

Conduits souterrains en relation avec les terrasses fluviales

par Camille EK

(7 figures et 1 hors texte)

English abstract at the end

Résumé

1. — *Un type particulier de grotte est décrit; il consiste en longues galeries subhorizontales, débouchant au flanc des vallées.*

2. — *En se basant sur l'analyse des caractères morphologiques de ces cavités l'auteur considère ce type de grottes comme étant en rapport direct avec des terrasses fluviales.*

3. — *Une série de relations sont définies entre le type de grotte étudié et la morphologie de surface.*

Après avoir donné deux exemples d'application à des problèmes de terrasses, l'auteur conclut à l'intérêt de l'étude de ces cavités pour des recherches sur les terrasses inférieures des rivières.

MM. les professeurs P. MACAR et L. CALEMBERT ont bien voulu me faire bénéficier de leurs précieux conseils. Je les en remercie très vivement.

Ma gratitude va aussi à mes compagnons de prospection, MM. H. et J. COURTOIS, L. PHILIPS et R. DENOEL, qui m'ont si patiemment assisté dans les levés topographiques et altimétriques, et qui m'ont fourni un appui précieux durant l'élaboration de ce travail.

Quelques observations ont montré que l'étude de la morphologie de certains types de grottes peut être profitable aux recherches concernant la chronologie du Quaternaire. Ce n'est qu'à ce titre

que sont livrées ici les premières constatations faites dans quatre grottes du bassin de l'Ourthe :

— la grotte Sainte Anne et la grotte de Brialmont, situées au sud de Tilff, dans la vallée de l'Ourthe; ces deux grottes, dont la seconde est située juste au-dessus de la première et dans la même formation, seront considérées ensemble, comme formant, génétiquement, un tout ;

— la grotte du pont d'Esneux, située au bord de l'Ourthe également ;

— la grotte de la carrière Jaminon, à Cornesse, dans la vallée de la Vesdre.

— une partie de la grotte de Remouchamps, dans la vallée de l'Amblève.

1. — Le développement horizontal et linéaire des grottes étudiées

Analysant récemment (1958) les critères possibles d'une classification des cavités naturelles, le professeur NANGERONI ⁽¹⁾ rappelait tout d'abord l'opposition morphologique évidente entre les grottes à développement surtout vertical et les grottes à extension horizontale (SEGRE, 1948).

C'est parmi les cavités du second type que se rangent les grottes décrites ici; elles ont en outre deux particularités importantes : ce sont essentiellement de longs couloirs presque rectilignes, en pente très faible vers la vallée; en outre, elles comportent généralement deux ou plusieurs « étages » de galeries superposées.

A. — *La grotte Sainte Anne et la grotte de Brialmont, Tilff*

a) *Localisation.* — En amont de Tilff s'ouvre sur la rive droite de l'Ourthe une grande carrière de calcaire, depuis longtemps désaffectée; c'est dans cette carrière que débouche la grotte Sainte Anne, formée de trois longs couloirs superposés et reliés entre eux par de nombreuses fissures. Au-dessus de ces trois couloirs se trouve un quatrième : la grotte de Brialmont, à laquelle on accède par le plateau qui domine l'Ourthe; il ne semble pas

(1) Pour tous les ouvrages cités, voir références complètes *in fine*.

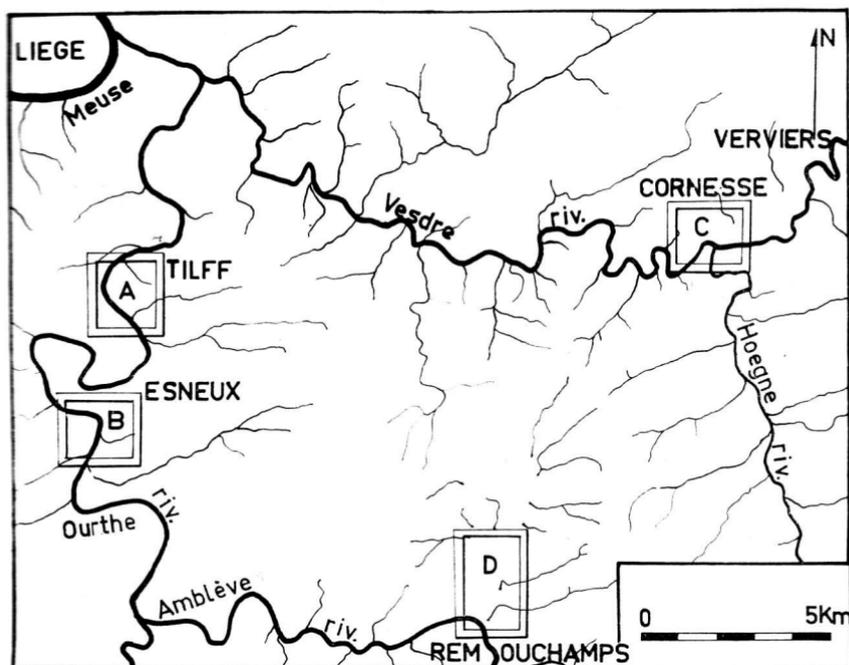


FIG. 1. — Situation générale des points étudiés et localisation (A, B, C, D) des cartes de la figure 2.

y avoir, actuellement, entre la grotte Sainte Anne et la grotte de Brialmont, de communication praticable à l'homme.

b) *Situation géologique.* — Entre deux vastes anticlinaux de Dévonien inférieur, l'Ourthe recoupe, au sud de Tilff, un synclinal complexe, s'allongeant d'est en ouest, et comportant des terrains couviniens, givetiens et frasnien (fig. 2, A).

La grotte est creusée dans les bancs frasnien de ce synclinal, qui sont massifs et réguliers et présentent à cet endroit un pendage d'environ 70° sud.

c) *L'étage inférieur* ⁽¹⁾. — C'est au droit de la carrière Sainte Anne, mais au niveau même de l'Ourthe, que débouche le ruisseau

⁽¹⁾ La grotte Sainte Anne et les autres cavités décrites ici ont été l'objet de diverses descriptions, au moins partielles, et notamment de la part de VAN DEN BROECK, MARTEL et RAHIR (1910). Les éventuelles descriptions antérieures sont citées et commentées par ces auteurs.

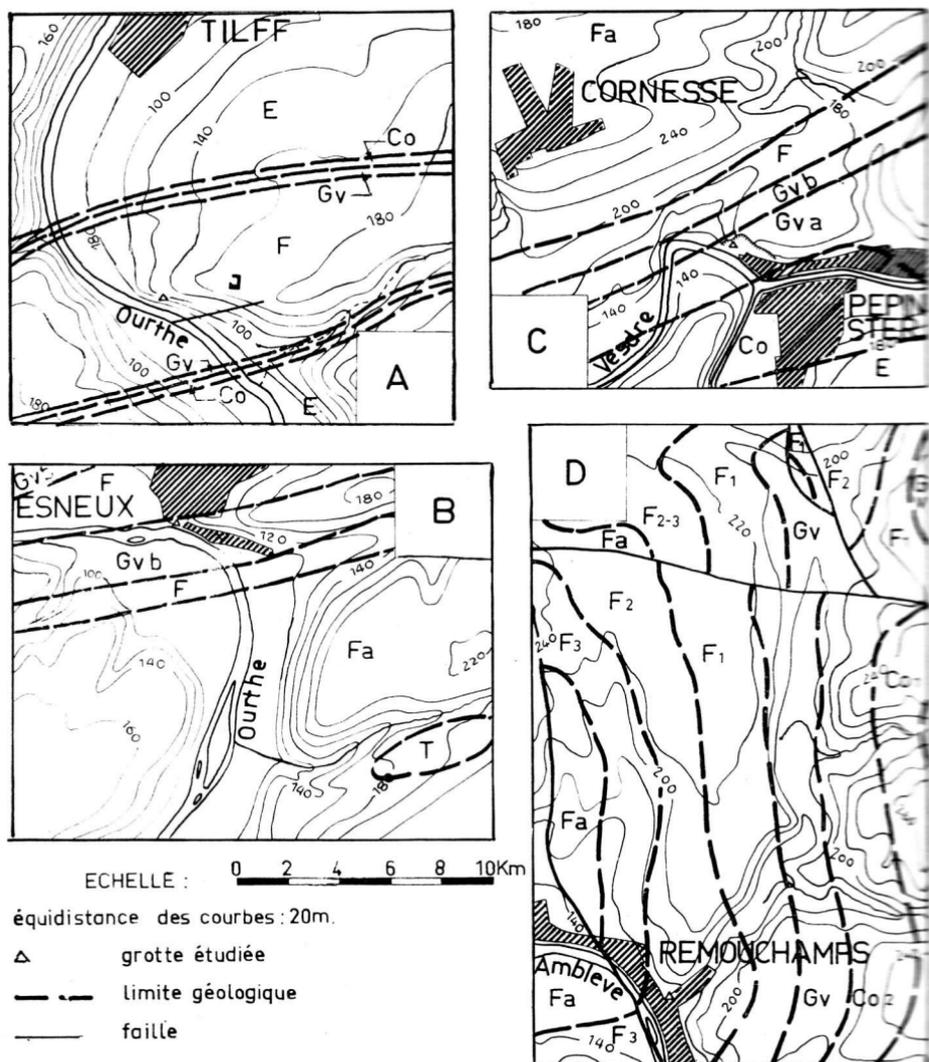


FIG. 2. — Situation topographique des grottes étudiées.

A. — Tilff (géologie d'après L. CALEMBERT, 1960, inédit).

B. — Esneux (géologie d'après M. LOHEST, 1898).

C. — Cornesse (géologie d'après H. FORIR, 1893).

D. — Remouchamps (géologie d'après P. FOURMARIER, 1958).

Abréviations : T : Tournaisien ; Fa : Famennien ; F : Frasnien ; Gv : Givetien ; Co : Couvinien ; E : Emsien.

Note : le Givetien supérieur (Gv b) des cartes B et C est actuellement rangé dans le Frasnien.

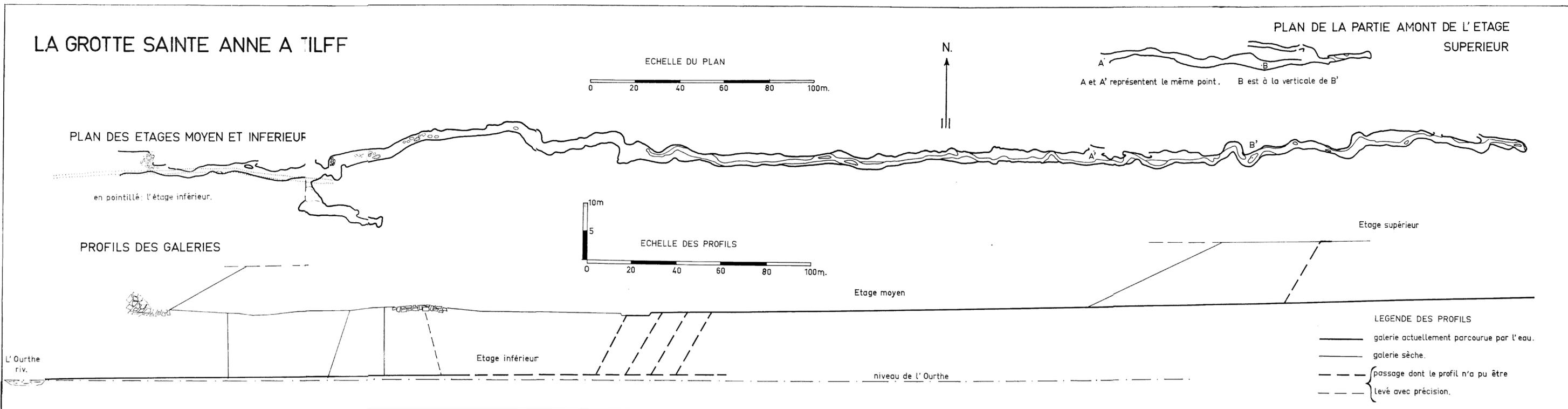


FIG. 3. — Plan (levé par l'Agolina) et profil longitudinal de la grotte Sainte Anne, à Tilff.

souterrain qui parcourt la grotte. On peut le remonter sur une distance d'environ cent cinquante mètres. Sa largeur est d'environ un mètre, la hauteur d'eau est de l'ordre de cinquante centimètres. Le fond rocheux est tapissé par plusieurs décimètres d'alluvions fines enrobant des cailloux roulés. Le courant, généralement assez lent, peut devenir rapide à la suite de pluies très abondantes.

d) *L'étage moyen.* — Au-dessus de la galerie qui vient d'être décrite existe un autre étage, qui communique avec le premier par de nombreuses fissures parallèles à la stratification. Ce second étage, qui fut découvert en 1837, lors de l'exploitation de la carrière, s'ouvre par un hall relativement spacieux situé à seize mètres au-dessus du niveau de l'Ourthe. Le sol est formé par des éboulis — et, probablement, des déblais de la carrière; aussi faut-il, au fond de la salle d'entrée, descendre de quatre mètres pour trouver le couloir de l'étage moyen. Ce couloir est connu sur une distance de six cent vingt mètres (fig. 3), jusqu'à un siphon par où arrivent les eaux du ruisseau qui, de là, coulent vers l'Ourthe, dans le couloir de l'étage moyen d'abord; on peut descendre le cours d'eau sur près de quatre cents mètres; il disparaît alors par d'étroites fissures pour se jeter dans le cours inférieur déjà décrit.

La section aval de la galerie est à sec, du fait de ces pertes, mais des bancs de cailloux roulés, enrobés dans une matrice sablo-limoneuse, attestent l'ancien parcours de la rivière souterraine, qui empruntait jadis ce couloir jusqu'à l'air libre.

En section transversale, l'étage moyen se présente sous deux aspects principaux : en certains endroits, surtout vers l'amont, des fissures font communiquer cet étage avec la galerie supérieure; ces fissures ont par place plus d'un mètre de large et sont très généralement parallèles à la stratification. En d'autres endroits, le couloir présente une forme plus ou moins elliptique (voir fig. 8, A).

Des effondrements importants encombrant en quelques places le couloir; ces effondrements sont visiblement postérieurs au façonnement de la galerie par la rivière.

e) *L'étage supérieur.* — A huit mètres environ au-dessus du second couloir de la grotte s'étend une troisième galerie, dont les formes sont beaucoup plus difficiles à reconnaître, à cause

d'abord de l'abondant concrétionnement qui caractérise cet étage, et ensuite du fait d'effondrements ; en de nombreux points, en effet, le calcaire compris entre le plancher de l'étage supérieur et le plafond de l'étage moyen s'est écroulé.

Aussi reste-t-il très peu de l'ancienne topographie de cet étage : les vestiges en sont discontinus : en plusieurs endroits, en effet, le couloir est interrompu par l'abondance des concrétions. Il est donc très difficile de reconstituer l'ancien profil en long de la galerie.

A l'extrémité amont de cet étage, une lame d'eau très mince mais large d'environ deux mètres s'écoule sur une pente concrétionnée. L'eau arrive par des fissures où l'on ne peut pénétrer. Au bas de la pente stalagmitique sur laquelle elle coule en nappe, l'eau traverse une succession de gours, pour se précipiter ensuite en cascates vers l'étage moyen.

f) *La grotte de Brialmont.* — Formant la partie tout à fait supérieure du système, la grotte de Brialmont ne semble être en communication avec la grotte Sainte Anne par aucune fissure accessible à l'homme.

Elle est formée par deux galeries superposées, larges de deux à cinq mètres environ, dont la supérieure n'existe plus qu'aux extrémités de la cavité ; au milieu de celle-ci, en effet, le « plancher » de la partie supérieure s'est effondré dans le couloir sous-jacent.

Des concrétions extrêmement abondantes et variées cachent presque entièrement les parois, et ceci donne à penser que l'actuelle extrémité ouest de la grotte n'est qu'un passage, complètement obstrué par un remplissage stalagmitique, vers une autre partie à présent inaccessible.

En résumé, la série d'étages superposés que forment la grotte Sainte Anne et la grotte de Brialmont, semble avoir une même origine ; les deux galeries inférieures sont manifestement, dans leur état actuel, l'œuvre d'un cours d'eau ; les deux étages supérieurs sont envahis par les concrétions et montrent en plusieurs endroits des traces d'effondrements importants ; aussi l'examen de la morphologie actuelle de ces galeries ne suffit-il pas pour retracer les premières étapes de leur développement.

On verra plus loin les méthodes mises en œuvre pour reconstituer l'évolution de ces étages supérieurs.

B. — *La grotte du pont d'Esneux*

a) *Localisation.* — En face du pont d'Esneux, le versant de rive droite de l'Ourthe se termine à sa base par une petite paroi calcaire verticale. Cet abrupt fut jadis taillé pour permettre l'édification d'habitations aujourd'hui disparues. C'est dans cette paroi que s'ouvre, à un peu moins de quatre mètres au-dessus du sol une large galerie naturelle : la grotte du Pont, dite aussi grotte à *Ursus spelæus* (FRAIPONT, 1884), grotte de l'Ours, ou grotte de la Boulangerie.

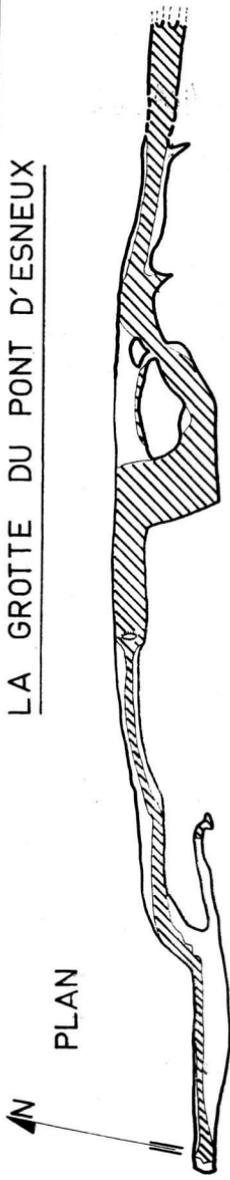
b) *Situation géologique.* — Le calcaire frasnien (Gvb de l'ancienne carte géologique) dans lequel est creusée la grotte d'Esneux est flancé de part et d'autre par des schistes frasniens (fig. 2, B).

La tectonique de l'endroit est très complexe, mais, à la lumière d'une récente note du Baron de RADZITZKY D'OSTROWICK (1955), on peut considérer que les bancs à peu près verticaux qui renferment la grotte forment le flanc nord d'un anticlinal très resserré, et probablement faillé le long de sa charnière qui se trouve à quelques dizaines de mètres au sud de la grotte ; cette charnière aurait, au droit de la grotte, une direction N 70° E approximativement ; ceci coïncide à très peu près avec la direction moyenne du couloir de la grotte, qui est parallèle à la stratification.

c) *La cavité.* — La grotte est formée d'un seul long couloir (fig. 4). Ce conduit est, à très peu près, horizontal, mais la chose est difficile à percevoir dans le détail car la couverture argileuse et limoneuse du sol est très irrégulière ; ceci est surtout dû aux nombreuses fouilles dont la grotte a été l'objet depuis la découverte par J. FRAIPONT, en 1884, de nombreux restes d'*Ursus spelæus*. Le sol de la grotte a d'ailleurs été en grande partie déblayé, pour faciliter l'accès, sur plusieurs dizaines de mètres à partir de l'entrée. Au-delà, on peut observer en plusieurs places un dépôt de dix à trente centimètres d'épaisseur, formé par un sable grossier et de nombreux petits cailloux roulés. Les cailloux comprennent surtout des petits éléments de quartz et de quartzite, de moins de deux centimètres de diamètre en général. Ce dépôt est surmonté de plusieurs couches limoneuses et argileuses dont la disposition semble varier d'un point à l'autre de la grotte ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Une coupe dans ces dépôts a été étudiée par L. TOMBALLE et L. DOR (1958), en un point situé à quatre-vingts mètres de l'entrée.

LA GROTTTE DU PONT D'ESNEUX



▨ Sédiments meubles

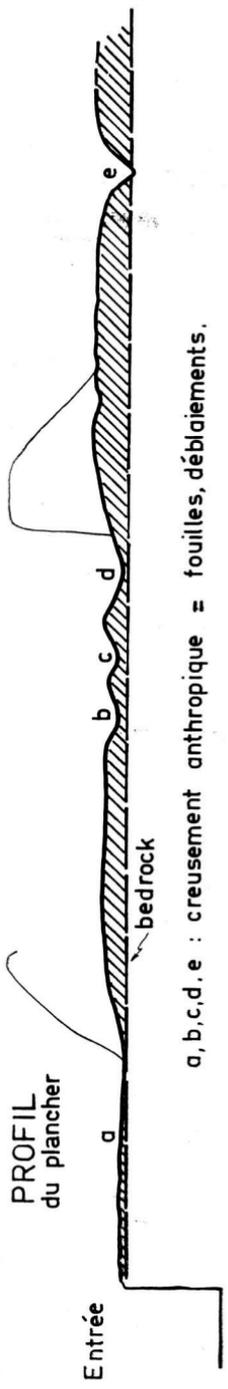
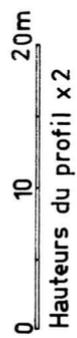


FIG. 4. — Plan et profil longitudinal de la grotte du pont d'Esneux.

Le plafond de la cavité présente en plusieurs endroits de larges sillons longitudinaux qui semblent être la trace de passages en conduite forcée; la pente du plafond, en ces endroits, est assez irrégulière.

Sous les plafonds, cependant, la galerie principale montre une section qui n'évoque en rien un écoulement forcé (fig. 8, B).

La grotte se termine, à nonante mètres de l'entrée, par un bouchon limoneux qui colmate, presque jusqu'au plafond, l'extrémité de la galerie. Ce remplissage empêche la prospection des conduits qui prolongent le couloir décrit.

C. — *La grotte de la carrière Jaminon, Cornesse*

a) *Localisation.* — A deux cents mètres en aval de sa confluence avec la Hœgne, la Vesdre développe sa plaine alluviale entre des versants escarpés qui la dominent d'une soixantaine de mètres. Sur la rive droite, au pied de l'ancienne carrière Jaminon, et à six mètres au-dessus de la Vesdre, débouche un petit conduit naturel qui s'enfonce dans le calcaire et amène, à trois mètres sous le niveau de l'entrée, dans la galerie principale.

b) *Situation géologique.* — La vallée s'allonge, dans la région étudiée, sur le flanc méridional du synclinal de la Vesdre. Vers le sud affleurent le Dévonien moyen et le Dévonien inférieur; vers le nord, le Dévonien supérieur et le Carbonifère (fig. 2, C). Un pli a renversé, au droit de la grotte, les calcaires frasniens, qui présentent un fort pendage sud. C'est dans les bancs du Frasnien et parallèlement à leur direction que s'est développée la cavité.

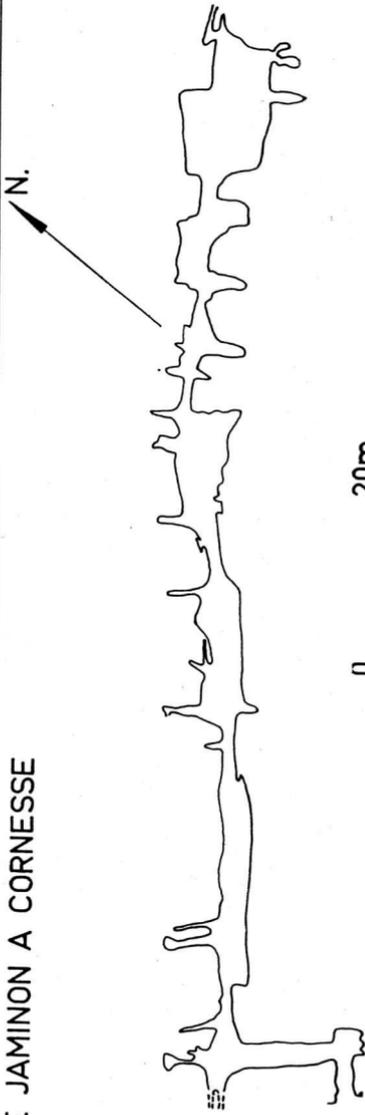
c) *La grotte.* — Elle est essentiellement formée, comme les précédentes, par un long couloir à peu près horizontal, connu actuellement sur une longueur de cent quinze mètres. D'après un plan levé par MM. J. LECLERCQ et H. COURTOIS (fig. 5) elle a une pente moyenne de l'ordre de 2 %. En plusieurs endroits, le couloir principal présente une forme à peu près cylindrique ⁽¹⁾.

La grotte se termine par une salle d'environ huit mètres sur treize, dans laquelle se retrouvent les traces de nombreuses

(1) On trouvera une description plus détaillée dans la petite monographie de J. LECLERCQ (1960).

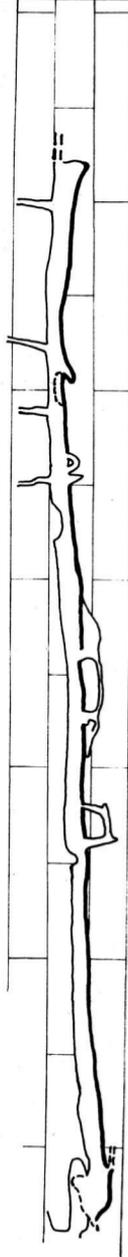
LA GROTTTE JAMINON A CORNESSE

Plan



0 ——— 20m.

Coupe



PENTES: X 2

FIG. 5. — Plan et profil longitudinal de la grotte Jaminon, à Cornesse (d'après J. Leclercq et H. Courtois).

arrivées d'eau anciennes (fig. 8, C). Ce sont des conduites cylindriques à forte pente, ou des conduits semi-cylindriques, à base plane, à pente très faible, assez analogues à ceux décrits par le professeur L. CALEMBERT (1950) dans les roches du lit de l'Amblève, et qui ont très probablement une origine analogue.

Tout comme les deux cavités précédemment décrites, la grotte Jaminon présente fort peu de ramifications latérales importantes et peu de salles par rapport à la longueur de la galerie axiale.

La grotte n'est parcourue par aucun cours d'eau ; cependant, à un niveau inférieur et presque sous la grotte même coule un ruisseau souterrain qui se jette dans la Vesdre à quelque trente mètres de la sortie de la grotte.

D. — *La grotte de Remouchamps*

a) *Localisation.* — L'Amblève reçoit à Remouchamps les eaux d'un important vallon de sa rive droite : le vallon des Chantoirs. Toutes les eaux de cette dépression — sauf une petite partie, lors de crues exceptionnelles — lui parviennent par des cours hypogés.

Les eaux sont en effet toutes collectées par de nombreux chantoirs qui, de Louveigné à Remouchamps, sur une distance d'environ six kilomètres, s'ouvrent un peu partout dans le vallon.

Une partie de cette circulation karstique est collectée par un affluent souterrain de l'Amblève : le Rubicon. Ce cours d'eau traverse, avant de se jeter dans l'Amblève, une des grottes touristiques les plus importantes du pays : la grotte de Remouchamps.

b) *Situation géologique.* — La géologie du vallon des Chantoirs a été remise à jour en 1958 par la parution de la nouvelle édition de la carte géologique de la feuille Louveigné-Spa, du Professeur P. FOURMARIER. La dépression, qui s'allonge du nord au sud, est parallèle aux couches des calcaires givetiens et frasniens dans lesquels elle est creusée (fig. 2, D). A l'est, au-dessus des versants où affleure le Couvinien, s'étend le Dévonien inférieur. A l'ouest affleure le Famennien.

Les couches présentent un pendage général vers l'ouest, mais divers accidents font varier ce pendage localement. Plusieurs failles sont en outre signalées par le Professeur FOURMARIER ;

deux failles importantes, en particulier, fracturent en son milieu, au nord de Remouchamps, la bande calcaire du Vallon (fig. 2, D). Vu leur direction, perpendiculaire à celle des couches, il est probable qu'elles perturbent l'hydrologie locale.

Toutes les parties actuellement connues de la grotte même sont situées dans le Frasnien, plus particulièrement dans l'assise F2 b (« calcaire principal »). Cette assise est flanquée de schistes à sa base et à son sommet ; la grotte même atteint par endroits les schistes supérieurs.

Le pendage des couches varie entre 30° et 15° ouest. Il est donc beaucoup plus faible que dans les cavités précédemment décrites, et ceci se répercute dans la morphologie de la grotte.

c) *Conformation générale de la grotte.* — La grotte de Remouchamps est, à plusieurs points de vue, très différente des précédentes. De vastes salles se sont développées dont l'une a plus de cent mètres de long, sur une largeur atteignant quarante mètres. Le tracé en plan de la grotte est beaucoup plus irrégulier que celui des trois grottes décrites plus haut (fig. 6). Mais, comme à Tilff, les couloirs principaux s'étagent assez régulièrement.

L'étage inférieur est celui que parcourt actuellement le cours d'eau souterrain ; un étage moyen le surplombe de quelque dix mètres — un peu moins à l'aval, un peu plus à l'amont. Des galeries supérieures se développent à une cinquantaine de mètres au-dessus du cours d'eau souterrain.

Les descriptions qui suivent, et la présente étude en général, se limiteront strictement aux couloirs principaux. De nombreux autres passages, de même que la plupart des salles, ont en effet des origines très différentes des processus qui font l'objet de ce travail, et ne seront donc pas décrits ici.

d) *L'étage inférieur.* — Entièrement parcouru par un cours d'eau, l'étage inférieur se présente comme un long couloir dont la largeur varie de deux à six mètres, et dont le lit est tapissé d'alluvions limoneuses et caillouteuses de plus d'un mètre d'épaisseur par endroits.

La rivière passait en trois endroits sous des voûtes mouillantes, mais les besoins de l'exploitation touristique ont amené l'agrandissement de ces passages où, sur quelques dizaines de mètres, l'eau coulait encore en conduite forcée.

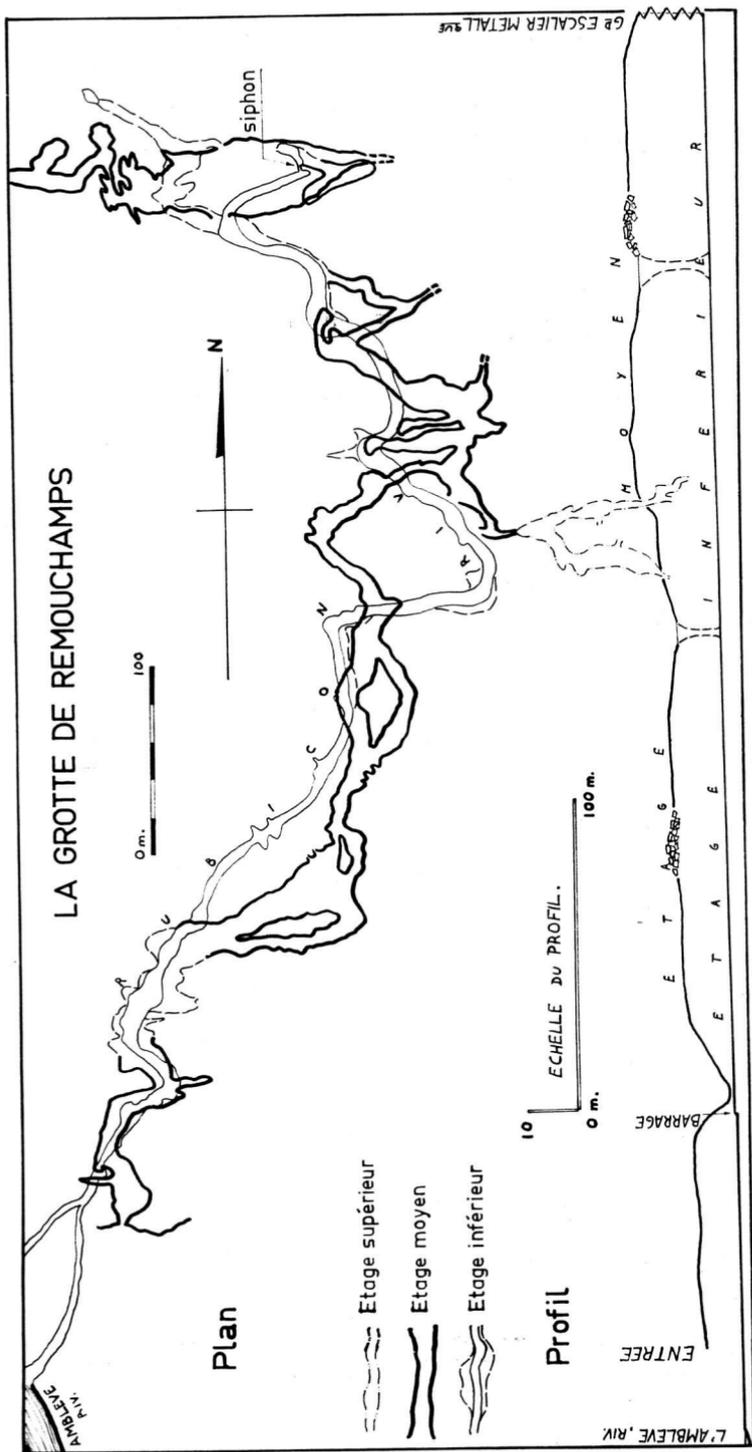


FIG. 6. — Plan (levé par E. RAHR, complété par H. COURROIS et C. EK) et profil longitudinal de la grotte de Remouchamps.

C'est à huit cent cinquante mètres en amont de sa confluence avec l'Amblève que la rivière apparaît dans la grotte au sortir d'un siphon. Celui-ci a été traversé par MM. L. PHILIPS et J. COURTOIS. Ils ont ramené de leur plongée un plan de la salle se trouvant au-delà du siphon ; une plongée ultérieure m'a permis de compléter ce levé (fig. 6). Un second siphon, en amont du premier, a également été forcé par M. L. Philips. On voit qu'en amont du premier siphon, la rivière présente un cours extrêmement irrégulier, et d'un type très différent de ceux qui ont été décrits précédemment dans ce chapitre.

e) Le couloir de l'étage moyen. — L'étage moyen, parcouru par les touristes, est d'une étude malaisée car en de nombreux points le sol a été déblayé ou surhaussé ; le plancher rocheux même est très rarement visible ; aussi le profil longitudinal, de cet étage n'indique-t-il qu'approximativement les pentes et contre-pentes naturelles.

Le sol, là où il est naturel, est formé surtout d'un sable limoneux, micacé par endroits. De-ci, de-là, on peut encore observer des lits de cailloux roulés d'origine visiblement alluviale, et qui se montrent par endroits sur une épaisseur de l'ordre du mètre.

En deux endroits, indiqués sur le profil de la figure 6, d'importants éboulis contribuent à perturber le profil en long de la galerie.

En outre des contre-pentes apparaissent localement en aval des orifices des puits naturels qui joignent l'étage moyen à l'étage actuellement parcouru par les eaux. Ces contre-pentes sont dues au drainage par les puits du couloir moyen après son abandon par la rivière.

f) L'étage supérieur. — Comme à Tilff, l'étage supérieur est constitué de plusieurs passages, que les prospections menées par MM. H. et J. COURTOIS, n'ont pu permettre, jusqu'ici du moins, de rejoindre entre eux.

Galeries presque horizontales et conduits à pente forte s'y croisent et s'y relaient, formant un complexe dont un plan précis n'a encore pu être levé qu'en partie. L'abondance des concrétions en certains endroits et la présence d'effondrements rend d'ailleurs probablement illusoire l'espoir de les relier, pour autant que ces passages supérieurs aient jamais été tous unis par des galeries praticables à l'homme.

2. — Etages de grottes et cycles quaternaires

A la grotte Sainte Anne, à Tilff, les trois galeries superposées arrivent à l'Ourthe aux altitudes respectives de zéro mètre pour le passage inférieur, qui débouche au niveau même de l'Ourthe, douze mètres pour l'étage moyen, et vingt mètres environ pour l'étage supérieur, si l'on prolonge idéalement l'alignement de ses vestiges jusqu'à la vallée. La grotte de Brialmont se trouve à quatre-vingt-quatre mètres au-dessus de la rivière.

Une étude de l'évolution quaternaire de l'Ourthe et de l'Amblève (EK, 1957) fit apparaître une corrélation, a priori inattendue.

Au droit de la grotte, les deux terrasses inférieures de l'Ourthe sont aux altitudes de douze et vingt mètres par rapport à la rivière et une des terrasses supérieures passe à quatre-vingt-sept mètres au-dessus du niveau actuel de l'Ourthe (fig. 7, A).

Il y a donc correspondance entre les altitudes des terrasses et celles des conduits souterrains.

A Remouchamps on trouve également aux mêmes hauteurs de huit et quarante-cinq mètres au-dessus de la rivière deux terrasses de l'Amblève et les étages moyen et supérieur de la grotte (fig. 7, D).

De telles coïncidences répétées donnent à penser qu'il existe une corrélation entre les deux phénomènes étudiés : l'étagement des galeries de certaines grottes et l'évolution cyclique des rivières.

En Belgique comme à l'étranger, les relations directes qui se manifestent en certains endroits entre l'érosion fluviale et l'évolution des cavités karstiques ont été étudiées à diverses reprises.

En Belgique, il faut citer MM. M. LOHEST et P. FOURMARIER (1903), VAN DEN BROECK, MARTEL et RAHIR (1910), S. LECLERCQ (1925), L. CALEMBERT (1950 et 1952, etc...), G. T. WARWICK (1958) ; encore cette énumération est-elle très loin d'être exhaustive.

Mais il semble que l'on n'a guère attaché d'intérêt jusqu'ici à un ensemble cohérent de caractères liés à l'allure du profil en long de certains affluents souterrains des rivières.

Un article récent de M. M. SWEETING (1960) met cependant l'accent sur une relation entre l'étagement des grottes et celui des terrasses dans des vallées de la région de Buchan (Australie).

Les observations contenues dans le chapitre précédent montrent le caractère fluvial de certains passages souterrains.

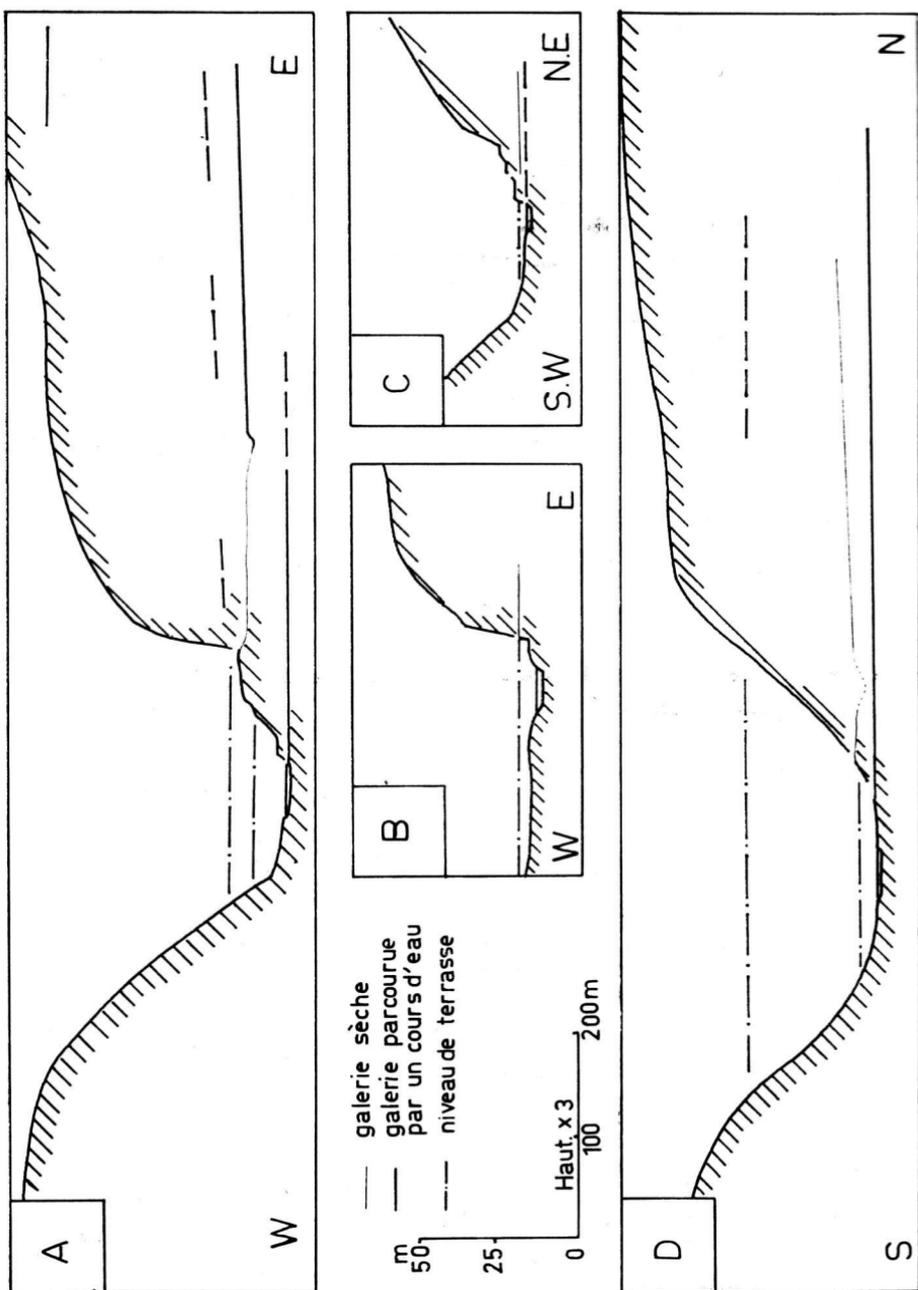


FIG. 7. — Profil des conduits étudiés et traces, dans le plan de la figure, des terrasses quaternaires correspondant aux galeries

A — Grotte Aquette, Aupp., à 1000.

B —

C —

D —

E —

F —

G —

H —

I —

J —

K —

L —

M —

N —

O —

P —

Q —

R —

S —

T —

U —

V —

W —

X —

Y —

Z —

aa —

ab —

ac —

ad —

ae —

af —

ag —

ah —

ai —

aj —

ak —

al —

am —

an —

ao —

ap —

aq —

ar —

as —

at —

au —

av —

aw —

ax —

ay —

az —

ba —

bb —

bc —

bd —

L'état actuel de ces couloirs ne peut en effet être attribué ni à des facteurs agissant dans la zone phréatique ni à ceux qui agissent dans la zone de battement du niveau des eaux phréatiques.

L'explication de l'origine et du mode de formation des cavités décrites doit en effet rendre compte notamment de quatre caractères fondamentaux de ces cavités. Ces caractères, qui vont être passés en revue, sont respectivement : l'existence, à un niveau bien déterminé, d'un creusement important ; la régularité relative des profils en long ; le type linéaire des couloirs ; enfin le caractère fluvial de certains dépôts.

1. — Les sections transversales des couloirs montrent que le creusement s'est localisé à des niveaux bien déterminés (fig. 7) sans s'étendre vers le haut ni le bas, malgré le pendage, généralement très fort, des bancs encaissants. Il ne peut donc s'agir de niveaux d'origine structurale (1).

Une influence de variations de niveau de la surface phréatique se serait marquée par des attaques au moins sporadiques vers le haut et vers le bas, en fonction des variations de niveau.

D'autre part, le fait que le creusement est extrêmement localisé malgré la similitude des strates encaissantes de part et d'autre ne permet guère de voir là un travail phréatique (2). Là où un travail spécifiquement phréatique peut s'observer la dissolution se manifeste de façon fréquemment dispersée en un réseau peu ou point hiérarchisé et en tout cas ne se concentre pas le long d'un segment de direction déterminée.

2. — Le profil en long présente une analogie frappante avec les profils des cours d'eau épigés : la régularisation du profil est plus parfaite à l'aval qu'à l'amont en général ; les siphons sont éliminés dans les sections d'aval avant de l'être en amont.

3. — Le caractère linéaire des couloirs montre que le facteur du creusement a eu sur une distance qui atteint plusieurs centaines de mètres une action particulièrement « concentrée ».

Les diverticules sont relativement rares, et de dimensions très

(1) La direction des couloirs est, elle, visiblement due à la structure, au moins dans les trois premières grottes étudiées. En ce qui concerne la sensibilité des différents types de calcaires récifaux à l'érosion karstique, voir Leander TELL (1961).

(2) C'est-à-dire un travail réalisé dans la zone de saturation du sous-sol par l'eau.

modestes, relativement à la longueur du couloir principal ⁽¹⁾. La circulation phréatique qui a dû exister antérieurement, lorsque les endroits étudiés étaient dans la zone de saturation ⁽²⁾, n'a donc laissé que fort peu de traces et, à la grotte Sainte Anne, la grotte du pont d'Esneux et la grotte Jaminon, le travail de l'eau phréatique n'a jamais eu l'ampleur du creusement par les eaux courantes.

4. — L'observation des dépôts des couloirs supérieurs asséchés confirme l'existence de réelles rivières dans ces conduits. La présence de cailloux roulés de natures diverses, provenant sans doute de terrasses voisines, mêlés à un limon hétérogène ne permettent pas de douter de l'existence d'apports extérieurs. La stratification et la grande extension de ces sédiments montrent qu'ils ne peuvent avoir été mis en place que par une rivière et non, pour les cailloux, par de simples chutes à travers des cheminées de dissolution et, pour les sédiments fins, par des eaux de percolation.

Les galeries inférieures, qui sont encore sous l'action des rivières, montrent un important alluvionnement limoneux et caillouteux.

Ces quatre observations conduisent aux conclusions suivantes :

a) Les couloirs étudiés sont, dans leur état actuel, le résultat d'un creusement par l'eau courante.

b) L'analogie avec les cours d'eau superficiels, et notamment la tendance — au moins apparente, car on ne peut préjuger des processus élémentaires — à suivre un profil d'équilibre, donne à penser que le courant d'eau qui a établi le profil des galeries ne circulait pas en conduite forcée, du moins à l'apogée de son action.

c) Le réseau phréatique qui a pu précéder le creusement vadose et lui ouvrir la voie était nettement moins important que le système actuel, sans quoi on en retrouverait nécessairement des traces plus abondantes que celles qui s'observent en fait.

(1) Sauf à la grotte de Remouchamps, où les salles et divers passages à pentes diverses ont des genèses absolument différentes de celle des parties de la grotte étudiées ici.

(2) C'est-à-dire sous la surface d'équilibre hydrostatique.

Il a été dit plus haut que les couloirs étudiés pouvaient tous se raccorder à des niveaux de terrasses. Si l'on juxtapose cette observation à celles qui précèdent, on peut tirer deux autres conclusions :

d) Il existe une relation causale entre le niveau de l'eau dans la vallée et celui de l'eau dans la grotte ; ceci infirme, *dans les cas particuliers étudiés*, l'opinion si généralement reçue que l'hydrologie des calcaires est dominée par la diversité des mouvements de l'eau dans des joints non communicants, le fonctionnement aberrant des syphons, les fontaines vauclusiennes, etc...

e) Enfin, on peut préciser que les rivières souterraines successives coïncident avec les niveaux de plaines alluviales non seulement dans l'espace — quant à leur altitude — mais aussi dans le temps — quant au moment de leur formation.

S'il en était autrement, c'est-à-dire si la rivière principale, à la suite d'une reprise d'érosion, avait recreusé son lit, et coulé durant un certain temps en contre-bas de la terrasse à laquelle aboutissait le ruisseau souterrain, celui-ci aurait alors manifesté dans sa région aval une érosion accrue. Or nulle trace d'une telle reprise d'érosion n'est visible. Il est donc probable que les cours d'eau souterrains étudiés ici n'ont jamais débouché à l'air libre par des couloirs « perchés » au-dessus de la rivière.

Si cette dernière conclusion est exacte, elle permettra par conséquent de dater les étages successifs des grottes étudiées, en fonction des cycles quaternaires, lorsque la chronologie absolue de ceux-ci sera établie ⁽¹⁾.

Peut-être aussi, au contraire, les recherches actuellement en cours, dans certains pays, sur la datation des cavités naturelles aideront-elles à établir, par l'intermédiaire des grottes, la chronologie absolue des cycles morphologiques épigés.

(1) On peut esquisser comme suit une première approche de l'âge de la grotte de Tilff, par exemple. Un travail antérieur (EK, 1957) a montré le synchronisme de la terrasse qui passe au niveau de l'étage moyen de la grotte, et de la terrasse n° 2 de la Meuse (MACAR, 1938). En 1945, Brueren a daté du Riss ce niveau de terrasse. D'après un travail récent de RICHTER (1958), l'interglaciaire Mindel-Riss daterait d'il y a 240.000 ans environ, et l'interglaciaire Riss-Würm remonterait à 60.000 ans.

C'est donc entre ces deux dates que se serait développée la galerie principale de la grotte de Tilff: « l'étage moyen », qui est donc, géologiquement, très récent.

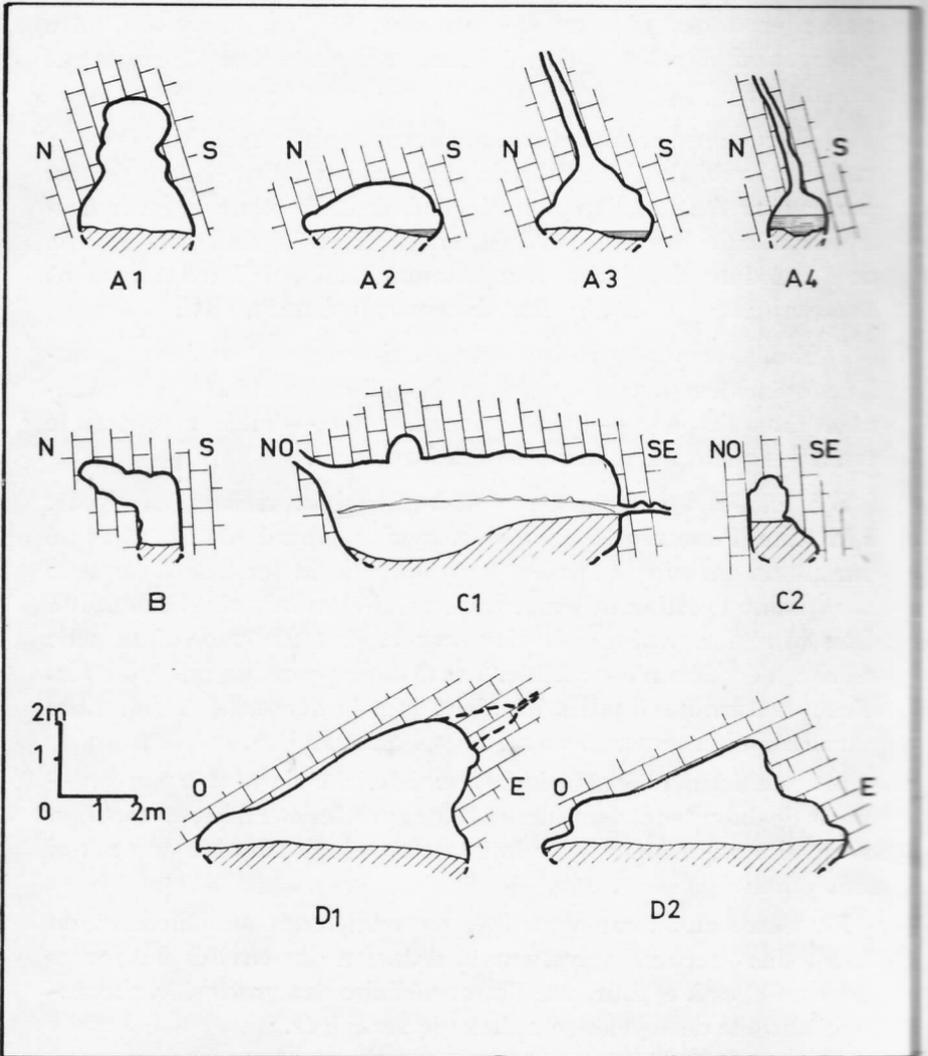


FIG. 8. — Quelques sections transversales des galeries.

- A. — A la grotte Sainte Anne, à Tilff.
 B. — A la grotte du pont d'Esneux.
 C. — A la grotte Jaminon, à Cornesse.
 D. — A la grotte de Remouchamps.

3. — Quelques caractères de l'évolution des grottes étudiées

A. — *Les recreusements successifs*

Lors des phases de stabilité des rivières épigées, les cours d'eau étudiés manifestent une nette tendance à suivre un cours à pente faible et assez régulière ; peut-être n'est-on pas fondé cependant à voir là un profil d'équilibre au sens le plus strict ⁽²⁾.

Durant les époques de recreusement des grandes rivières, en tout cas, l'érosion souterraine, dans les cas envisagés ici, n'est pas régressive au sens habituel du terme. S'il en était ainsi, chacune des grottes étudiées devrait se présenter sous la forme d'une galerie unique, de grande hauteur qui aurait été creusée par un ruisseau s'enfonçant davantage à chaque reprise d'érosion.

En réalité, on peut trouver des vestiges nets des cours correspondant à d'anciennes plaines alluviales, mais les traces datant des périodes de creusement des rivières épigées sont rares et il est difficile de définir le parcours de l'eau à ces époques.

Un indice permet cependant d'avancer une hypothèse : il existe, à Tilff, au bord de la route qui longe l'Ourthe près de la grotte, un petit trou situé à mi-hauteur entre l'étage moyen et l'étage inférieur ; cette ouverture, de forme plus ou moins elliptique, est l'orifice d'un conduit, d'ailleurs obstrué après quelques mètres, mais qui a peut-être été emprunté par l'eau à un stade intermédiaire : la forme elliptique du conduit donne à penser qu'il s'agit d'une conduite forcée, creusée à partir de fissures ou d'un passage phréatique préexistant, et communiquant avec la partie aval de l'étage moyen. C'est probablement par cette conduite, fonctionnant à gueule bée, qu'une partie au moins du cours d'eau souterrain se jetait dans l'Ourthe à un moment donné.

Il semble bien que le processus d'enfouissement des cours d'eau étudiés soit fort analogue à celui des cours d'eau coulant à la surface des régions karstiques, qui sont successivement absorbés par des chantoirs situés de plus en plus en amont. Le trajet actuel de l'eau dans la grotte de Tilff (fig. 3) est un exemple particulièrement clair de ce mode d'évolution.

(2) Voir à ce sujet P. MACAR (1936).

Lorsque les rivières épigées cessent de s'encaisser, le processus qui vient d'être décrit permet aux cours d'eau souterrains de s'établir, d'abord en aval, puis en amont, à un niveau déterminé, fonction du niveau de base que constitue la rivière principale ⁽¹⁾. La pente qui s'établit est telle que l'affluent a une pente trop faible pour encore creuser, mais suffisante pour ne pas remblayer. C'est ce qui s'observe très nettement à la grotte Sainte Anne actuellement, où l'étage inférieur a déjà réalisé dans sa section aval une pente qui exprime incontestablement un *équilibre* des conditions d'écoulement.

B. — *Les grottes horizontales et les stades de l'évolution subaérienne*

Les aplanissements partiels qui s'observent le long des vallées, et le creusement des cours d'eau décrits ici sont deux processus d'érosion qui s'exercent dans une même direction — vers la rivière principale — et en fonction d'un même niveau de base — cette même rivière.

Dans une bande calcaire traversée par la rivière, il ne peut évidemment se développer, à la même altitude et au même endroit, un aplanissement partiel et un cours d'eau souterrain du type décrit ici : le plafond de la galerie ferait les frais de l'érosion superficielle et la « cavité » ne serait plus qu'un étroit sillon dans un versant aplani.

Or, la plupart des couches calcaires traversées par l'Ourthe et l'Amblève ont été aplanies lors des premiers cycles quaternaires.

Il semble donc qu'il ne sera guère possible de retrouver des grottes linéaires et horizontales datant de ces premiers cycles ⁽²⁾.

Durant les cycles suivants, aux endroits où la surface du calcaire n'était pas réajustée au nouveau niveau de la plaine alluviale, des grottes à caractères fluviaux ont pu se développer. C'est peut être le cas de la grotte de Brialmont qui, vers quatre-vingts mètres au-dessus de l'Ourthe, forme la partie tout à fait supérieure du système de Sainte Anne à Tilff. Mais la grotte de

(1) Sous le niveau de la rivière souterraine, tel qu'il vient d'être décrit ici, il n'est pas douteux qu'il existe des courants d'eau dont certains aboutissent d'ailleurs sous forme de résurgences sous-fluviales à proximité des grottes (voir notamment L. CALEMBERT, 1952).

(2) Une petite grotte au moins, dans la région étudiée, semble faire une heureuse exception : c'est celle qu'a étudiée Mademoiselle S. LECLERCQ (*op. cit.*) ; cette cavité est en effet située à hauteur de la terrasse de 190 m. à Comblain-au-pont.

Brialmont est envahie par des concrétions en abondance extrême, qui cachent la plus grande partie des parois et qui recouvrent presque tout le plancher ; la situation est analogue par endroits dans les galeries supérieures de la grotte de Remouchamps. Il n'y a donc guère d'espoir de retrouver des vestiges nets de grottes du type étudié ici, même au niveau des terrasses d'altitude moyenne.

C'est donc des galeries développées lors des derniers cycles que l'on doit attendre le plus de renseignements.

C'est ainsi par exemple que la grotte d'Esneux, qui est à sept mètres au-dessus de l'Ourthe, permet de mettre un jalon supplémentaire à une très basse terrasse, connue dans l'Ourthe en amont de Comblain-au-Pont, mais qui n'avait pu être repérée en aval, peut-être par suite de son faible développement, ou à cause des innombrables modifications apportées par l'homme à la topographie des fonds de vallée de la région.

La terrasse en question est connue à Hamoir, à sept ou dix mètres au-dessus de l'Ourthe, et à Comblain-la-tour à six ou huit mètres (EK, 1957).

Il est très probable que la grotte du pont d'Esneux est une manifestation contemporaine de cette terrasse, dont elle semble bien fournir un indice en un endroit où la topographie superficielle n'en porte plus de trace.

Dé même, non loin de Cornesse, la terrasse la plus basse de la Vesdre vient se confondre avec la plaine alluviale actuelle (Melle A. CHAPÉLIER, 1957).

Les lambeaux de cette terrasse se situent en effet à des altitudes de plus en plus proches, vers l'amont, du fond de la vallée ; le dernier lambeau connu est près de Goffontaine, à quatre ou cinq mètres seulement d'altitude relative.

La grotte Jaminon, à Cornesse, est à un peu plus de deux kilomètres en amont du dernier lambeau de cette terrasse. La partie « aval » du couloir principal de la grotte est à trois mètres au-dessus du lit de la Vesdre.

On doit donc se trouver là, à très peu près, au point de rencontre entre la terrasse inférieure et le sommet de la plaine alluviale, ce que l'étude détaillée de la topographie extérieure n'avait pas permis de déceler avec précision.

Comment faut-il envisager le rapport chronologique entre le creusement d'une grotte « linéaire et horizontale » et l'établissement de la plaine alluviale ?

Rien ne permet d'affirmer que la formation de la plaine alluviale et le creusement des galeries à leurs dimensions maxima sont *simultanés*.

On peut seulement dire — si l'hypothèse avancée est exacte — que le développement final des conduits étudiés s'est effectué durant une période située entre le moment où la rivière extérieure a cessé de s'encaisser dans la vallée, et celui auquel elle a repris son érosion verticale.

C. — *Les modalités du creusement*

Une activité phréatique a certainement précédé, dans les grottes qui font l'objet de ce travail, le creusement vadose.

A Remouchamps en particulier, plusieurs parties de la grotte ne peuvent être expliquées par les considérations des chapitres précédents ; il en est de même pour certains diverticules des grottes de Tilff, d'Esneux et de Cornesse, mais à un degré nettement moindre dans ces trois cavités.

Des phénomènes phréatiques actuels observés près de Remouchamps ont été décrits minutieusement et expliqués, par M. L. CALEMBERT (1950 et 1952), qui a mis en évidence l'existence de courants latéraux lents sous le niveau de l'Amblève. La grotte de Remouchamps et la grotte Sainte Anne, à Tilff, montrent en certains points des chenaux phréatiques analogues. Mais à la grotte Sainte Anne, à la grotte du pont d'Esneux et à la grotte Jaminon, le fait morphologique dominant est le long couloir parallèle à la direction des bancs qui descend en pente très faible vers la vallée.

Ceci montre qu'au stade phréatique — dont les traces sont très localisées dans les trois grottes citées ci-dessus, mais beaucoup plus amples à Remouchamps — a succédé un stade d'écoulement vadose ⁽¹⁾ durant lequel une grande quantité d'eau a été collectée

⁽¹⁾ M. R. PISSART a observé à Esneux, entre ces deux stades, une phase intermédiaire, durant laquelle, après le creusement des conduits phréatiques et avant celui du courant « vadose », s'est produit un colmatage argileux (travail inédit de R. PISSART, cité par L. CALEMBERT, 1952).

par un conduit unique ; cette eau semble avoir circulé en écoulement libre la plupart du temps.

Certains couloirs présentent pourtant une section elliptique dont il est très généralement admis qu'elle indique un écoulement en conduite forcée ; dans la plupart des cas observés, la pente dans les tronçons à section elliptique est sensiblement, la même que dans les autres tronçons ; ceci semble indiquer que durant l'activité des « conduites forcées », la circulation a été suffisamment longtemps — ou suffisamment souvent — libre, pour permettre l'établissement d'une pente régulière.

Conclusions

A chaque phase de l'évolution récente du réseau hydrographique superficiel correspond, dans la région étudiée, une adaptation remarquable de certains conduits souterrains.

L'évolution de ces cavités est donc caractérisée par des cycles correspondant aux cycles morphologiques et par une tendance de ces grottes à se développer dans des conditions d'équilibre avec la rivière épigée.

Ces caractères se manifestent dans la morphologie des cavités par une série d'éléments qui, réunis, permettent de définir un type de grotte très particulier, dont le « génotype » serait la grotte Sainte Anne, à Tilff.

Ces phénomènes n'ont fait l'objet que d'une étude localisée. D'autre part, je n'ai trouvé nulle part dans la littérature, d'étude sur les profils en long des cours d'eau souterrains dans leurs rapports avec des terrasses fluviales, ni de recherche sur des problèmes connexes si ce n'est le très intéressant article de M. M. SWEETING (1960) cité plus haut.

On ne peut donc, actuellement, donner de caractère général aux conclusions d'un travail ne concernant que quatre grottes d'une même région (1).

Néanmoins, le lien qui unit les grottes étudiées à l'évolution de la topographie superficielle quaternaire permet d'entrevoir une

(1) D'après quelques plans et d'après mes souvenirs, il semble que des conclusions semblables seraient tirées de l'étude des principaux couloirs des grottes de Jemelle, d'Eprave et du Pré-au-Tonneau (Roche fort), par exemple.

méthode supplémentaire pour l'étude des dernières alternances de creusement et de stabilité relative des cours d'eau.

L'intérêt de cette méthode réside surtout dans la grande difficulté de l'étude des basses terrasses en région de relief. Cette difficulté provient de facteurs très divers : les basses terrasses sont fréquemment peu développées, ou mal conservées ; elles viennent se confondre parfois avec la plaine alluviale ; les établissements humains, les assiettes des voies de communications, les ont souvent masquées ou détruites...

On voit l'importance, dans ces conditions, du témoignage des cavernes, qui fourniront certainement plus d'un renseignement sur les derniers stades de stabilité des rivières épigées.

Abstract

1. — Four caves of the Ourthe basin are briefly described :
 Sainte Anne cave, at Tilff, in the Ourthe valley,
 Bridge cave, at Esneux, in the Ourthe valley,
 Jaminon cave, at Cornesse, in the Vesdre valley,
 Touristic cave, at Remouchamps, in the Amblève valley.

All four are developed in frasnian limestones, and lie on the sides of the main valleys (fig. 1 and 2).

Their other commun characteristics are to be nearly horizontal, with a gentle slope towards the valley, and a development chiefly linear (fig. 3 to 5), except the Remouchamps cave, much more complex (fig. 6), the linear parts of which are only considered here.

The Jaminon cave presents two superposed stairs ; in the Remouchamps cave and the Sainte Anne cave, three stairs are known.

2. — The altitudes of the caves stairs, refering to the level of the main rivers, correspond exactly to the heights of fluvial terraces (fig. 7). From which it is concluded that there is a correlation between the development of the successive stairs of the caves, and the sequential stages of the surface rivers.

3. — In a brief review of the main characters of the evolution of the caves concerned, the following features are emphasized :

A. The existence, at the levels of the successive terraces, of a

relatively smooth longitudinal profile, owed to a stream with free upper surface, generally without falls or siphons :

B. — The predominance, in some cases, of underground erosion on subaerial erosion, more particularly when surface streamlets receive from the slopes superabundant debris.

C. — The former existence of a phreatic stage ; this period is thought to have had little development in the caves here described, for few traces remain, except in many non concerned regions of Remouchamps cave ; a consequent phreatic stage would have left more records on the sides of the vadose galleries or between the vadose stairs. In some places, before the last erosional stage and its gravitation flows, pressure flows existed but certainly not everywhere.

Conclusions. — Four caves only, in the concerned region, clearly showed all here described characters and features. Therefore, conclusions can not be considered like general statements, before checking in other countries (M. M. SWEETING, 1960). Nevertheless as all referred features were always observed together, it seems advisable to consider them as a whole : the caves studied can thus help to definite a « type » that deserves a place in a genetic classification.

Deposits of caves will possibly give accurate informations about the climatic and hydrological circumstances of the setting up of river plains. Fluvial morphology would then dispose of a new type of « correlative formation ».

(Laboratoire de Géographie physique
de l'Université de Liège).

OUVRAGES CITES

- BRETZ, J. H., 1942. — Vadose and Phreatic Features of Limestone Caverns. *Journ. of Geol.*, vol. L, pp. 675-811.
- CALEMBERT, L., 1950. — Phénomènes de corrosion sous-fluviale dans la vallée de l'Ambève. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LXXIII, pp. B 157-168.
- CALEMBERT, L., 1952. — Corrosion des Roches solubles à l'intervention des Eaux vadoses et phréatiques en Belgique. *Bull. du Centre belge d'Etude et de Doc. des Eaux*, n° 18, pp. 211-223.
- CHAPELIER, A., 1957. — Nouvelles Observations sur les Niveaux de Terrasse de la Vesdre. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LXXX, pp. B 379-394.
- EK, C., 1957. — Les Terrasses de l'Ourthe et de l'Ambève inférieures. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LXXX, pp. 333-353.
- FOURMARIER, P., 1939. — Hydrologie, 284 pages, Masson, Paris.

- FOURMARIER, P., 1958. — Carte géologique de la Belgique au 1/25.000. Planchette Louveigné-Spa 148, *Inst. géogr. milit.*, Bruxelles.
- FAIPONT, J., 1884. — Notice sur une Caverne à Ossements d'Ursus spelaeus. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XI, pp. 98-104.
- LECLERCQ, J., 1960. — La Grotte Jaminin. *Revue du Cercle de Topographie souterraine*, pp. 4 à 13.
- LECLERCQ, S., 1925. — Sur un Poudingue de Grotte. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XLVIII, pp. B 314-318.
- LOHEST, M. et FOURMARIER, P., 1903. — L'Evolution géographique des Régions calcaires. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXI.
- MACAR, P., 1936. — A propos du Profil d'Equilibre des Rivières et de ses Modifications. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LIX, pp. B 272-280.
- MACAR, P., 1938. — Compte-rendu de l'Excursion du 24 avril 1938 consacrée à l'Etude des Terrasses de la Meuse. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LXI, pp. B 187-217.
- MACAR, P., 1957. — Résultats d'Ensemble d'Etudes récentes sur les Terrasses fluviales et les formes d'Erosion associées en Haute Belgique. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LXXX, pp. 395-412.
- NANGERONI, G., 1958. — Dei Criteri per la Classificazione delle Cavità naturali. *Riv. geogr. Ital.*, Annata LXV, pp. 372-377.
- DE RADZITSKY D'OSTROWICK, baron I., 1953. — Notes en rapport avec l'Hydrogéologie des Roches calcaireuses. *Bull. de la Soc. roy. d'Etudes géol. et archeol. « Les Chercheurs de la Wallonie »*, t. XV, pp. 1-199.
- DE RADZITSKY D'OSTROWICK, baron I., 1955. — Quelques mots sur la Tectonique des Environs d'Esneux. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LXXVIII, pp. B 469-474.
- RICHTER, K., 1958. — Fluorteste quartären Knochen in ihre Bedeutung für die absolute Chronologie der Pleistozäns. *Eiszeitalter und Gegenwart*, IX, pp. 18-27.
- SEGRE, A. G., 1948. — I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio. *Public. Ist. Geogr. Univers. di Roma*, serie A, n° 7.
- SWEETING, M. M., 1960. — The Caves of the Buchan Area, Victoria, Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 2, Göttingen 1960, pp. 81-91.
- TELL, L., 1961. — Erosionsförloppet med särskild hänsyn till Lummelundagrottna. The Rate of Erosion with special reference to the Caves of Lummelunda. *Arkiv. för Svensk Grottforskning*, n° 1, Norrköping, Suède.
- TOMBALLE, L. et DOR, L., — Les dépôts de la grotte d'Esneux. Etude pétrologique. *Colloq. intern. de Spéol.*, Bruxelles, pp. 4-16.
- VAN DEN BROECK, MARTEL et RAHIR, 1910. — Les Cavernes et les Rivières souterraines de la Belgique, Bruxelles, 1684 pages.
- WARWICK, G. T., 1958. — Some Observations on by-passed Swallow-Holes in the Lesse and Meuse Valleys. *Colloq. intern. de Spéol.*, Bruxelles, pp. 66-72.
- ZÖTL, J., 1960. — Zur Frage der Niveaugebundenheit von Karst Quellen und Höhlen. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 2, Göttingen 1960, pp. 100-102.