

## OBSERVATIONS SUR LES PHENOMENES KARSTIQUES EN BELGIQUE ET BILAN DES RECHERCHES

par

L. CALEMBERT<sup>1</sup> & A. MONJOIE<sup>1</sup>

(7 figures et 1 planche)

**RESUME.**- La Belgique possède une variété remarquable de phénomènes karstiques fossiles et actuels offrant l'occasion de recherches tant de science pure que de science appliquée.

Les laboratoires de géologie de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège ont examiné de nombreux sites et des problèmes divers en relation avec de grands travaux, l'aménagement du territoire, la protection de l'environnement.

La communication recense les cas les plus intéressants, les décrit brièvement et tente d'en tirer les enseignements généraux en insistant sur les aspects hydrogéologie, géologie de l'ingénieur et mise en oeuvre des diverses méthodes de reconnaissance et de prospection.

**ABSTRACT.**- Belgium possesses a remarkable variety of present day and fossil karst phenomena which offer opportunities for research in both pure and applied science.

The geological laboratories of the Faculty of Applied Sciences at the University of Liège have examined numerous sites and various problems in relation to big building works, land-use and to the protection of the environment.

This communication reviews the most interesting cases - it describes them briefly and, in trying to draw out the general lessons, it insists on discussing the hydrogeological and engineering geology aspects and the way in which the various methods of reconnaissance and prospection have been brought into play.

Les terrains carbonatés primaires et secondaires de Belgique sont le siège de phénomènes karstiques variés qui ont fait l'objet depuis une quarantaine d'années de nombreuses recherches des laboratoires de géologie générale et appliquée de l'Université de Liège (fig. 1). Au cours du temps, les progrès dans les connaissances et les méthodes d'étude ont conduit à mettre en oeuvre différentes méthodes de reconnaissance et de prospection. Il paraît intéressant et utile, à l'occasion du présent colloque, de résumer les principaux résultats obtenus sur le plan scientifique mais aussi dans les domaines d'application : géologie appliquée, géologie de l'ingénieur, géologie de l'environnement. Les références bibliographiques permettront de remonter aux publications détaillées.

Sur le plan de la science pure, plusieurs démonstrations ont été apportées sur les aspects fondamentaux suivants :

1. les phénomènes de dissolution se produisent tout aussi bien sous l'action des eaux **vadoses** ou des eaux **phréatiques** et dans certains cas particulièrement complexes, sous leurs actions successives; les obser-

vations les plus significatives ont été faites dans la vallée de l'Amblève (CALEMBERT, 1950), le bassin du Geer (CALEMBERT, 1958), l'ensemble du Condroz (CALEMBERT, 1945a); elles illustrent les modalités de la dissolution per ascensum dans la nappe aquifère sous-fluviale et plus généralement sous la surface hydrostatique, la naissance de cavités holo-fossiles, le rôle directeur des joints et plus généralement des structures.

2. si le karst est très répandu dans les roches carbonatées exondées lors de la pénélplanation post-hercynienne et de la régression du Crétacé supérieur, il existe de nombreux exemples de phénomènes de dissolution qui, à l'intérieur de séries sédimentaires apparemment concordantes, attestent d'exondations mineures conservant des témoins de dépôts disparus et permettent de définir les lacunes sédimentaires correspondantes; c'est le cas notamment au contact

<sup>1</sup> Laboratoires de Géologie Générale et Appliquée. Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées.

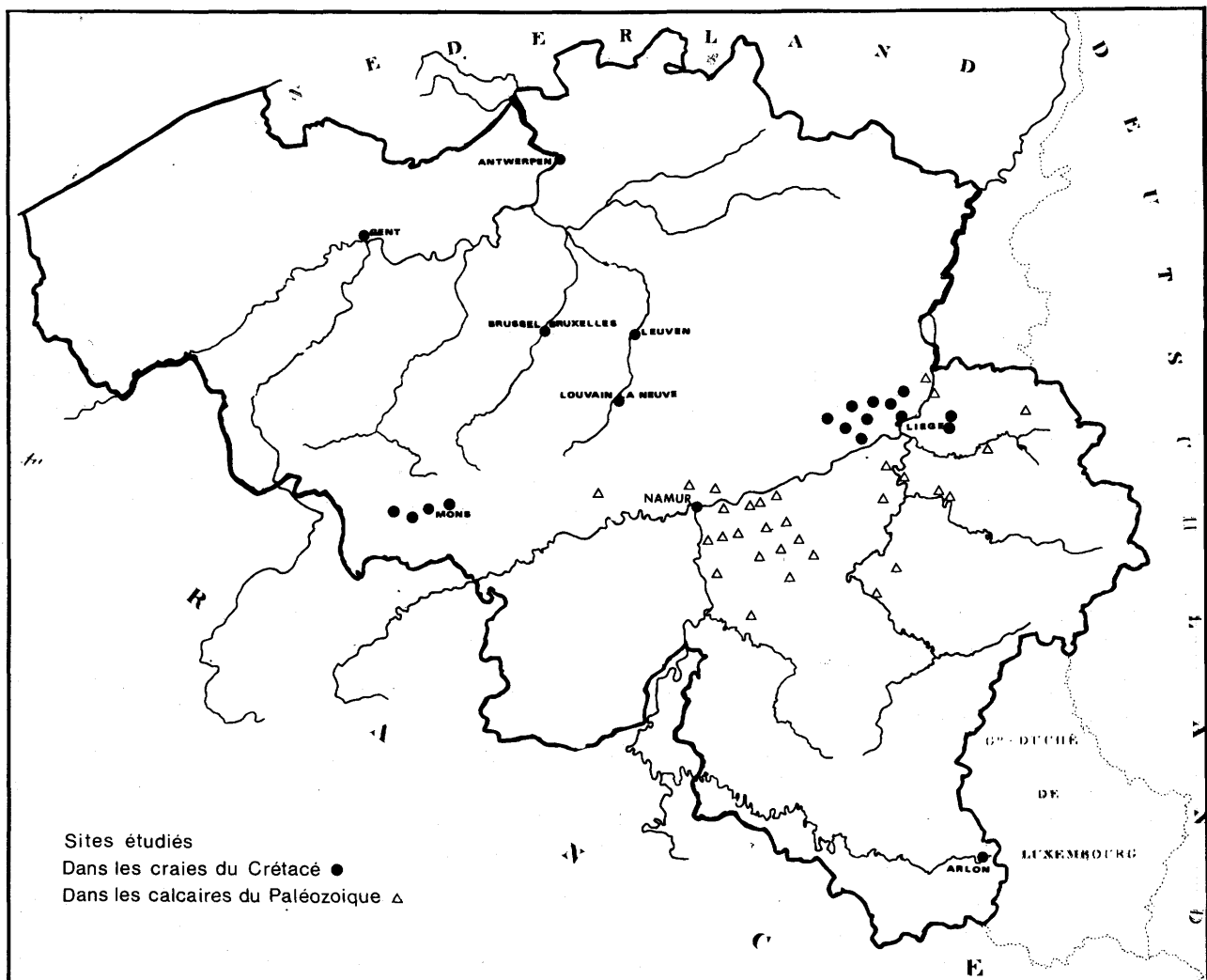


Figure 1.- Localisation des sites karstiques étudiés

Campanien - Maastrichtien entre le Limbourg hollandais et le Brabant wallon, au contact du Tournaisien et du Viséen de la Méhaigne (CALEMBERT, 1953b, 1959a).

3. la plupart des paléokarsts ont subi des réactivations à plusieurs reprises, soit qu'après une période d'arrêt au cours de transgressions, ils se trouvent de nouveau dégagés par l'érosion, soit que les dépôts transgressifs exondés lors de la régression suivante soient perméables et laissent pénétrer les eaux d'infiltration jusqu'aux appareils karstiques fossiles; des faits probants ont été relevés dans la vallée de la Meuse au contact Viséen - Namurien (CALEMBERT & VAN LECKWIJCK, 1941a, CALEMBERT, 1945b), dans les gisements tertiaires lacustres du Condroz (CA-

LEMBERT, 1945a); dans cette région remarquable, on constate que le karst a donné lieu à des dolines, des ouvalas et des poljés dans lesquels se sont accumulés des dépôts argilo-sableux et organiques dont la structure d'ensemble s'est maintenue malgré leur descente à plusieurs dizaines de mètres dans les cavités karstiques (CALEMBERT, 1942, 1943b, 1952); la forme de bourse des entonnoirs qui ont en quelque sorte "aspiré" les sédiments lacustres oligocènes suggère la coalescence de cavités superficielles progressant vers le bas et de cavités plus profondes évoluant per ascensum dans la nappe aquifère régionale (CALEMBERT, 1952).

En géologie appliquée, on peut signaler en relation avec le développement du karst, des gisements ré-

siduels de fluorine (CALEMBERT & VAN LECKWIJCK, 1941b) et de phosphate de chaux (CALEMBERT, 1943a) et des gisements d'altération des schistes namuriens effondrés dans les entonnoirs karstiques et transformés en terres plastiques et réfractaires (CALEMBERT, 1941); dans quelques localités, on trouve superposés un gisement namurien altéré in situ et un gisement lacustre séparés par un conglomérat.

L'évolution décrite des phénomènes karstiques dans les régions dont le sous-sol est exploité pour le charbon, des minerais ou pour le pompage d'eaux souterraines donne lieu à des combinaisons d'influences naturelles et anthropiques dignes de mention; on observe des convergences entre les déformations de la surface du sol engendrées par les affaissements miniers et par le développement du karst dans les morts-terrains solu-

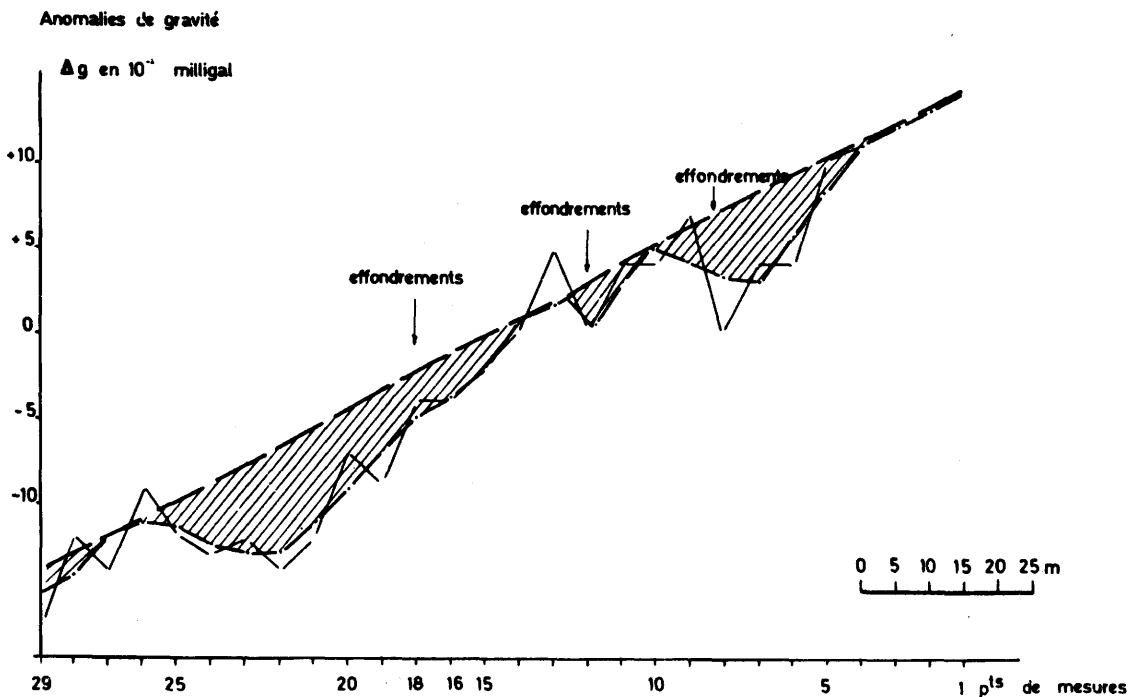
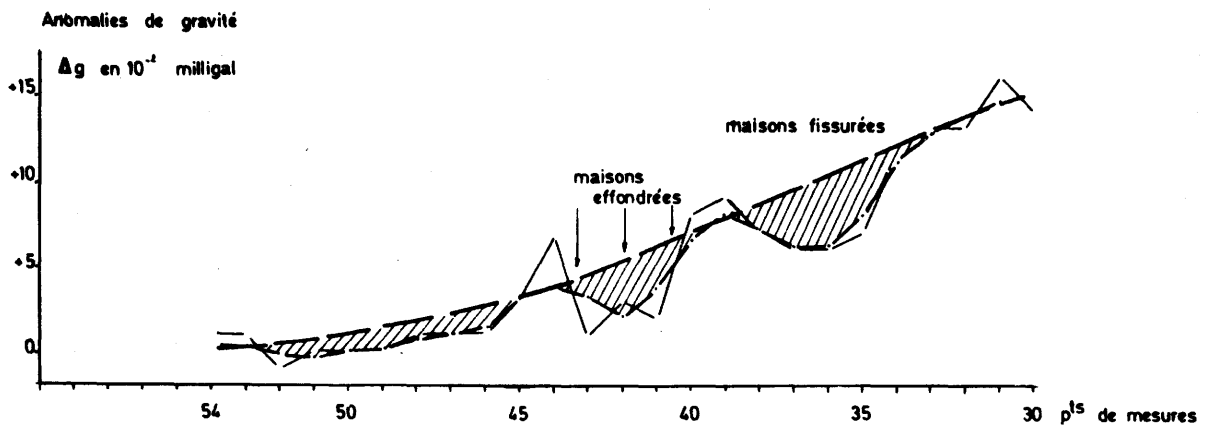


Figure 2.- Profils gravimétriques à Alleur

bles (CALEMBERT, 1953a); une étude statistique des phénomènes karstiques dans les zones de la région liégeoise non influencées par les actions minières révèle leur rôle prépondérant dans les dégradations aux terrains et aux constructions (CALEMBERT, 1959b); dans la vallée de la Haine (CALEMBERT & MONJOIE, 1975a et b), les captages pour l'alimentation en eau et les pompages pour l'exécution de travaux publics entraînent dans le massif karstifié et surtout dans les formations tourbeuses des terrains sus-jacents, des modifications du régime hydraulique causes de graves dommages à l'échelle régionale.

Les problèmes de géologie de l'ingénieur en régions karstiques ont été étudiés dans plusieurs sites avec d'autant plus d'attention que les grands travaux, l'urbanisation, l'aménagement du territoire sont susceptibles de créer des conditions nouvelles ou d'accélérer des processus naturels; nous avons décrit certains cas examinés dans notre pays à l'occasion d'une enquête internationale promue par l'Association internationale de Géologie de l'Ingénieur (CALEMBERT & MONJOIE, 1973, CALEMBERT, 1974, 1975), de l'examen exhaustif de la région de Beauregard dans la vallée de l'Ourthe (CALEMBERT & MONJOIE, 1971) et des informations contenues dans un essai sur les raisons d'être d'une géologie de l'environnement en Belgique (CALEMBERT, 1976).

Nous terminerons notre communication par l'exposé de quelques "case histories" illustrant certains aspects particulièrement importants dans le domaine de la géologie de l'ingénieur. En effet, que le karst soit actif et provoque des effondrements, qu'il soit passif mais se traduise par des contacts irréguliers entre roches solubles et insolubles et par des remplissages hétérogènes de cavités, il pose de graves problèmes aux travaux du génie civil. Le géologue intervient alors pour des investigations détaillées à l'échelle de quelques dizaines de m<sup>2</sup> voire du m<sup>2</sup>.

En Hesbaye, au Pays de Herve, dans le bassin de la Haine, les craies et tuffeaux sont recouverts de silex résiduels et de limons quaternaires avec parfois un lambeau intermédiaire de sables tertiaires. L'infiltration des eaux météoriques engendre un karst actif irrégulièrement réparti suivant la densité des fissures et diaclases dans les craies mais aussi des actions anthropiques : anciennes exploitations de phosphate de chaux, de marnes, de silex peu ou pas remblayées, provoquant le drainage et l'accumulation des eaux et des reprises de la dissolution; infiltrations d'eaux domestiques provenant des puits perdus, de canalisations défectueuses, de citernes non étanches, de descentes de gouttières.

Les expertises ont démontré que les cavités souterraines quelle que soit leur origine, donnent lieu à des effondrements successifs et se développent per ascensum sous l'influence des infiltrations, des fluctuations de la nappe aquifère, des vibrations dues au trafic et occasionnellement à des microséismes (PEL, 1967). La dimension réduite des phénomènes, la faible cohésion des craies, la conductivité des terrains font que seule la prospection microgravimétrique (MONJOIE, 1974) est d'application : les déficits de gravité par rapport à l'anomalie régionale mesurée à ALLEUR suivant deux coupes (fig. 2) indiquent clairement les zones sujettes à caution.

Au site de construction de la prison de LANTIN, les terrassements ont révélé à 3 m sous la surface du sol, une cavité de 6 m de diamètre et de 8 m de hauteur. Le vide tendait à se développer per ascensum et à la base, le remplissage atteignait une épaisseur de 15 m. La prospection microgravimétrique entreprise alors a repéré de nombreuses aires suspectes (fig. 3) tant sous les fondations prévues qu'à proximité d'ouvrages déjà réalisés. Il a fallu exécuter de nombreux essais de pénétration, revoir les calculs et le projet des fondations, procéder à des injections.

Des phénomènes similaires sont observables à l'aérodrome de Bierset, à Ans, Vottem, Alleur, Soumagne, Baudour, ... A titre d'illustration, la figure 4 représente un essai de pénétration à l'aérogare de Bierset : sous le conglomérat à silex, la résistance à la pointe est nulle ou faible (0 à 10 kg/cm<sup>2</sup>) sur 5 m, varie entre 10 et 50 kg/cm<sup>2</sup> dans 6 m de craie partiellement dissoute, atteint progressivement des valeurs normales à 29 m de profondeur; la planche 1 : 1 montre une poche de dissolution remplie de limons et de sables tertiaires, la planche 1 : 2 indique un stade intermédiaire dans une aire en cours de dissolution.

Dans les formations calcaires du Paléozoïque (Givetien, Frasnien, Tournaisien, Viséen), les phénomènes karstiques sont généralement plus développés, orientés par les structures tectoniques et répartis en plusieurs niveaux correspondant à ceux des terrasses du Quaternaire. Les caractéristiques des terrains (calcaire cohérent et résistif) et la dimension des phénomènes permettent d'obtenir de bons renseignements par prospection électrique, sismique, électromagnétique.

Dans le vallon de Beauregard (CALEMBERT & MONJOIE, 1971) (fig. 5), une étude entreprise en vue de l'urbanisation a défini le développement du karst dans un synclinal double Frasnien - Givetien s'ennoyant vers l'Ourthe à Monceau. On a constaté que certaines

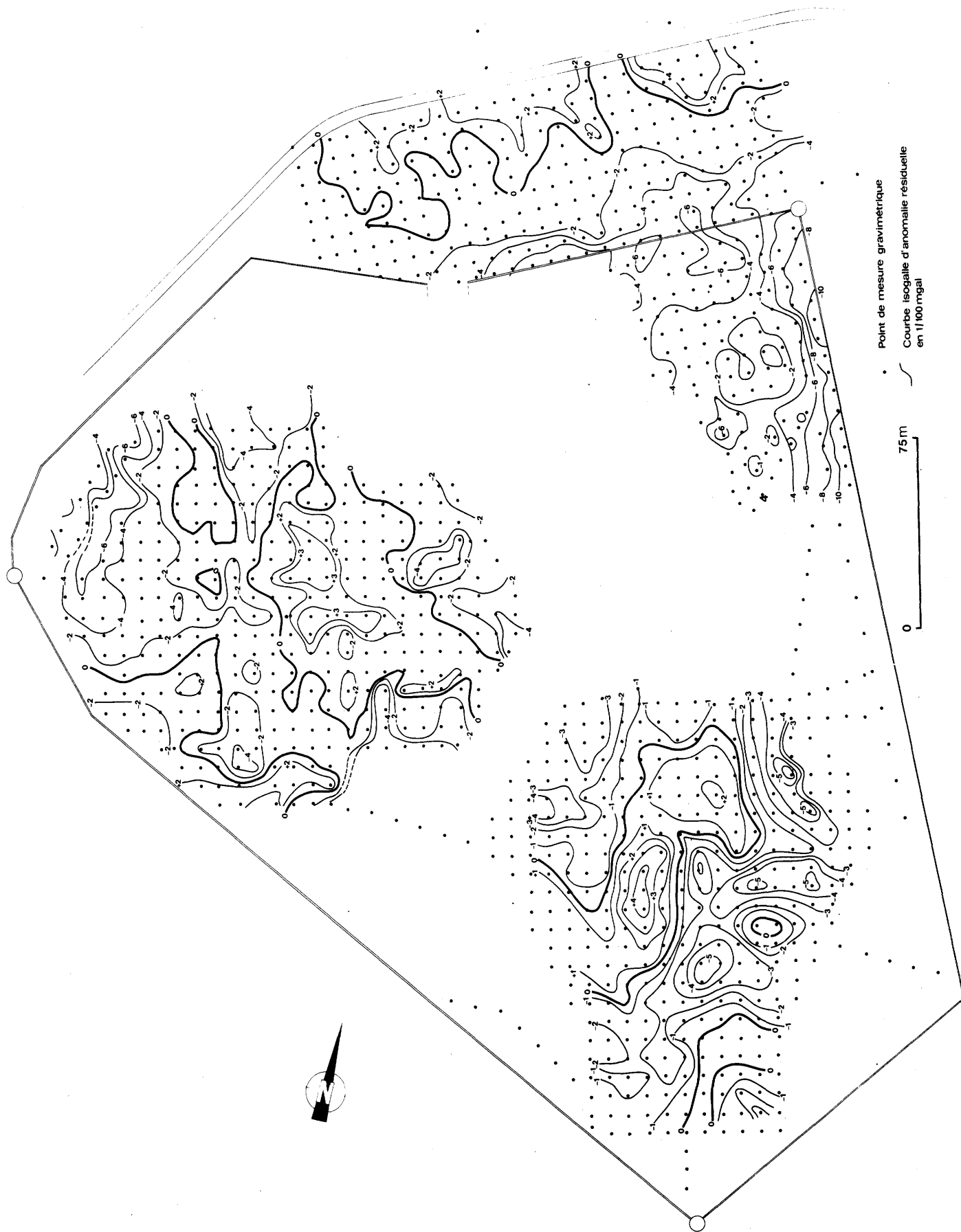


Figure 3.- Carte d'anomalie gravimétrique résiduelle à Lantin

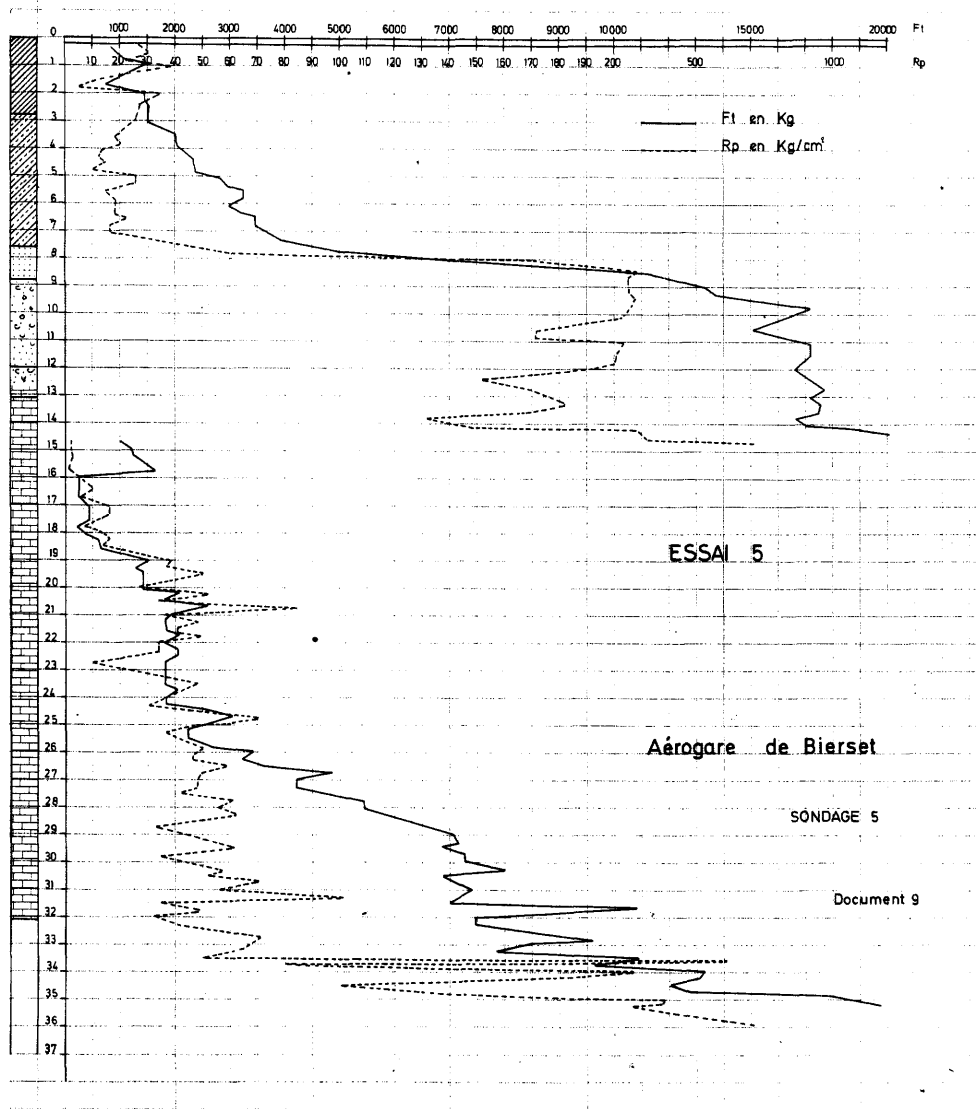


Figure 4.- Sondage pénétrométrique au droit d'une zone dissoute

dolines peu marquées topographiquement présentaient des remplissages de plus de 10 m tandis que d'autres mieux individualisées (2 à 4 m de dénivellée) étaient en pleine évolution, les matériaux étant entraînés vers les conduits karstiques. Sous le karst situé dans l'axe du synclinal, un second réseau karstique est apparu en liaison avec l'exutoire créé dans le méandre de Fécheux. De plus, on observe que les phénomènes actifs tendent à migrer vers le contact schistes - calcaires de la bordure Nord du synclinal.

Des phénomènes similaires ont été repérés à Trassenster, à Louveigné, ... A Verviers (POLO-CHIA-POLINI, 1973) (fig. 6) les calcaires givetiens karstifiés

au contact des schistes couviniens ont nécessité la pose de pieux de 25 m au lieu des 8 à 15 m prévus initialement et en quantité double. A Esneux, la présence d'une poche de dissolution en clef de voûte dans le tunnel ferroviaire, a entraîné un effondrement de 400 m<sup>3</sup> au cours de la réparation de l'ouvrage et un déraillement heureusement sans gravité : il s'agissait de nouveau du contact schistes - calcaires particulièrement vulnérable en raison de la circulation d'eaux peu chargées en ions provenant des schistes et des grès et le risque est accru à la recoupe de failles transversales N - S.

Les paléokarsts et surtout celui qui existe au contact Viséen - Namurien, sont particulièrement specta-

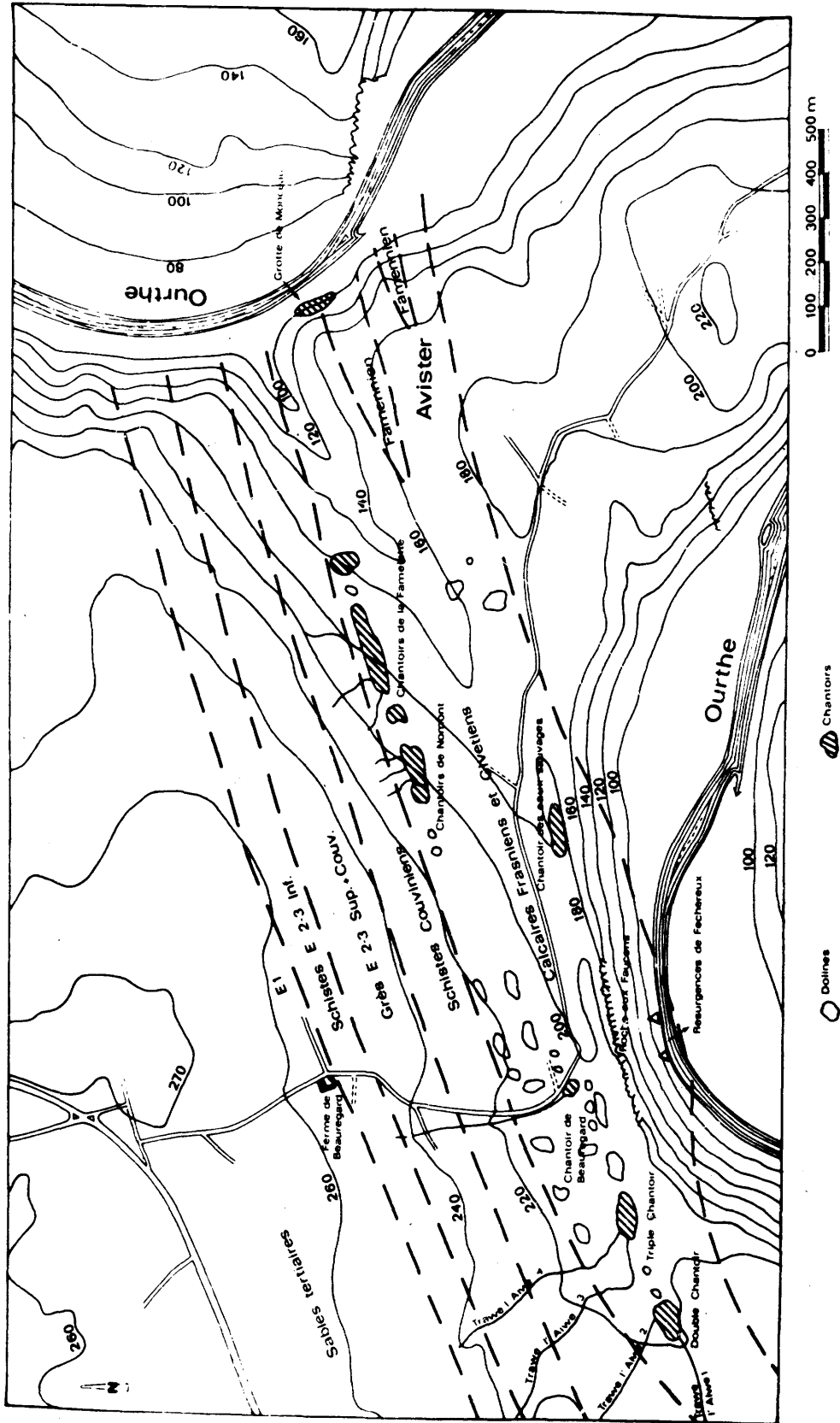


Figure 5.- Vallon de Beaugard : plan de situation

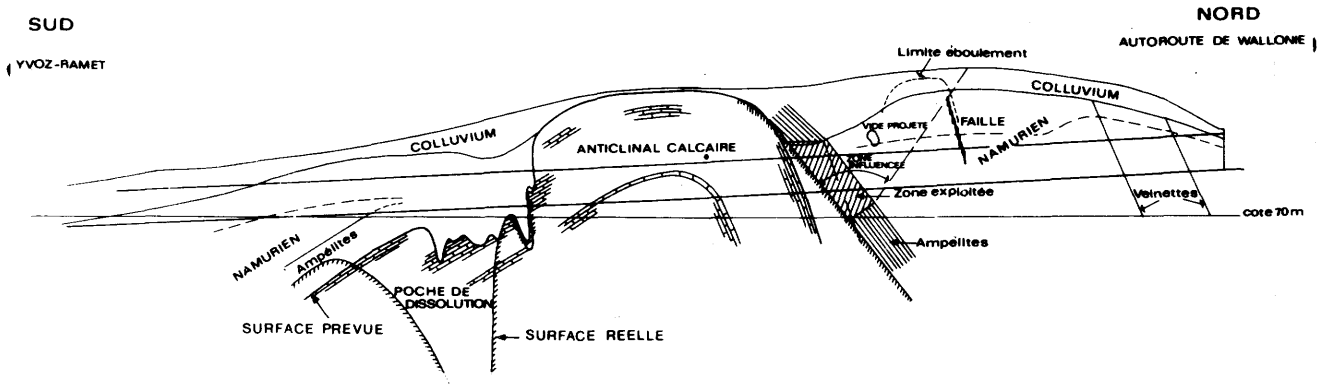


Figure 6.- Coupe géologique du site de Verviers

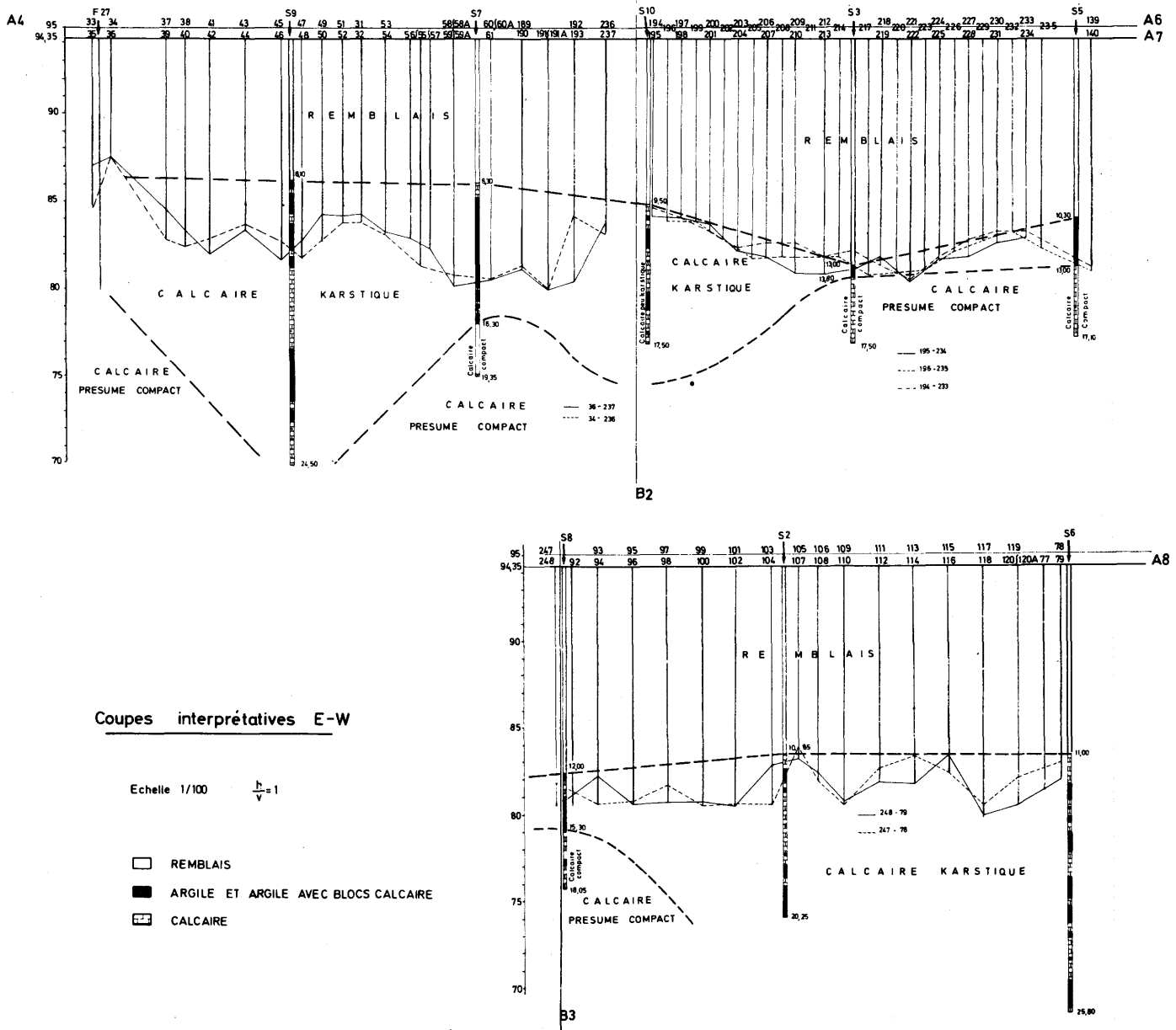


Figure 7.- Coupe géologique du tunnel de Flémalle



culaires et dangereux. Au site d'un tunnel routier à Flémalle (CALEMBERT & MONJOIE, 1973; CALEMBERT, 1975) (fig. 7), une poche karstique supposée peu profonde et en relation avec le niveau hydrostatique de la nappe alluviale de la Meuse, s'est révélée au cours des travaux beaucoup plus amples et profonde de plus de 57 m. Les parois étaient très déconsolidées et le remplissage, hétérogène et instable. La conception de l'ouvrage a dû être modifiée et la zone dissoute a été franchie par pont. Des phénomènes de même type ont été observés sur l'autoroute Visé - Maastricht (CALEMBERT & MONJOIE, 1970), d'où modifications des longueurs de pieux en fonction de l'ampleur des phénomènes karstiques, stabilisation des murs par tirants précontraints et dans les cas les plus défavorables, injection des zones d'ancrage.

Les recherches réalisées dans le cadre de la géologie de l'ingénieur ou de la géologie de l'environnement contribuent à fournir des résultats fort intéressants dans le domaine de la géologie générale, en particulier du fait qu'elles se préoccupent des phénomènes karstiques à différentes échelles.

### DISCUSSION

M. A. OZER :

Vous avez évoqué le problème de la stabilité de l'aérogare de Bierset. Mais qu'en est-il pour la piste ?

M.A. MONJOIE :

Le problème est le même. Il faudrait repérer les phénomènes karstiques éventuels et au droit de ceux-ci revoir la conception de la piste, par exemple en faire une dalle de béton continue si l'on veut que des avions civils plus lourds puissent y atterrir.

### BIBLIOGRAPHIE

- CALEMBERT, L., 1941. Un gisement de terres plastiques constitué par l'altération du Namurien, à Loyers. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, LXV : 76-84.
- CALEMBERT, L., 1942. Le gisement de Try-dô-Baur (Naninne) et l'affaissement des terres plastiques tertiaires dans les poches de dissolution du Calcaire carbonifère. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, LXV : 221-230.
- CALEMBERT, L., 1943a. Les gisements de phosphate de chaux de la Hesbaye. *Mémoire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège*, 1 : 1-10.
- CALEMBERT, L., 1943b. Des gisements composites de terres plastiques à Bonneville et à Andoy. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, LXVI : B101-113.
- CALEMBERT, L., 1945a. Les gisements de terres plastiques et réfractaires d'Andenne et du Condroz. Ed. Vaillant-Carmanne, Liège, 204 pp., 50 fig.
- CALEMBERT, L., 1945b. Le contact Namurien-Viséen dans le massif de Visé. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, XIX : B45-60, 5 pl.
- CALEMBERT, L., 1950. Phénomènes de corrosion sous-fluviale dans la vallée de l'Amblève. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, LXXIII : B157-168, 3 pl.
- CALEMBERT, L., 1952. Corrosion des roches solubles à l'intervention des eaux vadoses et phréatiques en Belgique. *Bulletin du Centre Belge d'Etudes et de Documentation des Eaux*, 18 (IV) : 211-223, 19 fig., Bruxelles.
- CALEMBERT, L., 1953a. Dégâts miniers et phénomènes de dissolution dans le Bassin houiller de Liège. *Annales des Mines de Belgique*, III, 2<sup>ème</sup> livraison : 184-192, 6 fig., Bruxelles.
- CALEMBERT, L., 1953b. Sur l'extension régionale d'un hard ground et d'une lacune stratigraphique dans le Crétacé supérieur du Nord-Est de la Belgique. *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences de Belgique*, Classe des Sciences, 5<sup>ème</sup> série, XXXIX : 724-733, 3 fig., Bruxelles.
- CALEMBERT, L., 1958. Phénomènes karstiques holofossiles dans le Crétacé supérieur du Bassin du Geer. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, LXXXI : B495-506.
- CALEMBERT, L., 1959a. Contribution à l'étude du Paléokarst en Belgique. *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences de Belgique*, Classe des Sciences, 5<sup>ème</sup> série, XLV : 15-37, 12 fig., Bruxelles.
- CALEMBERT, L., 1959b. Etude de l'influence des facteurs géologiques et miniers sur les déformations du sol de la région liégeoise. *Ministère des Travaux Publics et de la Reconstruction. Plan d'Aménagement* : 57-76, 4 fig. couleur, 1 tabl., bibliogr., Bruxelles.
- CALEMBERT, L., 1974. *Ingenieurgeologie : problemen en onderzoekingen in karstgebieden*. De Ingenieur, 41 : 789-793, Den Haag.
- CALEMBERT, L., 1975. Problèmes de géologie de l'ingénieur en régions karstiques. *Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 12 : 93-132, Krefeld.
- CALEMBERT, L., 1976. Raisons d'être de la géologie de l'environnement en Belgique. *Recherche et Technique au Service de l'Environnement*. Ed. Cebedoc : 69-107, 28 fig., Liège.
- CALEMBERT, L. & MONJOIE, A., 1970. Phénomènes géologiques et géologie de l'ingénieur dans la région de Visé (Belgique). *Premier Congrès International de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, I : 93-107, 3 fig., Paris.

- CALEMBERT, L. & MONJOIE, A., 1971. Bassin karstique et réseaux souterrains de la région de Beauregard (Liège - Belgique). Actes du Colloqué d'Hydrologie en Pays calcaire : 277-283, 2 fig., 1 tabl., Besançon.
- CALEMBERT, L. & MONJOIE, A., 1973. La géologie de l'ingénieur en relation avec les roches solubles, en Belgique. Symposium de Hanovre de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 4 : F1-F8, 10 fig., Hanovre.
- CALEMBERT, L. & MONJOIE, A., 1975a. Observations hydrogéologiques dans la vallée de la Haine (Belgique). Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris, 280 (D) : 2637-2639, Paris.
- CALEMBERT, L. & MONJOIE, A., 1975b. Modification du régime hydraulique des eaux souterraines dans la vallée de la Haine. Colloque de Géologie et Géotechnique urbaines. Comité Belge de Géologie de l'Ingénieur : 369-380, Bruxelles.
- CALEMBERT, L. & VAN LECKWIJCK, W., 1941a. Sur des phénomènes de dissolution au contact des terrains viséens et namuriens dans la région de Samson. Annales de la Société Géologique de Belgique, LXV : B41-46.
- CALEMBERT, L. & VAN LECKWIJCK, W., 1941b. Les gisements de fluorine belges et français du bord méridional du Synclinorium de Dinant. Annales de la Société Géologique de Belgique, LXV : B65-76.
- MONJOIE, A., 1974. Phénomènes de dissolution dans la zone Nord de Liège. 2<sup>ème</sup> Congrès International de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, III-18 : 10 pp., 4 fig., Sao Paulo.
- MONJOIE, A., 1975. Application de la méthode magnéto-électrique à la recherche des conduits et vides karstiques. Colloque de Géologie urbaine du Comité Belge de Géologie de l'Ingénieur, 14 pp., 5 fig., Bruxelles.
- PEL, J., 1967. Phénomènes géologiques et hydrogéologiques causes de dégradations dans la commune d'Alleur. Annales de la Société Géologique de Belgique, 90 (10) : 798-801, 3 fig., 1 pl., 1 tabl., Liège.
- POLO-CHIAPOLINI, Ch., 1973. Fondations en site karstique à Verviers (Belgique). Revue "La Technique des Travaux", sept-oct., Liège.

## PLANCHE 1

1. Poche de dissolution dans la craie de Hesbaye. Aqueduc Lantin-Juprelle
2. Craie partiellement dissoute. Aqueduc Lantin-Juprelle

