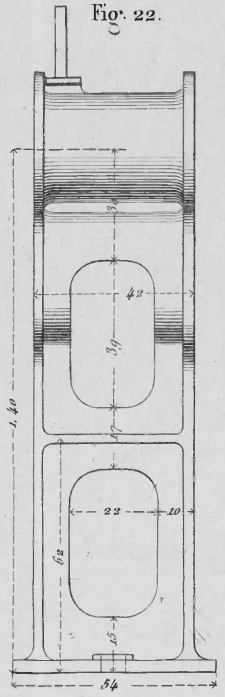


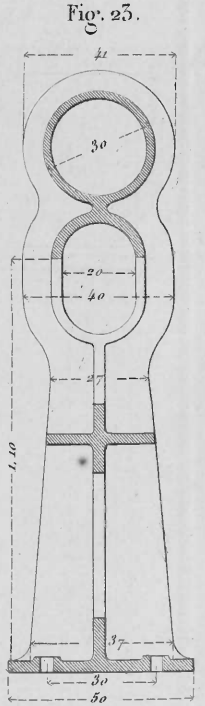


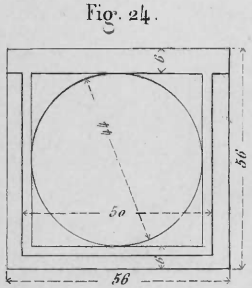


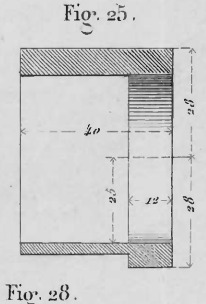


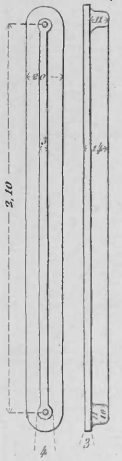


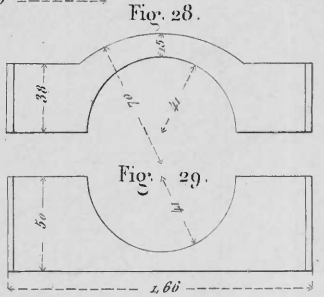


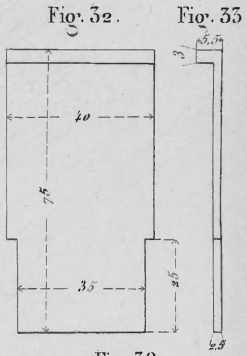


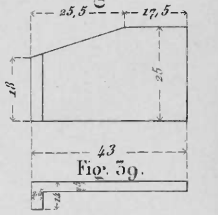


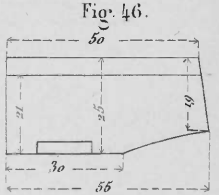


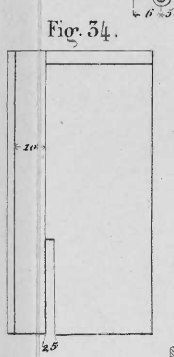


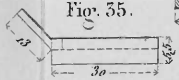


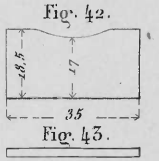


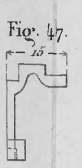


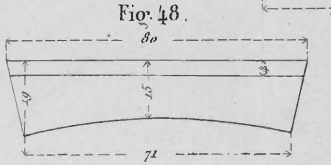


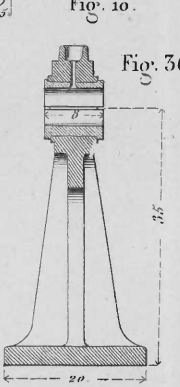


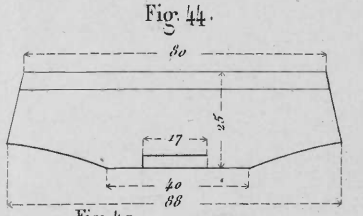


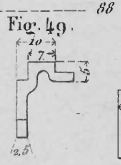


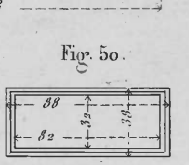


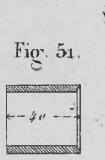


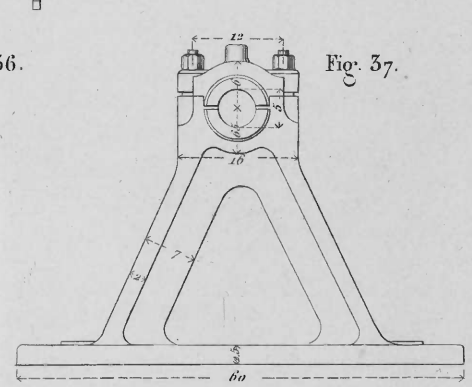


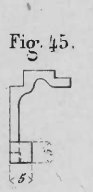












Echelle des Fig. 1 à 12, 16 à 18, 22 à 25, 32 à 35, 38 à 49, de 0^{m}.05 pour 1 mètre.

Echelle des Fig. 13 à 15, 26 à 31, 50 et 51 de 0^{m}.025 pour 1 mètre

Echelle des Fig. 19 à 21, 36 et 37, de 0^{m}.10 pour 1 mètre

Four de grillage à rotation.

Fig. 2. *Coupe verticale suivant* 1, 2, Fig. 1.

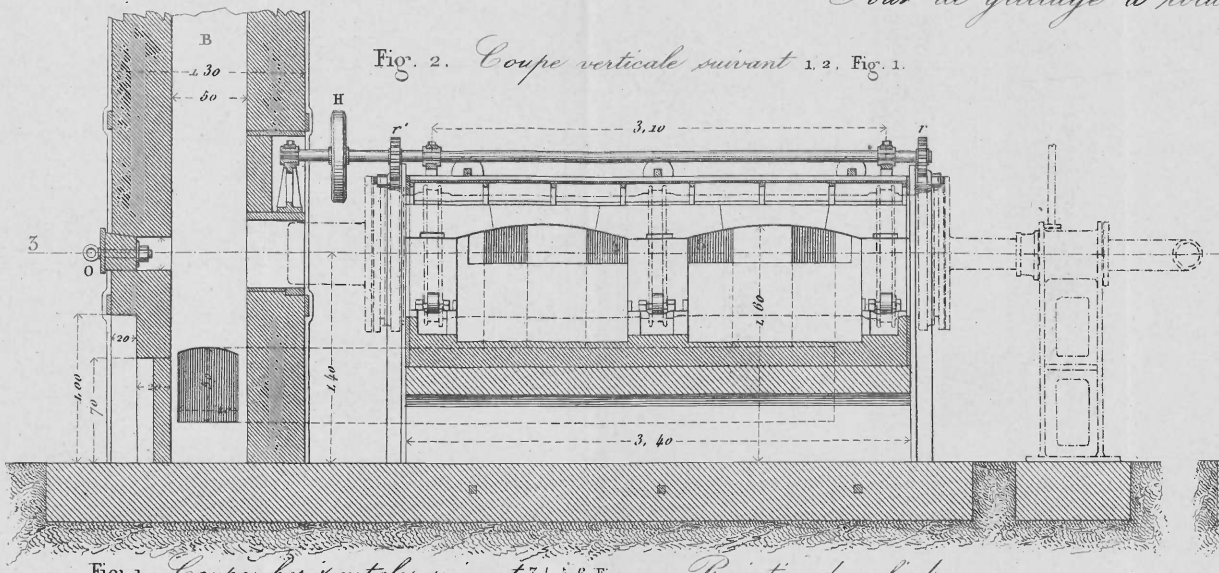


Fig. 3. *Coupe transversale suivant* 7, 8, Fig. 1.

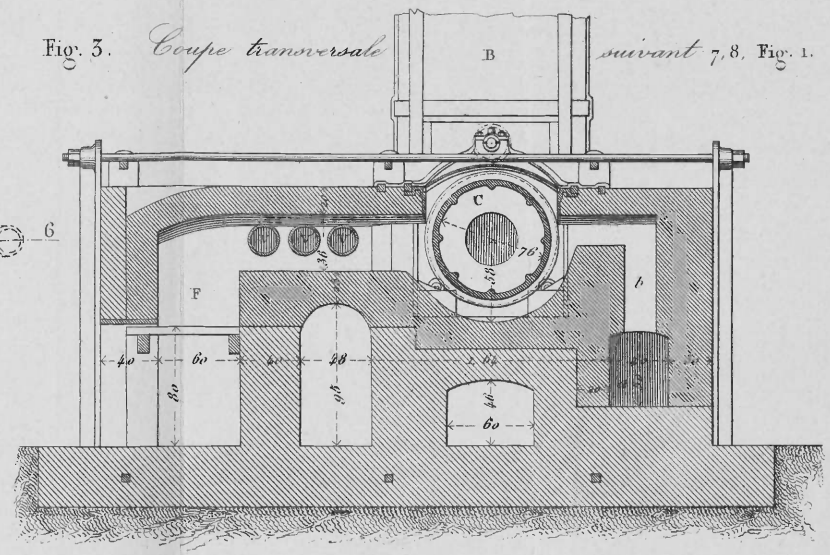


Fig. 1. *Coupe horizontale suivant* 3, 4, 5, 6, Fig. 2. *Projection du cylindre.*

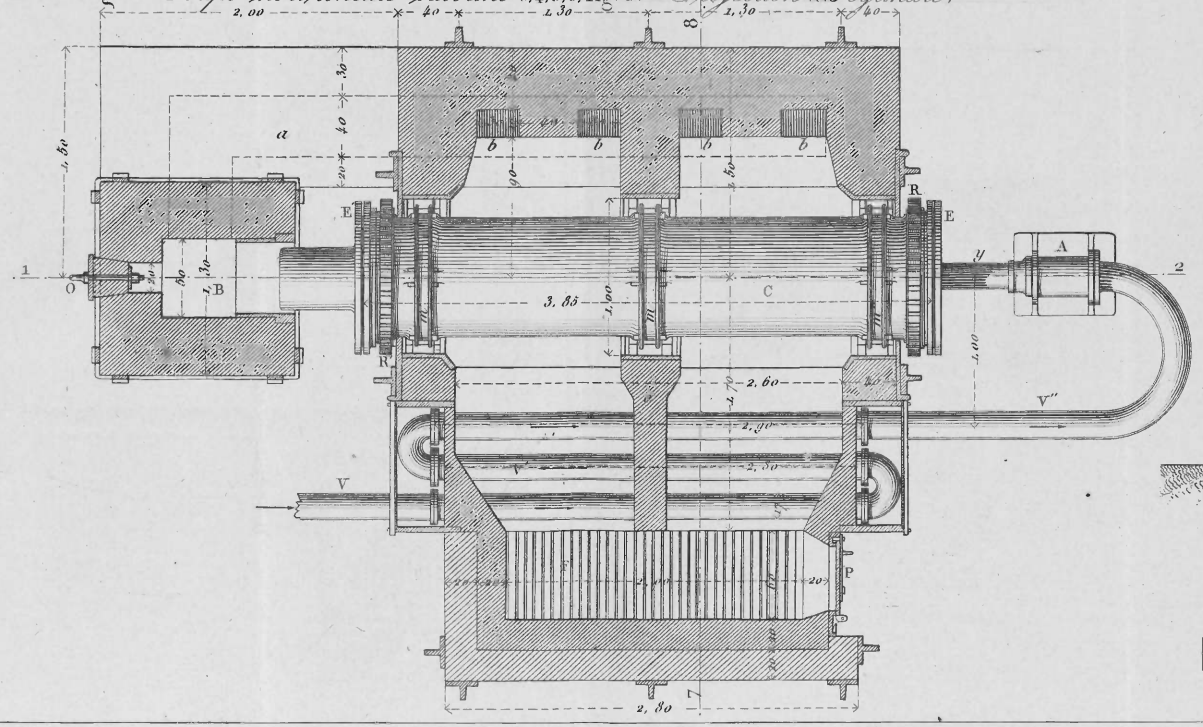
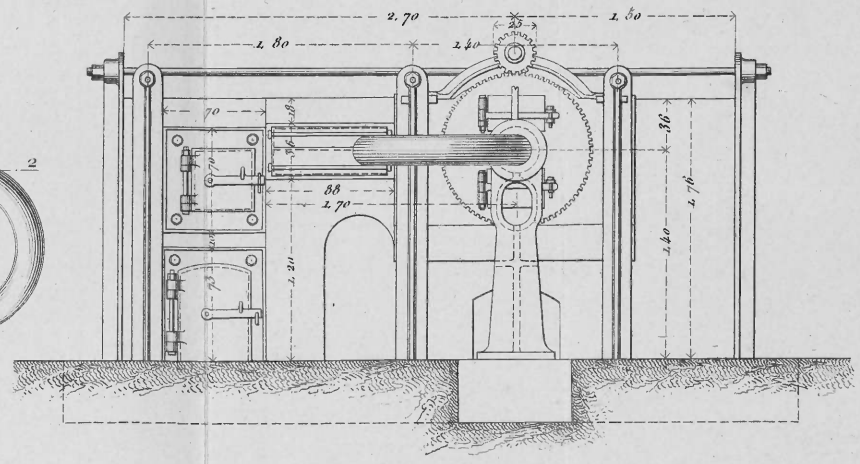
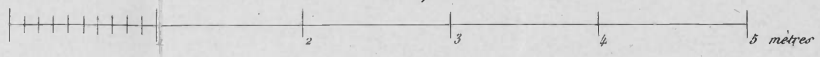


Fig. 4. *Elévation du coté de la prise de vapeur.*

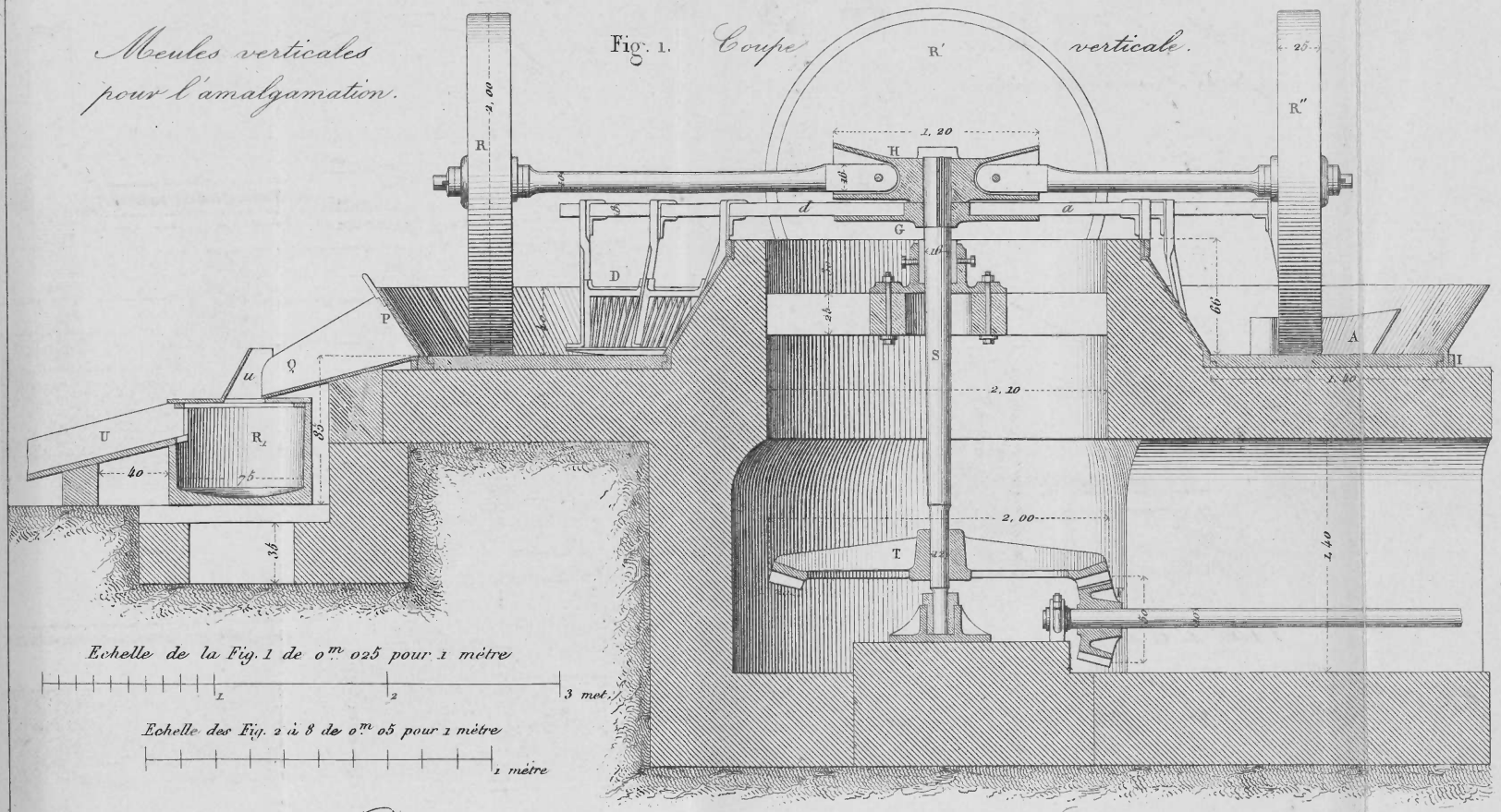


Echelle de 0^{m} 02 *pour* 1 *mètre*



Meules verticales pour l'amalgamation.

Fig. 1. *Coupe verticale.*



Echelle de la Fig. 1 de 0m. 025 pour 1 mètre

Echelle des Fig. 2 à 8 de 0m. 05 pour 1 mètre

Fig. 2.

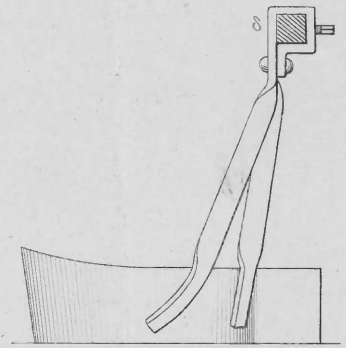


Fig. 3.

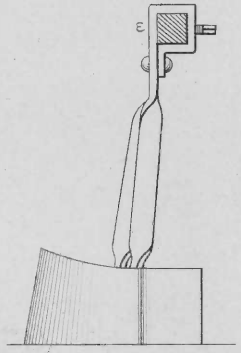


Fig. 6

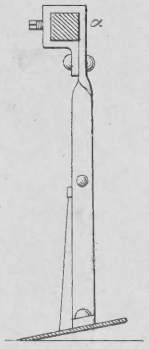


Fig. 7.

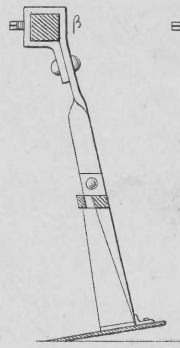


Fig. 8.

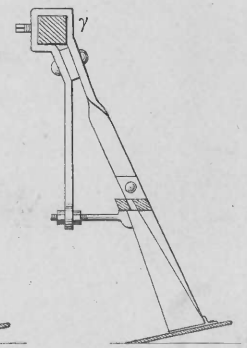


Fig. 5. *Rateau.*

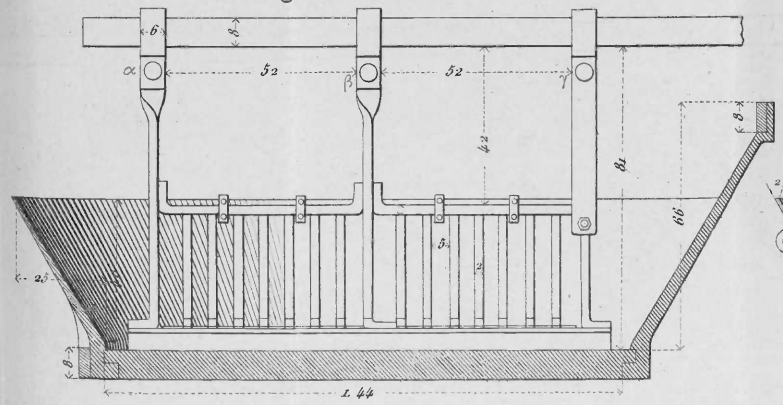
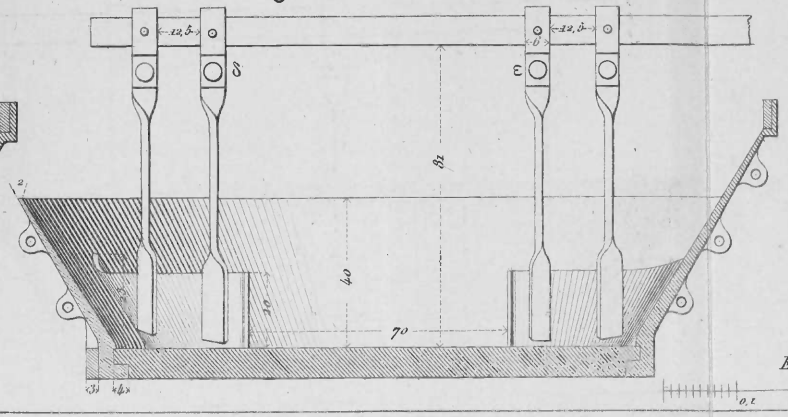


Fig. 4. *Couteaux*



Meule sur son essieu

Fig. 10.

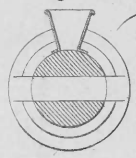
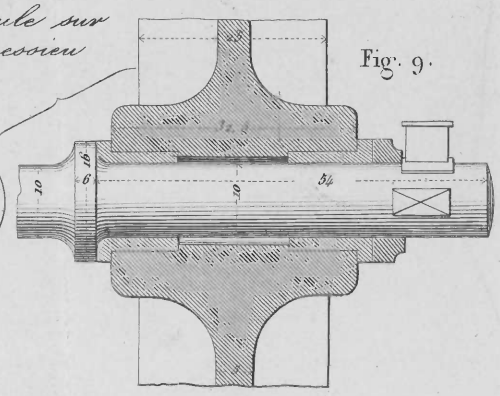


Fig. 9.



Echelle des Fig. 9 et 10. de 0m. 10 pour 1 mètre

Fig. 1. *Projection horizontale*

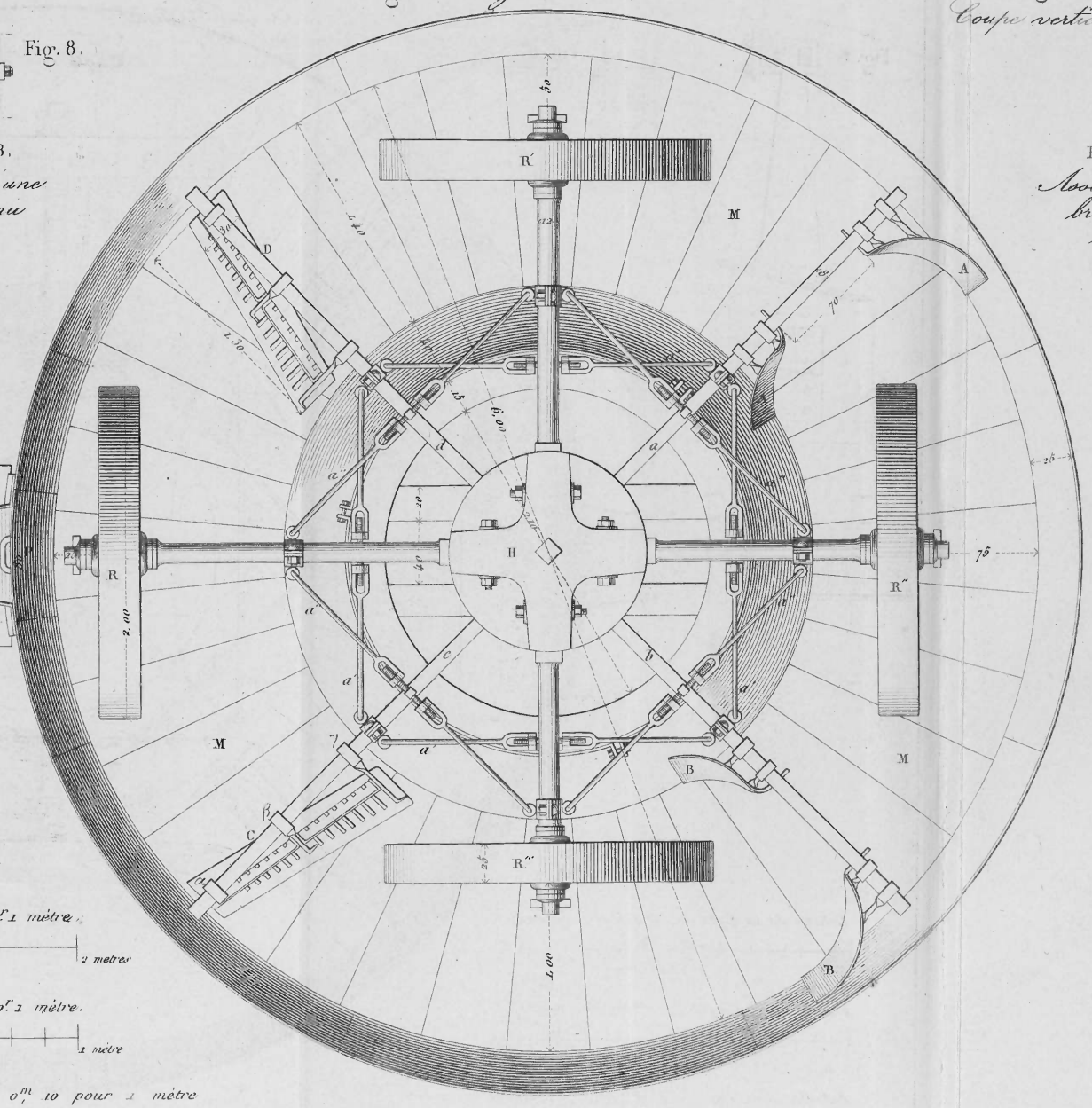


Fig. 2. *Coupe verticale*

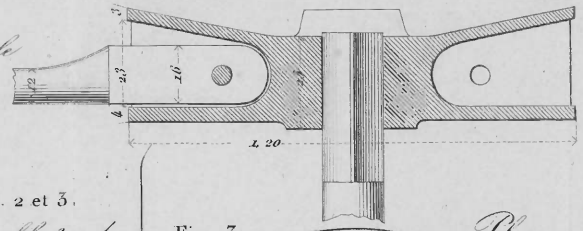


Fig. 2 et 3. *Assemblage des bras dans la boîte* H.

Fig. 3. *Plan*

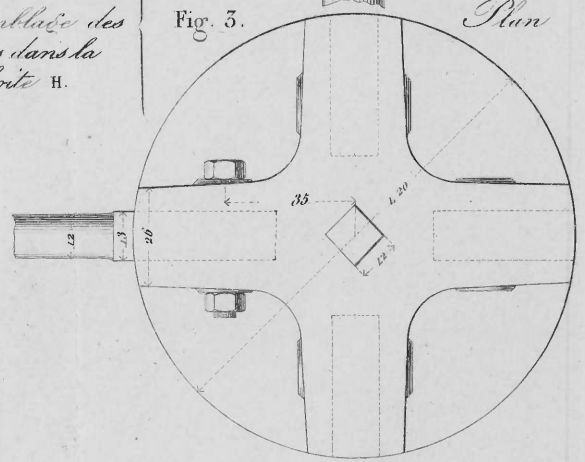


Fig. 4. *Coupe verticale*

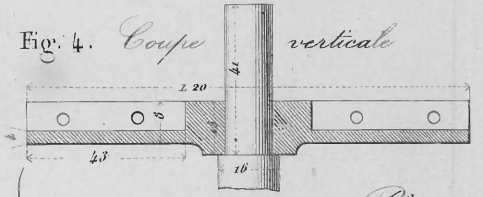


Fig. 4 et 5. *Boîte* G.

Fig. 5. *Plan.*

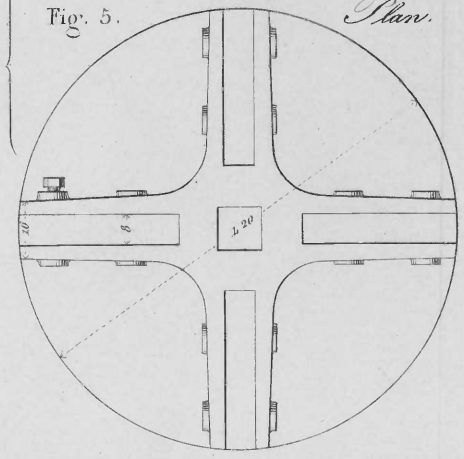


Fig. 6.

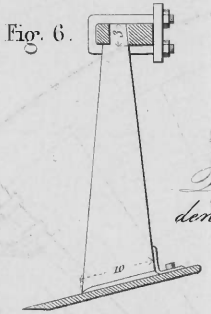


Fig. 8.

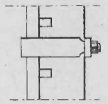
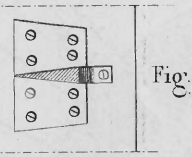
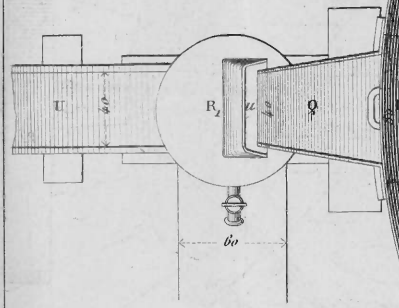


Fig. 6, 7 et 8. *Détail d'une dent de rateau*

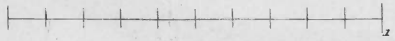
Fig. 7



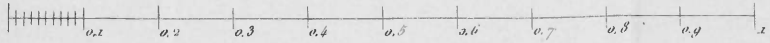


Echelle de la Fig. 1 de 0m 025 p.r 1 mètre.

Echelle des Fig. 2 à 5 de 0m 05 p.r 1 mètre.



Echelle des Fig. 6 à 8 de 0m 10 pour 1 mètre



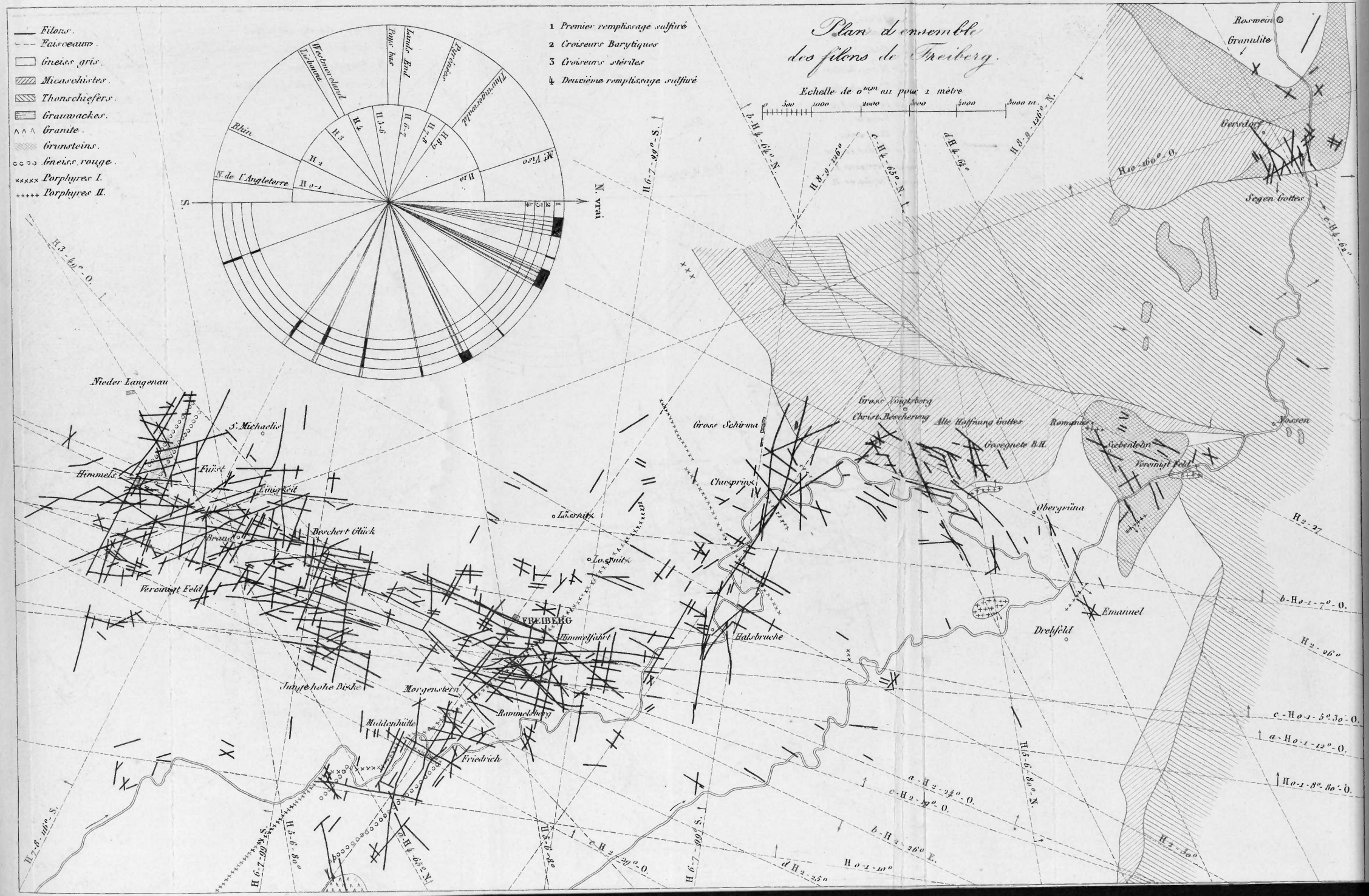

Filons.
Faisceaux.
Gneiss gris.
Micaschistes.
Thonschiefers.
Grauwackes.
Granite.
Grunsteins.
Gneiss rouge.
Porphyres I.
Porphyres II.
1 Premier remplissage sulfuré
2 Croiseurs Barytiques
3 Croiseurs stériles
4 Deuxième remplissage sulfuré
Plan d'ensemble des filons de Freiberg.
Echelle de 0m,05 au pour 1 mètre
0 500 1000 2000 3000 4000 5000 m
N. vrai
S.
Rhin
N. de l'Angleterre
Westmoreland
Liebaune
Petite bas
Haute Fond
Petit Gneis
Thuringerwald
Mt Vaso
Roswein
Granulite
Gersdorf
Segen Gottes
Nieder Langenau
St Michaelis
Himmels
Fürst
Einigkeit
Beschert Glück
Grand
Vereinigt Feld
Gross Schirma
Churprinz
Lösnitz
Gross Voigtsberg
Christ. Bescherung
Alte Hoffnung Gottes
Romanus
Gesegnete BH.
Siebenlehn
Vereinigt Feld
Josen
Obergrüna
Drehfeld
Emanuel
FREIBERG
Himmelfahrt
Halsbrucke
Junge hohe Birke
Morgenstern
Rammelsberg
Muldenhütte
Friedrich

Fig. 1. *Chrenpiedersdorf Kleine mittlere Vierung.*

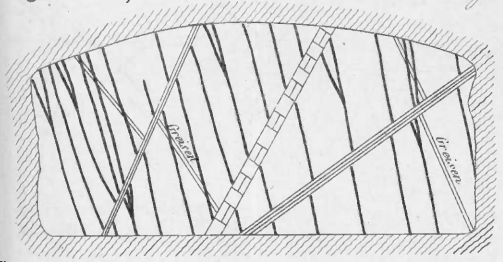


Fig. 2. *Freiberg Friedrich*

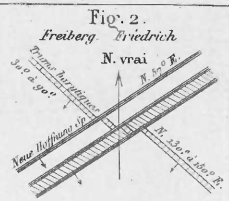


Fig. 3. *Freiberg Himmelfahrt*

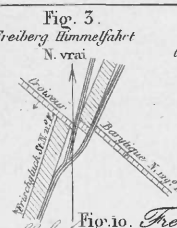


Fig. 4. *Freiberg Morgenstern Gangstudien (1851) Vogelgesang*

Fig. 5. *Freiberg Himmelfahrt*

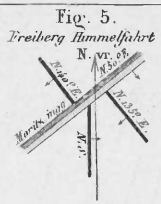


Fig. 6. *Freiberg Himmelfahrt*

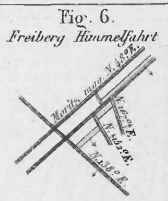


Fig. 7. *Freiberg Gesegnete Bergmanns Hoffnung*

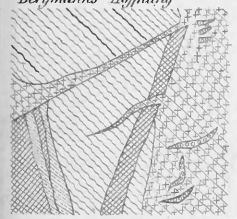


Fig. 8. *Freiberg Segen Gottes*

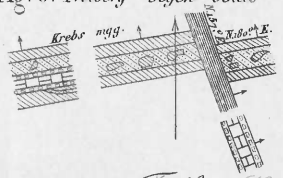


Fig. 9. *Freiberg Himmelfahrt*

Erzengel St.

Fig. 10. *Freiberg Gesegnete Bergmanns Hoffnung*

Traugott mgg

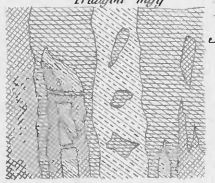


Fig. 11. *Freiberg Himmelfürst*

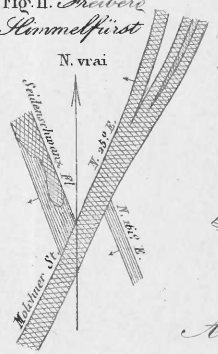


Fig. 12. *Freiberg Himmelfahrt*

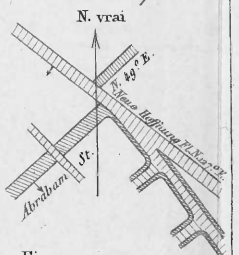


Fig. 15. *Freiberg Churprinz*

Drei Prinzen Sp.

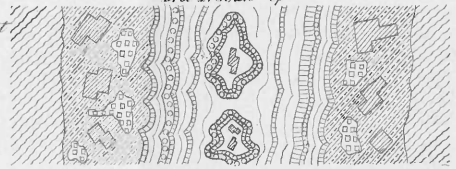
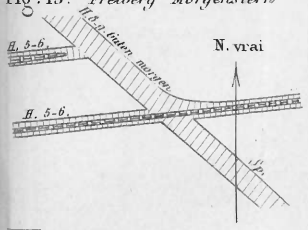


Fig. 14. *Freiberg Himmelfürst*

Silberfund St.

Fig. 13. *Freiberg Morgenstern*



Barytines de Freiberg et de Przibram

Fig. 16.

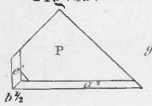


Fig. 17.

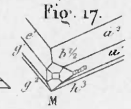


Fig. 18.

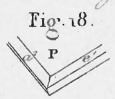


Fig. 19.

Fig. 20.

Fig. 21.

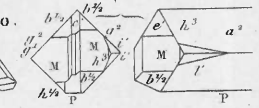
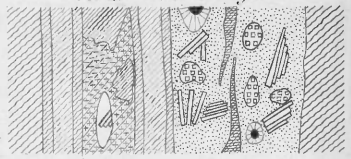


Fig. 22.

Annaberg

Getreu Nachbarschafter



- Gneiss gris
- Gneiss rouge
- Argiles
- Quartz anciens
- Remplissage S_1
- Quartz gras
- Quartz laiteux
- Quartz cristallisé
- Galène
- Blende
- Pyrite
- Dolomite
- Barytine B_1
- Hornstein
- Quartz améthiste
- Barytine B_2
- Fluorine
- Cuivre gris

V_1 V_2 V_3 V_4

- Remplissage S_2
- Hornstein
- Quartz saccharoïde
- Sulfures concrétionnés
- Fluorine concrétionnée
- Barytine concrétionnée B_3
- Dolomite récente
- Calcite
- Remplissage argentifère
- Remplissage uranifère

V_5 V_6 V_7 V_8

Fig. 25. *Annaberg*

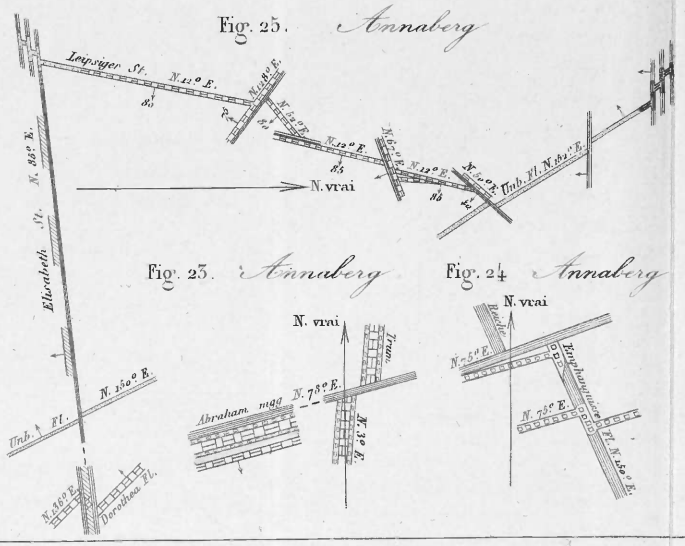


Fig. 23. *Annaberg*

Fig. 24. *Annaberg*

- Gabbro { en Conglomerat / compacte
- Barytine B_1
- Conglomérat de Porphyre
- Porphyre { schisteux / compacte
- Minerai S_1
- Galeries
- Parties abattues
- Fentes stériles

Fig. 26. *Plan.*

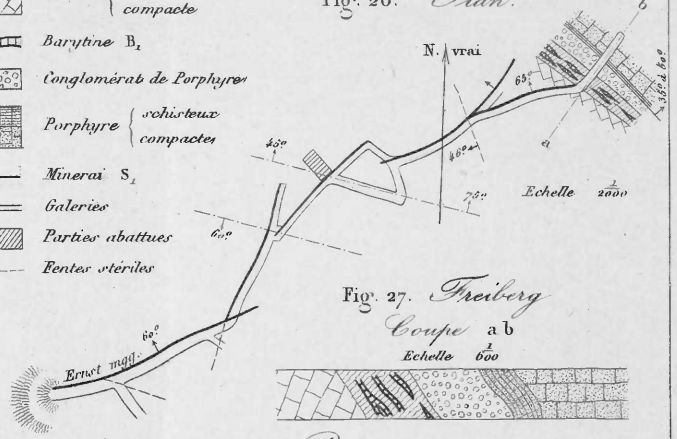


Fig. 27. *Freiberg*

Coupe a b

Echelle 1/600

Fig. 28. *Profil longitudinal*

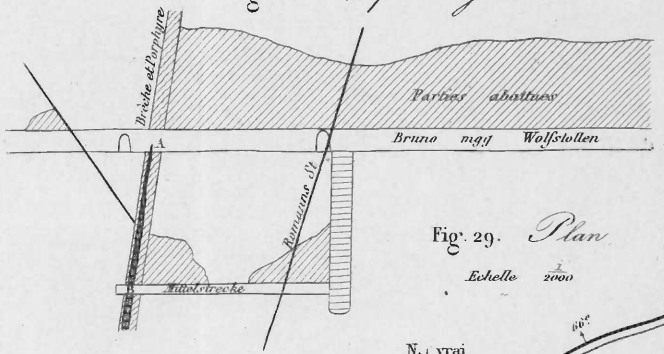


Fig. 29. *Plan*

Echelle 1/2000

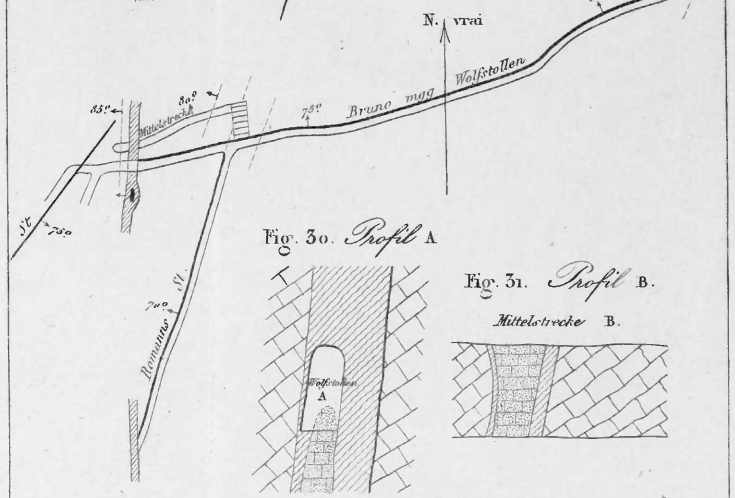


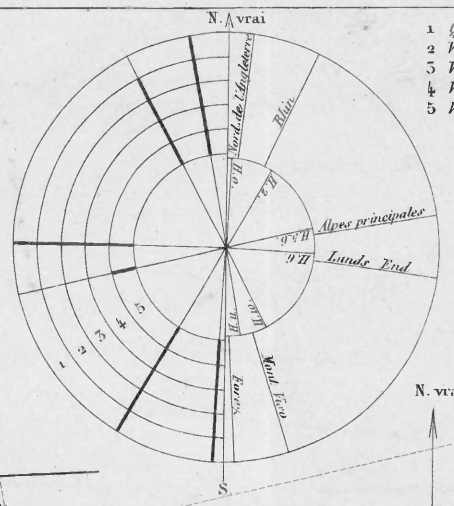
Fig. 30. *Profil* A

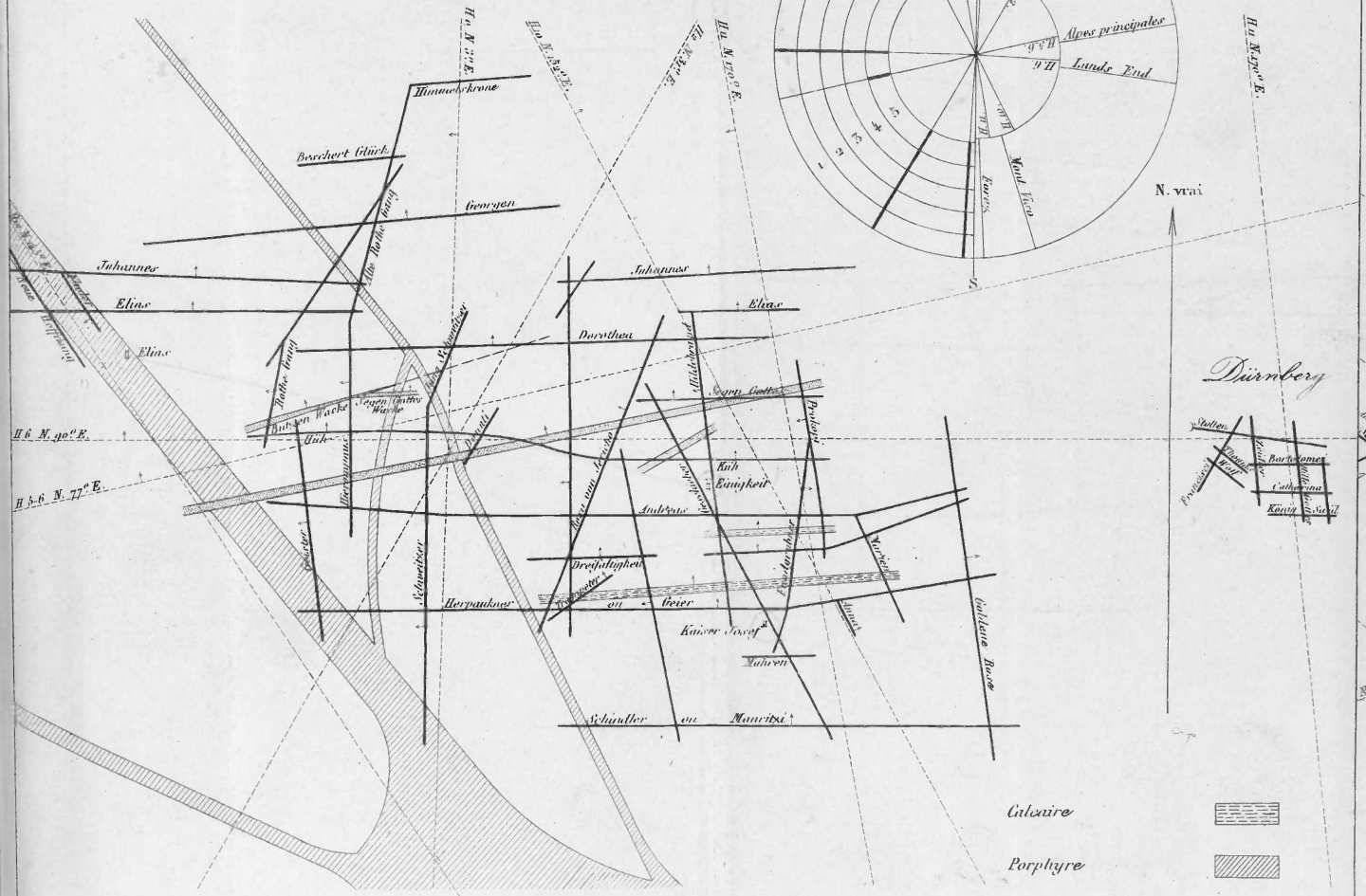
Fig. 31. *Profil* B.

Annales des Mines, 6e Série, Tome XVIII, pages 117 et suiv.

Lemaitre, sc.

Fig. 2. *Mines de Joachimsthal*

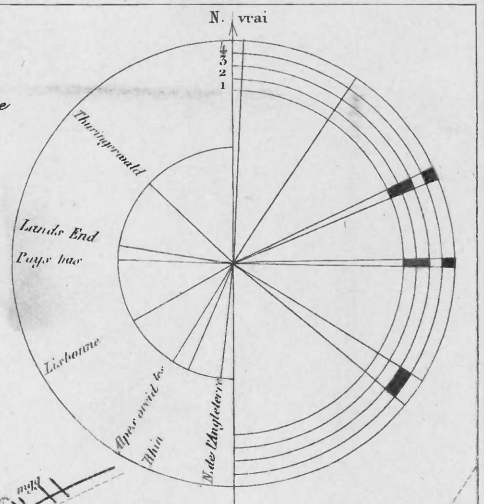


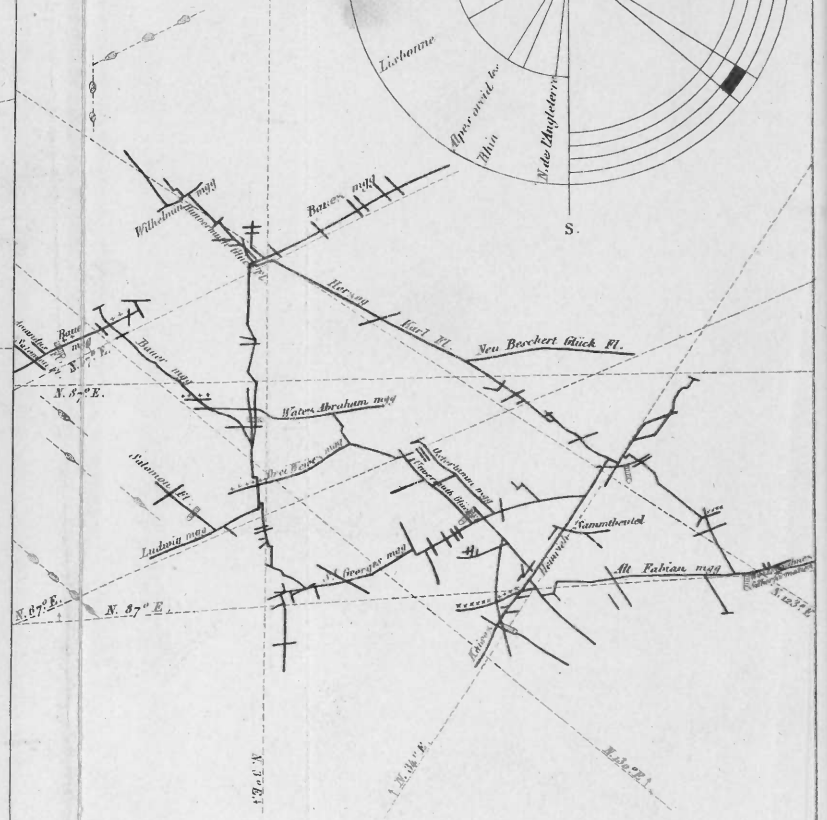


Echelle de 0m 0416 pour 1000 mètres

0 1000 2000 3000 mètres

Fig. 1. *Marienberg*





Echelle de 0m 016 pour 100 mètres

0 100 200 300 400 500 mètres

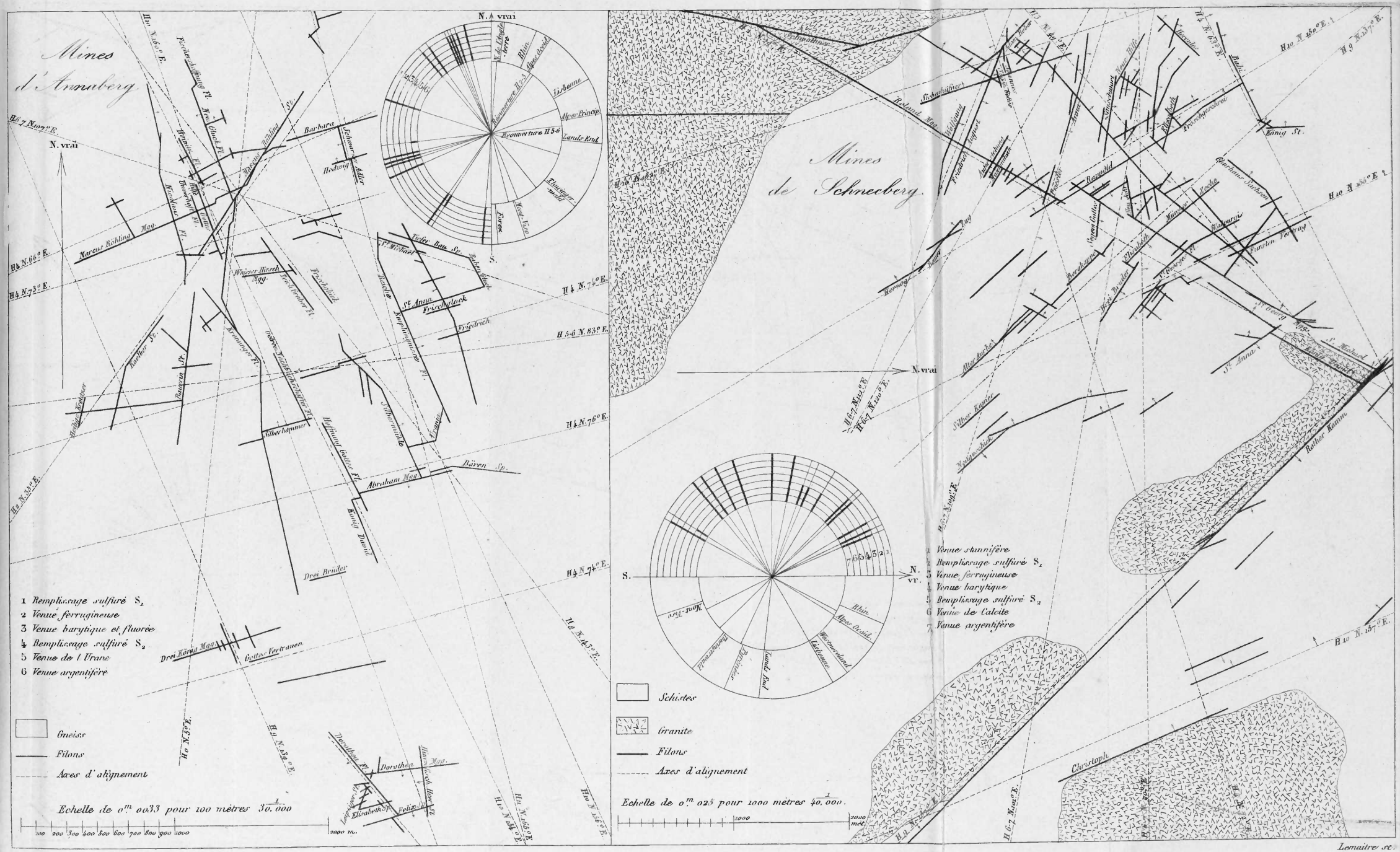

Mines d'Annaberg.
Mines de Schneeberg.
N. vrai
S.
1 Remplissage sulfuré S1
2 Veine ferrugineuse
3 Veine barytique et fluorée
4 Remplissage sulfuré S2
5 Veine de l'Urane
6 Veine argentifère
Gneiss
Filons
Axes d'alignement
Echelle de 0m 0033 pour 100 mètres 1/30.000
Schistes
Granite
Echelle de 0m 025 pour 1000 mètres 1/40.000
Lemaitre sc.

Fig. 1. *Schneeberg*
Gesellschafterzug

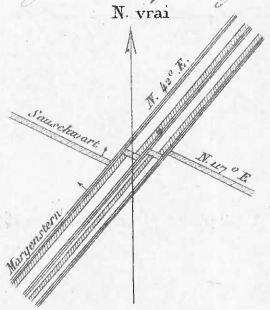


Fig. 2. *Schneeberg*
Adam Heber

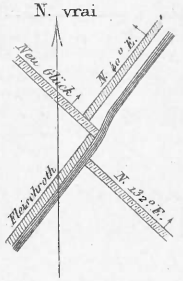


Fig. 3. *Schneeberg*
Wolfgang

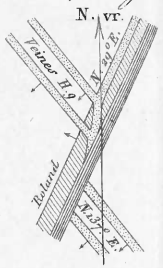


Fig. 4. *Schneeberg*
Wolfgang

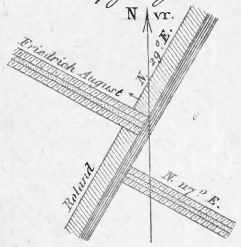


Fig. 5. *Schneeberg*
Adam Heber

Fig. 6. *Schneeberg*
Adam Heber

Schneeberg, Joachimsthal.

Fig. 7. *Schneeberg*
Gesellschafterzug

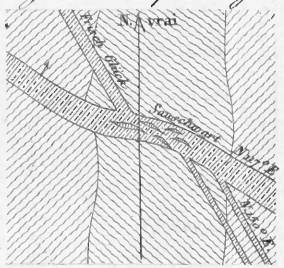


Fig. 8. *Schneeberg*
Weisser Hirschl

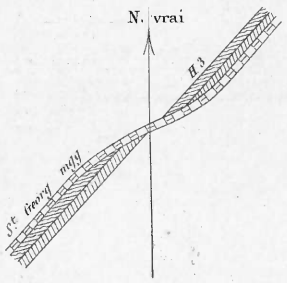


Fig. 9. *Schneeberg*
König David

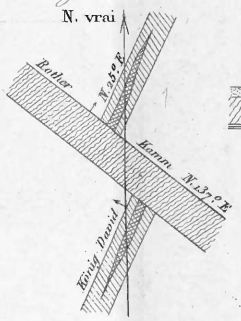
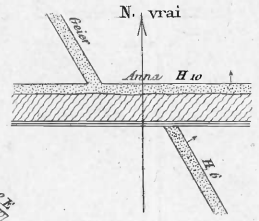


Fig. 10.
Joachimsthal



Légende

- *Schistes*
- *Alaunschiefers*
- *Quartz ancien* S_1 — V_1
- *Blende noire* — V_1
- *Rother Horn* — V_3
- *Barytine* B_2 — V_4
- *Remplissage* S_2 — V_5
- *Quartz saccharoïde* — V_5
- *Cobalt Bismuth* — V_5
- *Dolomite récente et Calcite rouge (Joachimsthal)* — V_7
- *Calcite blanche* — V_8
- *Rempl. argentifère* — V_8
- *Wacke basaltique*
- *Argiles récentes*

Fig. 11. *Joachimsthal*

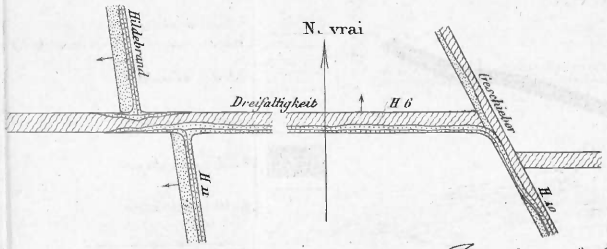


Fig. 12.
Joachimsthal

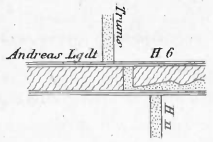


Fig. 13. *Joachimsthal*

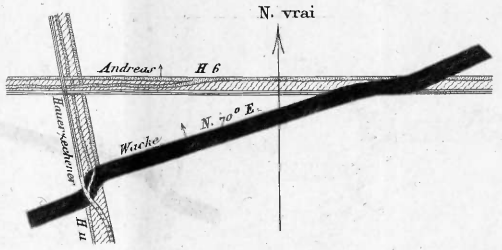


Fig. 14. *Joachimsthal*
Etage Barbara

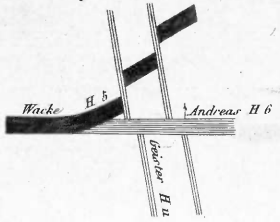
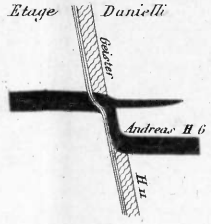


Fig. 15. *Joachimsthal*
Etage Daniell



N^ta pour les Fig. 16 et 17.

Les traits de force indiquent les cassures contemporaines des remplissages, ou des éruptions.

Les hachures indiquent l'abondance de ces remplissages ou de ces éruptions.

Remplissages

- *Sources thermales*
- *Veine argentifère*
- *Dolomite, Calcite, Veine d'Urane*
- *Barytine concrétionnée*
- *Veine cobaltifère etc*
- *Veine ferrugineuse fluorée*
- *Veine barytique ferrugineuse*
- *Veine galénifère*
- *Veine stannifère*

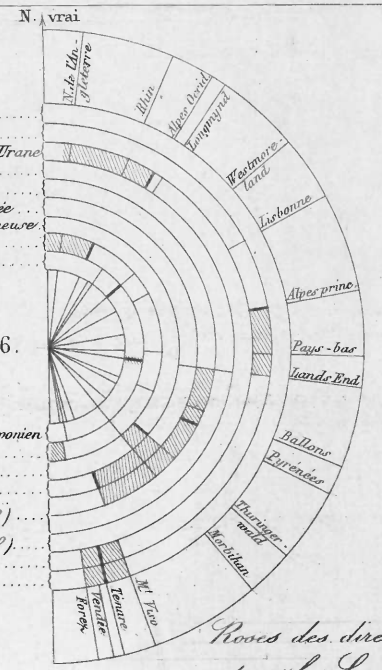


Fig. 16.

- *Ante-Silurien - Silurien - Dévonien*
- *Trias*
- *Jura*
- *Crétacé ?*
- *Tertiaire inf^r (miocène ?)*
- *Tertiaire sup^r (pliocène ?)*
- *Quaternaire*
- *Période actuelle*

Roses des directions pour la Saxe et la Bohême

Eruptions

- *Tuffs volcaniques*
- *Basaltes*
- *Porphyres III (Trachytiques)*
- *P. III (Pechsteins, petrosilex)*
- *P. II et Mandelsteins*
- *P. I et Syénites-Porphyres*
- *Grünsteins*
- *Granites-Porphyres*
- *Granites à gros grains*

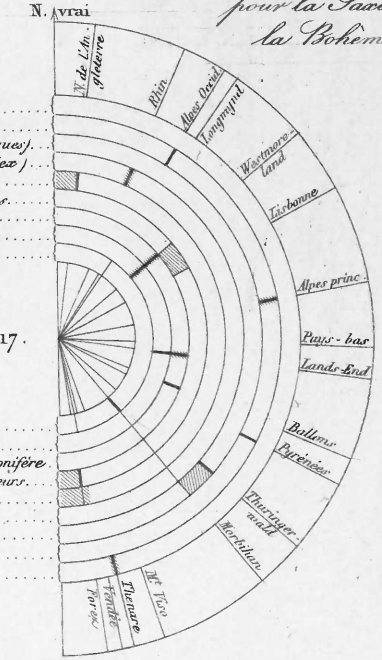


Fig. 17.

- *Ante-silurien*
- *Silurien - Dévonien*
- *Silurien, Dévonien, Carbonifère*
- *Terrains houillers inférieurs*
- *Rothliegendes inférieur*
- *Trias*
- *Jura inférieur*
- *Tertiaire*
- *Période actuelle*

Fig. 1.

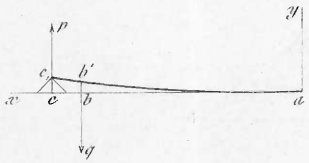


Fig. 2.

Fig. 3.

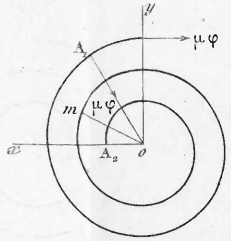


Fig. 4.

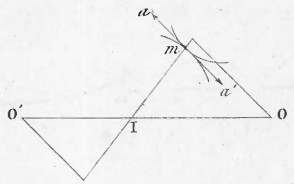


Fig. 5.

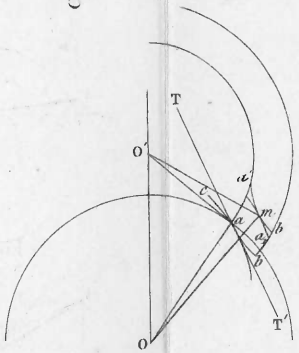


Fig. 6.

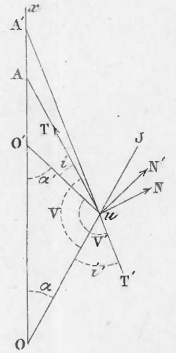


Fig. 7.

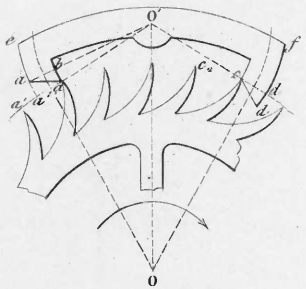


Fig. 8.

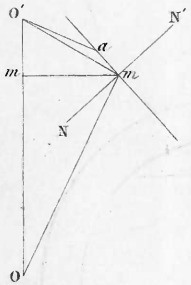


Fig. 9.

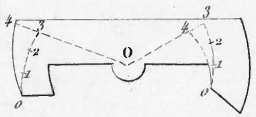


Fig. 10.

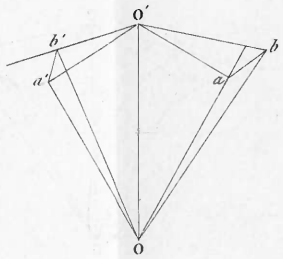


Fig. 11.

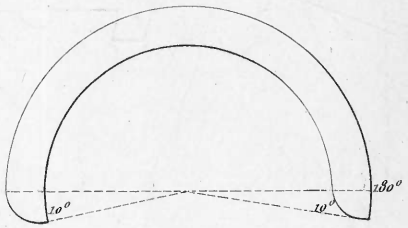


Fig. 12.

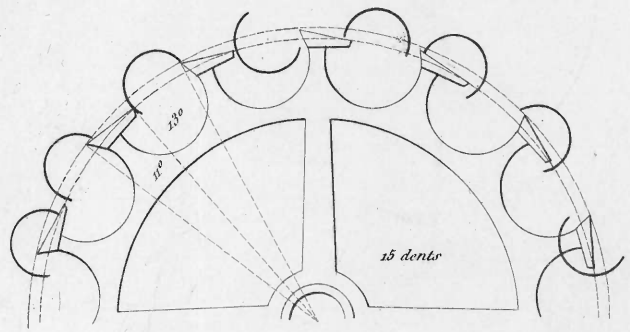


Fig. 13.

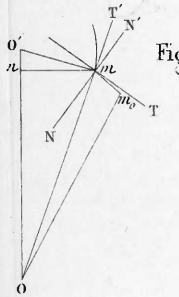


Fig. 14.

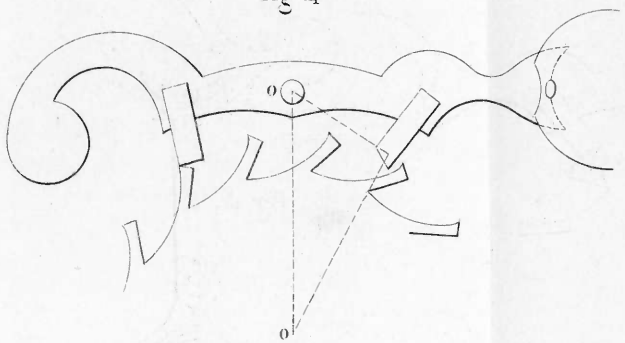


Fig. 15.

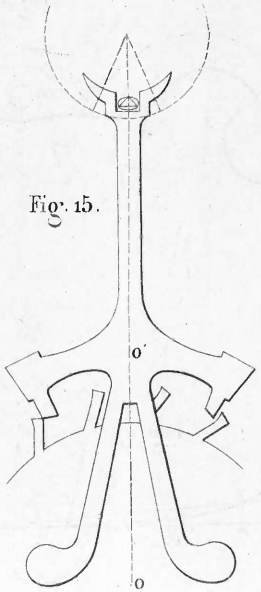


Fig. 16.

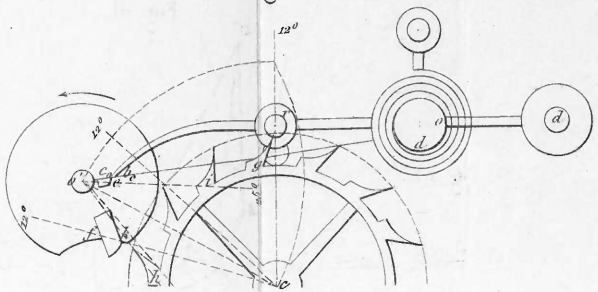


Fig. 17.

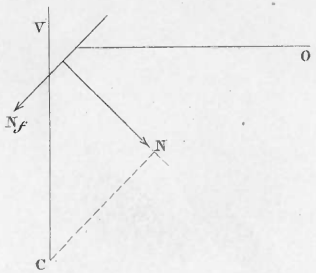


Fig. 18.

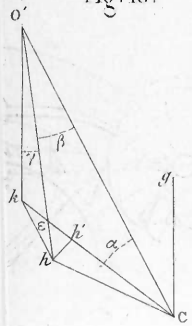
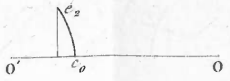


Fig. 19.

Fig. 20.



Indicateur de Niveau

Fig. 1.

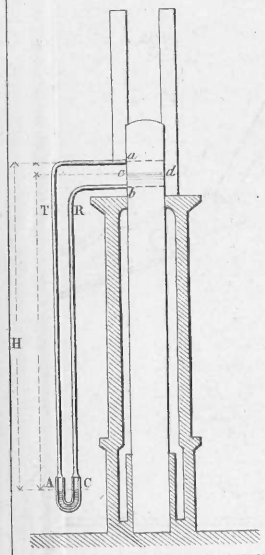


Fig. 2.

Fig. 3.

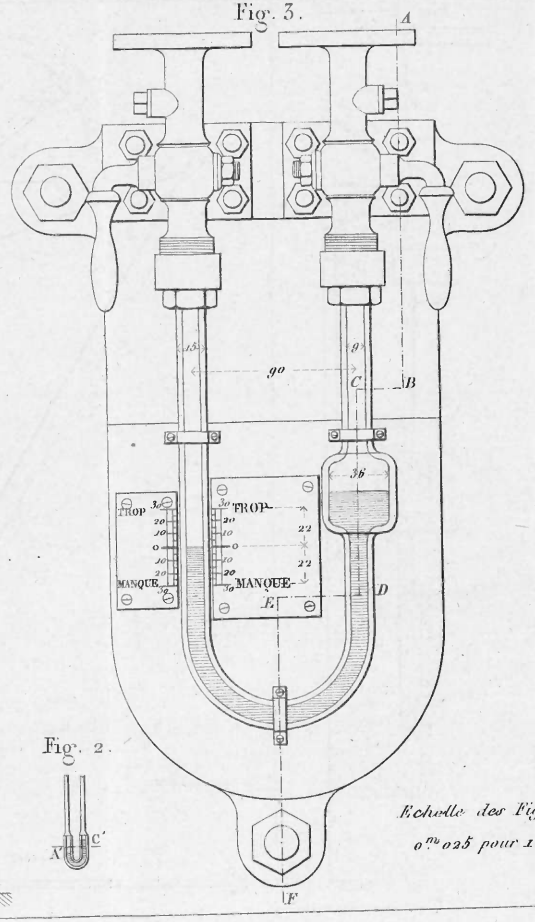
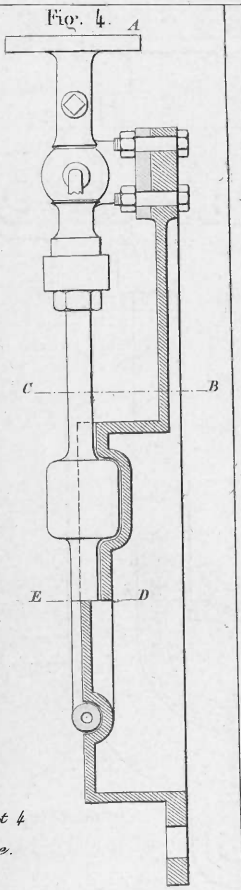


Fig. 4.



Échelle des Fig. 3 et 4
0m025 pour 1 mètre.

Rapporteur Tabarant

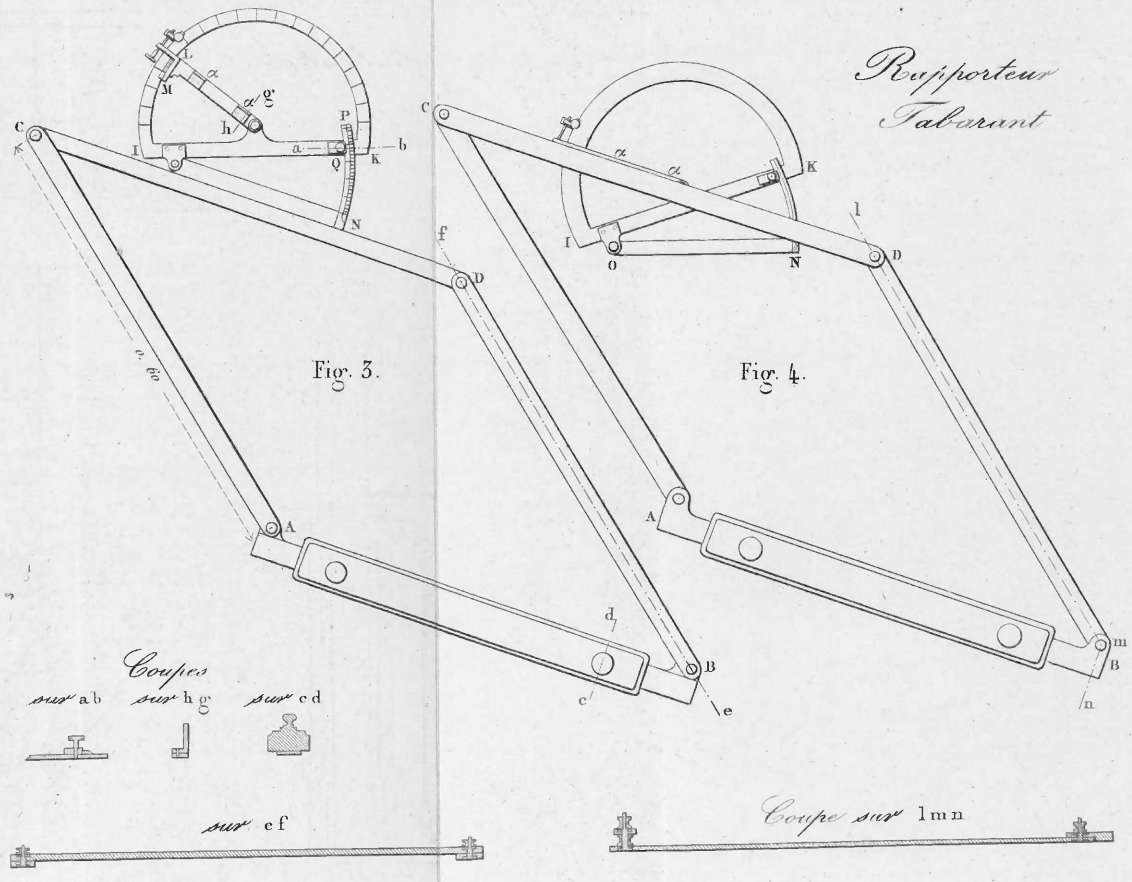


Fig. 1.

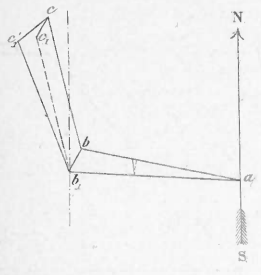


Fig. 2.

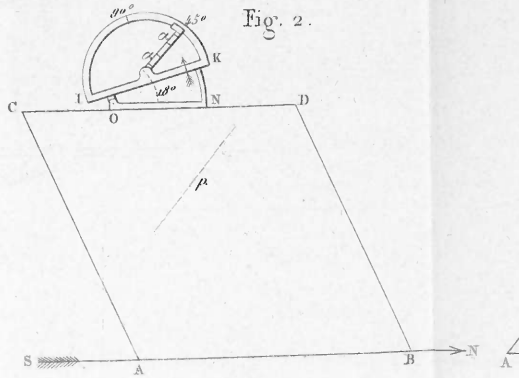


Fig. 5.

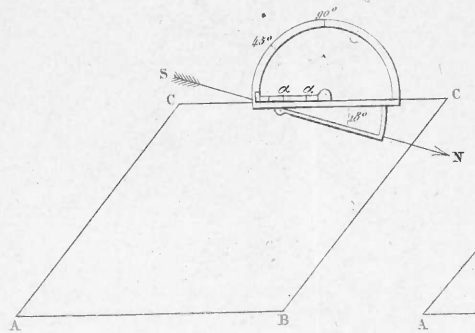


Fig. 6.

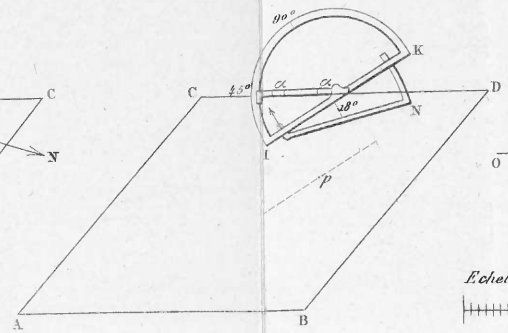
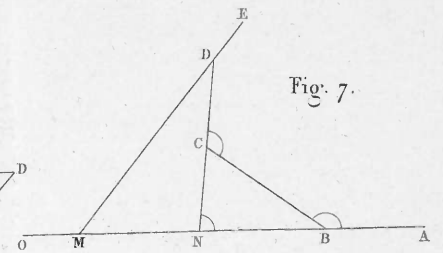


Fig. 7.



Échelle des Fig. 3 et 4 de 0m10 pour 1 mètre.

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 decimètres

Annales des Mines, 6e Série, Tôme XVIII, pages 379 et suiv.

Lemaitre sc.