

Le problème de la faille du Gouffre,

par B.-M. ADERCA.

Cet accident tectonique, très bien connu à l'Est de la concession dont il porte le nom, pose un problème quant à sa prolongation à l'Ouest de cette concession.

Les résultats d'une étude stratigraphique et tectonique dans le massif du Gouffre, aux Charbonnages de « Monceau-Fontaine » et « Mambourg, Sacré-Madame et Poirier Réunis » a fait récemment l'objet d'un document du Centre national de Géologie houillère de Bruxelles ⁽¹⁾. Nous désirons reprendre ici les résultats tectoniques de ce travail dans lequel nous avons développé un exposé historique complet sur la faille du Gouffre. De cet exposé un fait important est à retenir et à souligner : le concept « faille d'entraînement » lui appliqué en 1947 par F. KAISIN Jr ⁽²⁾, se substituant à l'interprétation « pli-faille » (SMEYSTERS, 1897) ⁽³⁾. **Si, dans l'idée pli-faille, la faille étant le résultat de la rupture du flanc moyen d'un pli, ce dernier est l'élément primaire essentiel, dans le concept « faille d'entraînement », c'est la dislocation qui est l'élément primaire des plis syncinématiques lui étant subordonnés.** Quant au problème de la terminaison occidentale de la faille du Gouffre, d'après F. KAISIN Jr elle s'amortirait à l'Ouest de la concession du Trieu-Kaisin en une « zone de glissement sur joints et petits recoutelages » formant une « zone failleuse ».

*
**

⁽¹⁾ ADERCA, B.-M., 1961, Étude stratigraphique et tectonique dans le massif du Gouffre. (*Document n° 4 du Centre national de Géologie houillère*, 112 p., 4 pl.)

⁽²⁾ KAISIN Jr., F., 1947, Le bassin houiller de Charleroi. (*Mém. Inst. géol. Univ. Louvain*, t. XV, 120 p., 18 pl.)

⁽³⁾ SMEYSTERS, J., 1897, Notice sur la carte des bassins houillers du Centre, de Charleroi et de la Basse-Sambre. (*Exposition internationale de Bruxelles, Carte générale des Mines de Belgique, Ann. Mines*, t. II, pp. 537-561, pl. LX-XIII.)

Il est utile, se servant de l'avancement des travaux d'exploitation, d'essayer de préciser par quelles surfaces de disjonction connues plus à l'Ouest peut se prolonger celle qui, dans la concession des Charbonnages du Gouffre, sépare l'anticlinal déversé du massif du Gouffre des plateaux ondulés du massif du Poirier (massif de Roton pour F. KAISIN Jr) sur lesquelles il est charrié.

Pour cet examen il est indispensable de pouvoir représenter, par courbes de niveau d'une précision suffisante, les diverses disjonctions isolées dont on veut vérifier la possibilité d'intégration en une surface unique. **A moins qu'elles ne se disposent en prolongation évidente l'une de l'autre, le raccord de disjonctions isolées doit être possible d'une manière simple, afin qu'un mouvement d'ensemble des deux massifs superposés ait pu avoir lieu.** Tout autre mode de raccordement conduit à traiter les failles de surfaces statiques, abstraction totale faite de leur rôle essentiel, qui est cinématique. Car il va de soi que, si pour raccorder deux disjonctions données, il faut faire usage d'une surface gauche de sorte que, sur la surface intégrée finale, aucun mouvement unique ne soit possible, les deux disjonctions isolées n'ont jamais fonctionné ensemble. **Nous ne sommes dès lors pas autorisé à les considérer comme formant une surface de disjonction unique, d'un ordre cinématique plus élevé que celui des disjonctions constituantes.** On a souvent l'impression que le problème du prolongement, ou du raccordement, des failles n'a été traité que d'une manière statique, quand seul le point de vue cinématique peut conduire à sa solution.

Pour apporter une contribution tendant à une meilleure connaissance de la prolongation occidentale de la faille du Gouffre (de la concession de même nom) il nous semble nécessaire :

1. De considérer les changements de forme du massif du Gouffre, transversalement et longitudinalement.
2. D'examiner la structure géologique de la base de ce massif, qui est sa zone d'appui sur le massif sous-jacent.

Dans ce but nous avons réuni, sur un document cartographique au 40.000^e (pl. I, hors texte), les nombreuses données que nous avons pu nous procurer sur les exploitations de la région envisagée. Nous en avons donné la liste dans le document du Centre national de Géologie houillère précité.

A. — ANALYSE GÉOMÉTRIQUE DU MASSIF DU GOUFFRE.

Dans les concessions du Gouffre, du Carabinier, de la Masse-Saint-François, ce massif a une forme simple et régulière : grand anticlinal déversé vers le Nord, à flanc nord vertical ou légèrement renversé, à flanc sud en plateure très régulière à pendage de 20° au Sud.

Dans la concession du Gouffre, ce qui lui a donné certainement son nom, le dressant a permis des exploitations régulières sur plus de 300 m de hauteur tandis que la longueur de la plateure atteint 1.000 m. Dans une coupe verticale Nord-Sud, suivant la méridienne 40.400 m Est de Mons, où le faisceau *Gros Pierre* / 10 *Paumes* a été exploité, le piédroit de l'anticlinal s'appuie presque non déformé sur la surface de disjonction le limitant inférieurement. Les couches n'ont subi qu'un léger retournement vers le Sud qui intéresse une zone n'atteignant même pas 100 m d'épaisseur comptée perpendiculairement à la surface de la faille. Le piédroit est coupé nettement par la faille, constituée par une surface de disjonction unique. Le transport n'a causé nul dégât au massif, sauf un léger retournement des couches sur une faible épaisseur de sa base.

Ces caractères évoluent quelque peu dans les coupes transversales du Trieu-Kaisin. Les dimensions et la régularité de l'anticlinal se conservent : suivant la méridienne 38.500 m Est de Mons, la plateure régulière dans la couche *Gros Pierre* dépasse 1.300 m de longueur suivant la ligne de plus grande pente; le dressant dépasse 400 m de hauteur. Mais, dans ce dressant, le flambage de la base du massif commence à s'accroître. Le retournement des couches atteint 40° (50° de pente Sud) et intéresse une épaisseur de massif atteignant 200 m.

Plus à l'Ouest, le phénomène s'accroît encore; les couches cèdent et le freinage de la base du massif donne naissance à des plis aigus écrasés dont l'amplitude est de l'ordre de 100 m ou moins. A la méridienne de 37.730 m Est de Mons la base du massif, à son front d'avancement, est doublement plissée tandis que le restant du piédroit, sur toute sa hauteur, a visiblement souffert des effets de flambage, en forme d'ondulations dont certaines fort accentuées. La belle régularité de l'anticlinal dans la concession du Gouffre est ainsi très entamée sur un peu plus de 2.500 m de longueur en direction.

Ces changements d'allure en coupe transversale vont de pair avec de profondes modifications longitudinales qu'il importe

de souligner. L'influence de l'anticlinal transversal de Puagne se fait sentir très nettement dans la zone limite entre les concessions du Gouffre et de la Masse-Saint-François. La dissymétrie de cet anticlinal transversal se marque très bien par l'ennoyage de la ligne de crête du massif du Gouffre. Dans la concession de la Masse-Saint-François, la crête anticlinale, très plate, ne présente qu'une pente de l'ordre de 2 % vers l'Ouest. Dans l'extrémité septentrionale de la concession du Carabinier l'ennoyage de la crête anticlinale passe brusquement à 15 % Ouest et il se conserve avec cette même valeur sur toute l'étendue de son passage dans la concession du Gouffre. Le plongement ⁽¹⁾ de la crête s'accroît encore dans la traversée de la concession Trieu-Kaisin : entre les coupes des méridiennes 37.580 et 39.500 m l'ennoyage moyen de la crête est de 17,5 % vers l'Ouest.

Dans la concession du Gouffre et plus à l'Est, la direction générale de la crête anticlinale est pratiquement Est-Ouest. Aux limites entre la concession du Gouffre et du Trieu-Kaisin nous observons un changement brusque de cette direction. Ce changement est bien visible sur la planche I, où nous avons représenté le massif du Gouffre par les courbes de niveau de la couche 10 Paumes. Dans la concession Trieu-Kaisin, et à l'Ouest de celle-ci, la direction générale de la crête du massif du Gouffre est N 60° E, faisant un angle de 30° avec la première direction. Nous constatons également que dans la zone de direction Est-Ouest la crête anticlinale est rectiligne. Par contre, dans celle de direction N 60° E, elle ondule. Ces ondulations représentent autant d'inflexions transversales affectant l'anticlinal.

Sur un plan où on superpose la géologie superficielle et celle profonde, on constate d'évidence que l'inflexion du massif du Gouffre, à l'Ouest de la concession du Gouffre, épouse fidèlement l'inflexion de la structure superficielle qui, en ces endroits, dessine le côté oriental de l'anse de Jamioulx. En outre, le changement brusque de direction du massif du Gouffre se situe dans le prolongement de la fracturation transversale importante bien connue de la concession du Boubier. C'est pour

(1) La « Nomenclature géologique » éditée par A. A. G. SCHIEFERDECKER en 1959 emploie indifféremment les termes inclinaison, pendage ou plongement pour désigner l'angle qu'une couche fait avec un plan horizontal. Nous pensons qu'à l'exemple des bons auteurs français il faut réserver pour cet angle exclusivement le terme *pendage* et proposons de désigner par *plongement* l'angle d'ennoyage des charnières de plis.

mettre ce dernier fait en évidence que nous avons représenté, sur la planche I, les grandes fractures transversales du Boubier (1).

On exprime correctement la situation observée en disant que, à l'Ouest de ce changement brusque de direction qui se situe entre les concessions du Gouffre et du Trieu-Kaisin, le massif du Gouffre s'incurve et s'écrase sur sa base, le phénomène d'écrasement s'accroissant vers l'Ouest. Rien ne représente mieux ces changements d'allure qu'une série de coupes parallèles en vue perspective. A. PASTIELS (2) l'a déjà fait, d'une manière schématique, pour la partie de l'anticlinal située entre les méridiens 35.000 et 45.000 m Est de Mons. Son document n'atteignant pas, vers l'Ouest, la partie centrale de la concession de Monceau-Fontaine, qui nous intéresse particulièrement, nous présentons un document (pl. II) s'étendant depuis la méridienne 32.000 m Est de Mons jusqu'à celle de 42.000 m, c'est-à-dire depuis la région exploitée par le puits n° 19 de Monceau-Fontaine (à l'Ouest) jusqu'à la zone de passage de l'anticlinal transversal de Puagne (à l'Est).

Nous avons représenté, sur ce dernier document, la position du plan axial de l'anticlinal transversal de Puagne et la position des fractures transversales du Boubier dans la supposition que cette zone prolongerait ses effets vers le Nord de cette concession.

Enfin, pour l'introduction d'une explication purement mécanique de l'écrasement, vers l'Ouest, de l'anticlinal du Gouffre, nous avons représenté également la position du massif charrié de la Tombe, dont la moitié orientale recouvre la partie complètement aplatie de cet anticlinal dans la zone centrale de la concession de Monceau-Fontaine.

B. — LA CINÉMATIQUE DU MASSIF DU GOUFFRE.

L'étude de la phase de mouvement doit comporter, en tout premier lieu, l'examen de la base du massif, dans laquelle les effets du mouvement se sont imprimés.

(1) ADERCA, B.-M., 1959, Structure du massif du Carabinier dans la concession du Charbonnage de Boubier (à Châtelet). (*Bull. Soc. belge Géol., Pal., Hydr.*, Bruxelles, pp. 259 à 284, 1 pl. h.t.)

(2) PASTIELS, A., 1955, Recoupe des niveaux marins de Gros Pierre (*Wn1c*) et de Quaregnon (*Wn2a*) dans la concession Mambourg, Sacré Madame et Poirier Réunis. (*Publ. Ass. Étude Paléontol. Stratigr. houillères*, Bruxelles, n° 22, 42 p., 3 pl.)

Sur la planche I annexée nous avons représenté, par courbes de niveau, la disjonction limitant à sa base le massif du Gouffre, au moyen de l'abondante documentation dont nous avons disposé. Dans la situation actuelle des travaux dans les charbonnages visités, il n'existe pas de recoupe à travers la zone de disjonction, nous permettant de figurer les caractères exacts des deux massifs mis en contact par elle, ainsi que nous avons pu le faire en plusieurs endroits, lors d'une étude précédente, pour la faille du Carabinier.

Dans l'étendue des concessions du Carabinier et du Gouffre, la surface limitant à la base le massif du Gouffre est de forme relativement simple. Sa partie superficielle est pratiquement plane, de direction Est-Ouest, augmentant toutefois de pendage d'Est en Ouest, ce qui indique une légère torsion de la base du massif dans cette direction. Sous 300 à 400 m de profondeur la disjonction s'incurve tant en direction que vers l'aval pendage, sa pente diminuant de ce fait sensiblement vers la profondeur. Cette forme simple peut être perturbée localement, comme immédiatement au Sud-Ouest du puits n° 2 du Carabinier, où la disjonction s'infléchit en sens inverse augmentant sa pente vers la profondeur.

Dans la concession Trieu-Kaisin, la forme ondulée de la base du massif du Gouffre est depuis longtemps connue à l'exploitant. La disjonction limitant le massif dessine, entre les profondeurs de 600 et 900 m sous le niveau de la mer, une double ondulation synclinale-anticlinale. La naye de l'invagination synclinale s'ennoie de 10 % vers l'Ouest tandis que la crête de l'ondulation anticlinale présente un ennoyage de 13 % dans la même direction.

Il est cinématiquement impossible d'intégrer en une disjonction unique les deux surfaces limitant à sa base le massif du Gouffre à l'Est et à l'Ouest de la zone limite entre les concessions du Gouffre et du Trieu-Kaisin. **Si le massif lui-même est continu par-dessus cette zone, tout en y présentant — rappelons-le — un changement brusque de direction, on est obligé d'admettre une certaine indépendance de mouvement de la base du massif, de part et d'autre de ce changement de direction.** Il ne saurait y avoir mouvement unique, concomitant et uniforme, sur deux surfaces aussi différentes. Pour mettre ce fait en évidence nous avons, sur la vue perspective planche II, représenté en position et allure réelles la prolongation de la

zone de fracturation transversale du Boubier et avons conduit jusqu'à cette surface, de part et d'autre, les allures de la disjonction du Gouffre au Trieu-Kaisin à l'Ouest, au Gouffre à l'Est. Cette zone de fracturation transversale constitue une véritable **charnière cinématique** du massif du Gouffre. Tandis qu'à l'Est de cette charnière le massif s'est avancé vers le Nord suivant un plan de glissement relativement simple, vers l'Ouest un freinage du mouvement a provoqué, en même temps, une incurvation longitudinale de tout le massif et une compression transversale supplémentaire de sa base se traduisant dans les ondulations que nous lui observons actuellement. Nous pourrions exprimer autrement le développement cinématique constaté en disant que, à un certain moment de la translation vers le Nord du massif du Gouffre, les résistances au mouvement ont établi **un champ de vitesses différentiel présentant une importante discontinuité de part et d'autre d'une zone étroite qui se situe actuellement à la limite entre les concessions du Gouffre et du Trieu-Kaisin**. Cette zone de discontinuité cinématique constitue une zone de faiblesse dans laquelle se sont logées des fractures transversales dont le mouvement, important au Boubier, s'amortit vers le Nord, dans la zone d'incurvation longitudinale du massif du Gouffre.

Nous arrivons ainsi à une conclusion qui s'est encore imposée à nous ⁽¹⁾ lors de l'étude de la faille Saint-Gilles à Liège : si le massif tectonique est unique on peut néanmoins distinguer, dans sa base, des zones qui ont joui d'une certaine **indépendance de mouvement** imposée par un champ de vitesses différentiel. Les zones de séparation entre des parties d'un massif dont la base a été soumise à un développement cinématique différent, constituent des zones de moindre résistance qui ont été un lieu d'élection pour la formation de disjonctions et de mouvements transversaux.

La discontinuité cinématique implique celle des surfaces de faille limitant le massif à sa base. On s'explique par cette conception la difficulté qu'on éprouve chaque fois qu'on veut intégrer des surfaces de disjonction distinctes en une grande surface continue, travail qui ne peut conduire qu'à un résultat illusoire. **En assimilant le concept statique « faille » au concept**

(1) ADERCA, B.-M., 1959, Étude géologique dans la région centrale du synclinal de Liège. (*Centre nat. Géol. houil.*, Bruxelles, Publ. n° 1, 92 p., 7 pl.)

cinématique « surface de disjonction » limitant un massif déplacé, on pourrait conclure comme suit : le massif du Gouffre est unique, la faille du Gouffre ne l'est pas.

Dans l'ancienne concession Grand Mambourg et Bonne Espérance la disjonction du Gouffre est bien connue parce que les travaux d'exploitation de la couche *10 Paumes*, dans le massif au-dessus de la faille ont été poussés jusque contre elle, tandis que la même couche a été exploitée également sous la faille. Nous en avons pu tracer les courbes de niveau de — 700, — 800 et — 900 m. La surface qu'elles représentent (voir pl. I) s'intègre assez facilement dans le versant septentrional de l'invagination synclinale de la disjonction de base du massif du Gouffre au Triau-Kaisin.

Plus à l'Ouest des concessions Grand Mambourg et Poirier, la couche *10 Paumes* a été intensément exploitée par les puits n^{os} 25 et 23 de Monceau-Fontaine. On se trouve en prolongation directe du massif du Gouffre, qui y est toutefois désigné comme massif du Poirier. Plus au Nord la même couche *10 Paumes* a été exploitée dans le massif sous-jacent par les puits Blanchisserie et Saint-Théodore des Charbonnages Réunis de Charleroi et par les puits n^{os} 18 et 19 de Monceau-Fontaine. Suivant la méridienne de 33.000 m Est de Mons, la distance entre les deux exploitations est de l'ordre de 1.500 m, pour se rapprocher fortement plus à l'Ouest. Des travaux d'exploration dans le massif du Poirier, au siège n^o 23 de Monceau-Fontaine, par le travers-bancs Nord-Ouest à 1.078 m, ne sont plus éloignés, horizontalement, que d'environ 400 m des limites d'exploitation Est de la couche *10 Paumes* par le puits n^o 19, exploitations qui appartiennent au massif sous-jacent. Mais une différence de niveau de l'ordre de 200 m subsiste encore entre les deux points les plus rapprochés atteints par l'exploitation de *10 Paumes* (voir pl. I, méridienne 32.000).

La conception ci-dessus exposée, basée sur la connaissance de la base du massif du Gouffre plus à l'Est, indique qu'il ne faut pas rechercher, vers l'Ouest, la prolongation d'une surface cinématique unique. Cela d'autant plus que la ligne de crête de l'anticlinal du Gouffre (ou du Poirier) y présente d'autres accidents transversaux dont principalement une incurvation presque Nord-Sud située à la méridienne de 36.000 m Est de Mons. La base du massif est inconnue dans cette dernière région mais la signification des incurvations transversales du massif ne peut y être différente de celle que nous avons con-

statée plus à l'Est. Ces accidents transversaux séparent des zones de cinématique indépendante dans la base du massif. Un travail fait en commun par les deux charbonnages Monceau-Fontaine et Réunis nous paraît plaider en faveur de notre conception.

Continuant les allures connues de la couche *10 Paumes* des deux massifs superposés, par leurs courbes de niveau, la zone d'arrachage de cette couche à une faille unique a été tracée. Nous avons représenté en rouge les données essentielles de cette extrapolation (pl. I). Les courbes de niveau en pointillés sont celles de *10 Paumes* dans le massif du Poirier extrapolées, parallèlement aux allures connues, dans la zone inexploitée. La courbe en longs traits rouges interrompus représente la zone d'arrachage à la faille. Les courbes constituées de petites croix représentent la couche *10 Paumes* du massif inférieur et celle en traits doubles interrompus son arrachage à la faille unique supposée. Cet ensemble permet de tracer les courbes de niveau de cette dernière, que nous avons représentées en traits rouges interrompus. Les indications portées en rouge montrent en même temps la grande largeur de la région inexploitée et donc inconnue.

Si, à l'Est des travaux de Blanchisserie, entre ceux-ci et ceux du Mambourg, les courbes de niveau de la faille unique supposée se disposent normalement, il n'en est plus de même au Sud et au Sud-Ouest de Blanchisserie où ces courbes prennent une disposition de direction Nord-Sud, inadmissible. Le résultat auquel on arrive infirme donc la supposition de départ : faille unique continue. Dans cette région, comme plus à l'Est, des accidents transversaux : incurvations, cassures, doivent diviser la base du massif en un certain nombre de quartiers ayant joué, au cours des mouvements, d'une certaine indépendance relative.

De plus, dans la partie profonde et de forme surbaissée du massif, à l'Ouest de la méridienne de 36.000 m, ainsi que le démontre l'interprétation de deux sondages de reconnaissance que nous avons étudiés, le massif du Gouffre ne repose plus sur le massif sous-jacent suivant une surface de disjonction unique. Le raccordement entre les deux massifs paraît y comporter une allure en échelons due à l'existence de plusieurs disjonctions d'ordre inférieur, disposition que F. KAISIN Jr a déjà indiquée et qu'il a désignée comme un « effilochage » de la faille du Gouffre vers l'Ouest.

**C. — LA BASE DU MASSIF DU GOUFFRE (POIRIER)
DANS LA PARTIE CENTRALE DE LA CONCESSION
DE MONCEAU-FONTAINE.**

Le siège n° 23 (Cerisier) des Charbonnages de Monceau-Fontaine exploite la couche *10 Paumes* du massif du Poirier par son travers-bancs Nord-Ouest à 1.078 m. Le massif du Poirier y dessine une voûte anticlinale surbaissée, à versant sud pendant de 20° au Sud et à versant nord inclinant de 10° à 20° au Nord. En partant des travaux en versant nord de l'anticlinal, une descenderie a été creusée dans *10 Paumes* jusqu'à la profondeur de — 916 m.

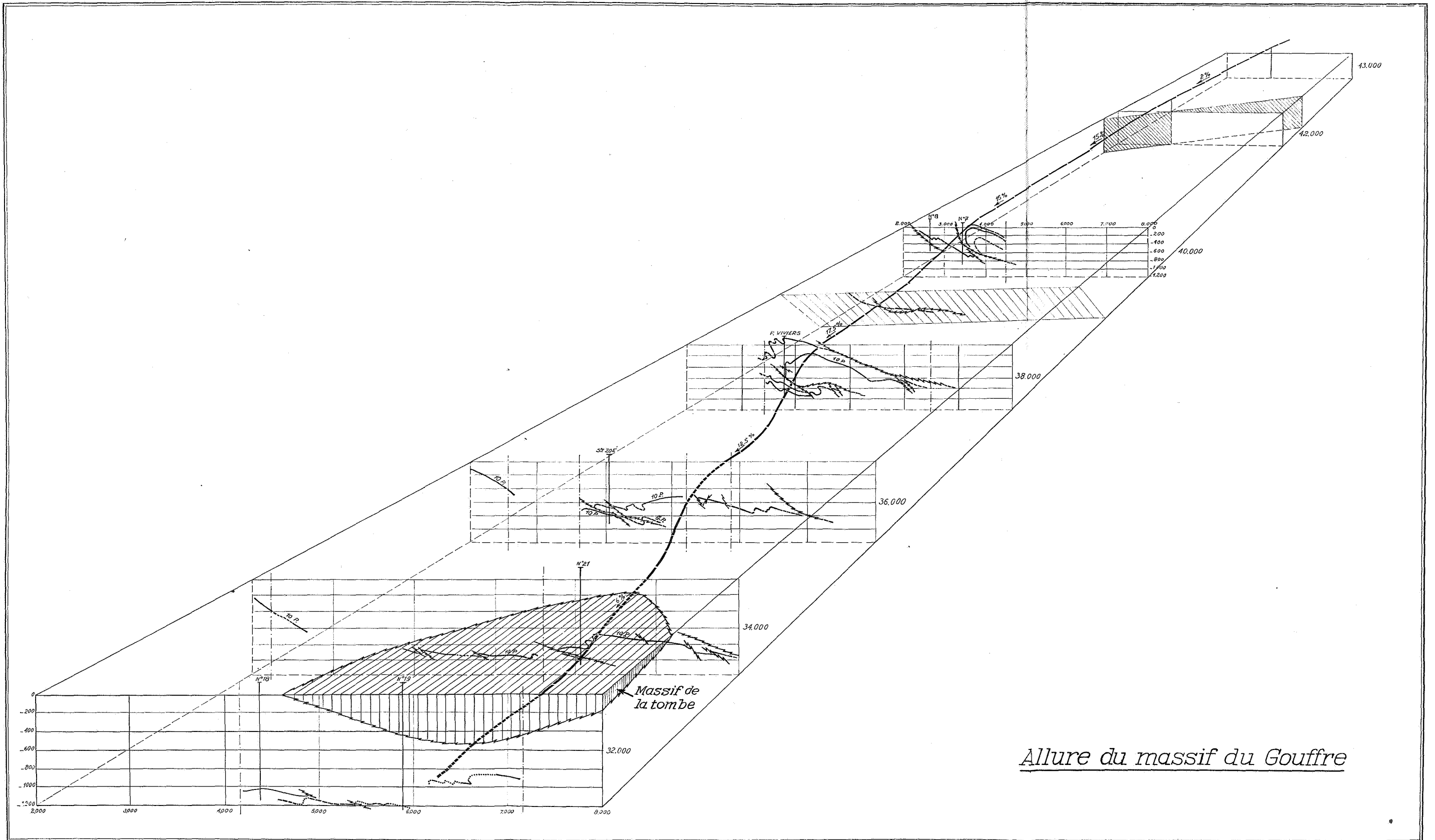
La même couche *10 Paumes* est exploitée par le puits n° 19, les tailles étant situées au Sud et à l'Est de celui-ci.

Le point le plus rapproché de la descenderie du 23 atteint par les travaux du 19 en est distant de 400 m dans la direction W.—N.-W. Sa profondeur étant de — 1.101 m, la dénivellation entre les deux points est de 185 m.

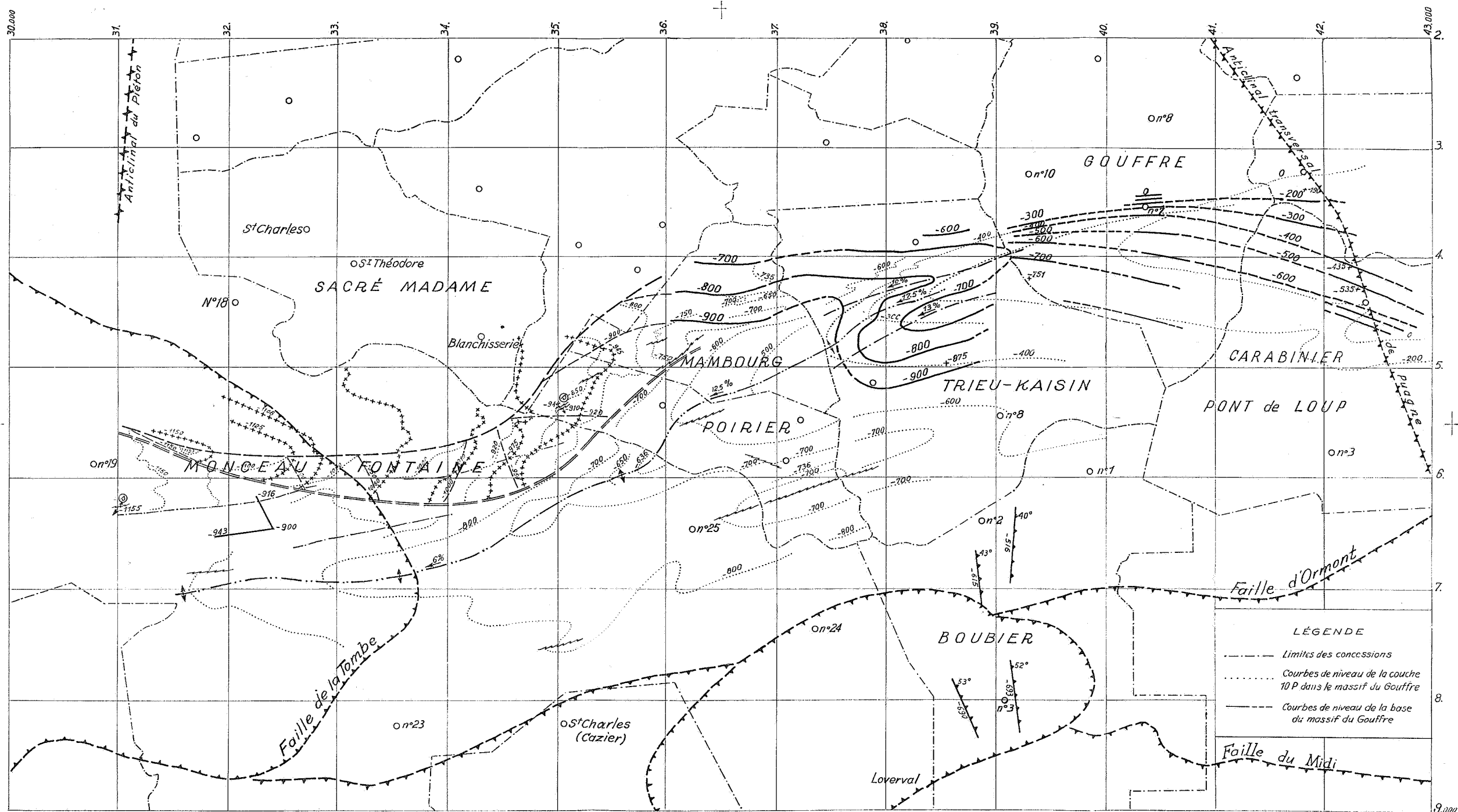
Le raccordement entre le dôme du Poirier et les plateures sous lui est un problème d'importance capitale pour l'exploitant. Il peut se faire par une disjonction unique, qui serait dans ce cas le prolongement de la faille du Gouffre, par une grande allure en dressant, par une série de disjonctions superposées représentant un écaillage de la base écrasée du massif du Poirier.

Ce qui est connu de la géologie de la région nous a déjà obligé, par les développements ci-dessus, à écarter la possibilité d'existence d'une disjonction unique. Le raccordement par un grand dressant régulier de 200 m de hauteur, espoir d'exploitant, ne cadre en rien avec l'allure surbaissée, écrasée, du massif du Poirier, en cet endroit.

Nous avons décrit, dans le Document n° 4, précité, du Centre national de Géologie houillère, la coupe d'un sondage de reconnaissance (n° 1) au siège n° 19 et son interprétation. Un deuxième sondage a été foré en extrémité occidentale de la même taille arrachée à un dérangement. Nous donnons, planche III, la position, la coupe et l'interprétation de ce dernier sondage. Son raccord stratigraphique est rendu possible par la découverte d'une *Estheria* au toit d'une veinette à 11 m au-dessus d'une couche qui doit, de ce fait, être assimilée au *Veiniat de 10 Paumes*. Le sondage a donc recoupé (voir pl. III) une fracture de rejet stratigraphique très faible (environ 7 m).

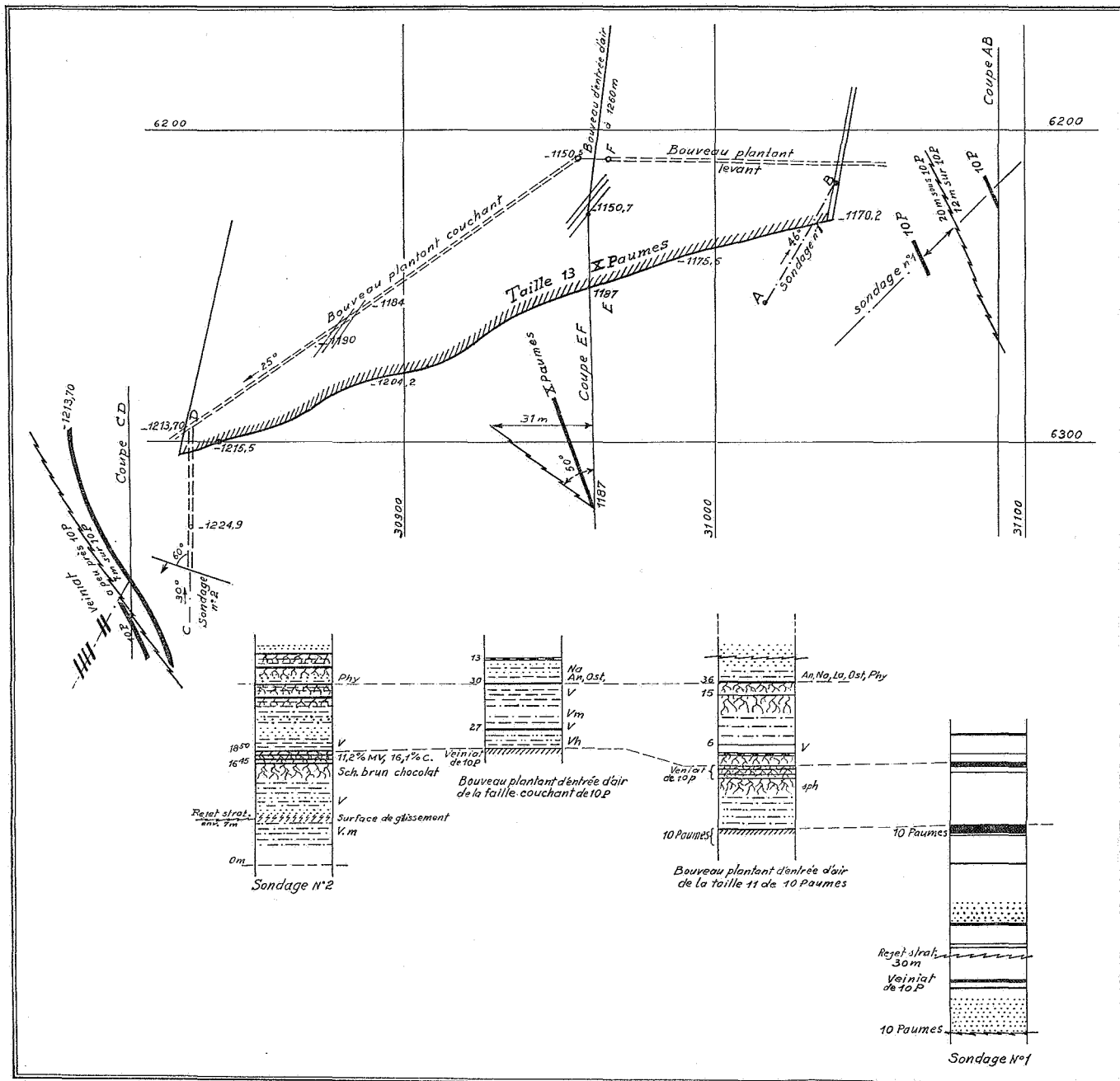


Allure du massif du Gouffre



LÉGENDE

- Limites des concessions
- Courbes de niveau de la couche 10 P dans le massif du Gouffre
- Courbes de niveau de la base du massif du Gouffre



Les constatations faites par les deux sondages de reconnaissance du siège n° 19 de Monceau-Fontaine, tout comme par un autre sondage intérieur de reconnaissance aux « Réunis », indiquent bien que l'écaillage multiple est le style tectonique de la zone étudiée. **Dans l'état actuel des observations, la supposition la plus plausible pour le raccordement entre la base du dôme du Poirier et les plateaux sous lui est celle d'une série d'échelons séparés par des surfaces de disjonction dont le rejet s'amortit vers l'Ouest.** Cette dernière caractéristique est d'ailleurs confirmée par les observations de l'exploitant qui, sur une fracture située à environ 175 m plus au Nord que celle étudiée ici et de même signification tectonique, a observé la même diminution du rejet d'Est en Ouest. Notre conclusion ne représente, enfin, que l'expression cinématique de « l'effilo-chage » vers l'Ouest de la faille du Gouffre de F. KAISIN Jr, que les travaux récents étudiés par nous permettent de préciser.