

SOUS LE PLANCHER

ORGANE DU
SPÉLÉO-CLUB DE DIJON



“ Il y a en ces lieux moult grottes ou cavernes dans la roche : ce sont antres fort humides et à cause de cette humidité et obscurité on n’ose y entrer qu’avec grande troupe et quantité de flambeaux allumés”.

Bonyard, avocat à Bèze 1680

NOUVELLE SÉRIE
Tome VIII - Fascicule 1

1969

Errata : Article de V. CAUMARTIN p. 5, 11° ligne

Supprimer la phrase (Or, les bulles de vapeur d'eau sont à l'origine des effets chimiques.)

remplacée par (Or, les bulles de vapeur d'eau sont à l'origine des effets mécaniques, les bulles de gaz issues de l'air à l'origine des effets chimiques).

SOUS LE PLANCHER
ORGANE DU SPELEO - CLUB DE DIJON
FONDE EN 1950

SOMMAIRE

- V. CAUMARTIN - La science des bulles permettra-t-elle d'expliquer correctement le cavernement. p. I-I4
- P. CASTIN, J.H. DELANCE, B. HUMBEL - Activités du Spéléo-Club de Dijon en Espagne (campagne 1967 et 1968) p. I5-2I, I planche
-

Le rédacteur et le Gérant, tout en se réservant le droit de choisir parmi les textes qui leurs sont adressés, laissent aux auteurs une entière liberté d'expression, mais il est bien entendu que les articles notes et dessins n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

Tous droits de reproduction des textes et illustrations sont rigoureusement réservés.

Juin 1969

Nouvelle série, Tome 8
fascicule I
Janvier - Mars 1969

LA SCIENCE DES BULLES PERMETTRA-T-ELLE D'EXPLIQUER
CORRECTEMENT LE CAVERNEMENT ?

par V. CAUMARTIN

Les idées actuelles sur le Cavernement -

Depuis la fin du siècle dernier, le creusement des grottes, c'est-à-dire le cavernement, préoccupe sérieusement les spéléologues ; pour l'expliquer, ils font intervenir de nombreux facteurs : eau, nature et degré de fracturation des roches, disposition topographique, climats passés et présents, temps, voire actions biologiques et environnement géographique. Ils admettent qu'il faut un calcaire assez compact pour que la caverne ^{ne}s'écroule pas aussitôt formée et fissuré pour que les eaux puissent exercer leur action. Parmi les fissures, ils comprennent les joints de stratification, témoins d'une discontinuité dans la mise en place de la roche, et, les cassures de toutes sortes (diaclasses, failles) apparues sous l'action des plissements, ou des soulèvements, ou des affaissements ; ces derniers surtout, en modifiant la répartition des contraintes à l'intérieur des massifs, ont créé des zones de moindre résistance.

Les eaux exercent une action à la fois mécanique (érosion) et chimique (corrosion). L'érosion est l'usure par des eaux circulantes et stagnantes ; les premières projettent des matériaux durs en suspension (sables, cailloutis) qui usent et brisent les roches ; les secondes, soumises à des gels et dégels successifs, quand cela est possible, effrittent leurs supports. La corrosion se ramène en gros à l'élimination du calcium sous l'action des acides (carbonique, nitrique, sulfurique, humique), essentiellement l'acide carbonique et l'élimination vaut ici, en somme, une dissolution. Tout ceci est cohérent mais les frontières entre les actions mécaniques et chimiques sont mal définies ; les aspects décrits à l'appui des unes et des autres sont, dans la majorité des cas, difficiles à interpréter ou impossibles à localiser dans le temps ; on

a souvent le sentiment qu'ils viennent seulement compliquer des aspects anciens.

Y a-t-il vraiment dissolution ?

L'action des eaux à caractère acide, entraînées vers les profondeurs, apparaît à première vue comme un élément négligeable du cavernement. Nous possédons à ce sujet un certain nombre d'analyses fort suggestives, celles d'AUBERT par exemple, pour ne citer que les plus récentes. (AUBERT 1967, Estimation de la dissolution superficielle dans le Jura. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences naturelles n° 324, vol. 69, fasc. 8) D'après cet auteur, la dissolution domine dans les zones superficielles où elle atteint 50% de la dissolution totale; elle est beaucoup plus importante en présence d'un sol ; elle s'achève pratiquement dans les fissures. La dissolution profonde, celle qui intéresse le cavernement, ne représente que 5% ; cette donnée corrobore les nombreuses analyses de terrain que nous possédons où on aboutit toujours à quelques % voir 0%, et ceci, indépendamment du climat et des saisons qui n'entrent en ligne de compte que pour les variations du taux global de dissolution. C'est bien peu ; on est tenté de dire : "c'est sans intérêt pratique", sauf bien entendu en ce qui concerne l'évolution des karsts de surface et des supports pédologiques en pays calcaire, ou, dans le cas particulier d'un engouffrement d'eau qui n'aurait pas eu le temps de se saturer en surface. La dissolution explique bien l'aspect cutané des karsts jurassiens, les grottes cutanées de CIRY, mais ne peut intervenir, à moins de circonstances imprévues ou d'une action subtile qui nous échapperait, dans les holokarsts. Remarquons que la difficulté est fort habilement tournée par la plupart des auteurs ; les phénomènes se déroulent disent-ils à l'échelle géologique et les grandes cavernes se sont creusées, avec une extrême lenteur, en un million d'années. Or, quelle que soit l'habileté du raisonnement, il ne satisfait pas. Les grands réseaux ont des sections de galeries imposantes et débouchent à l'extérieur par de volumineux exutoires correspondant à d'anciennes résurgences ; celles-ci ont nécessairement livré passage, à un moment donné à des masses considérables d'eau ; admettre une telle circulation et ne lui concéder aucune efficacité dans le creusement a quelque chose de surprenant car chaque fois que nous observons d'importantes circulations torrentielles nous constatons, à

l'échelle humaine, des destructions spectaculaires.

Une timide tentative d'explication -

Pour expliquer, sur les parois, les cannelures horizontales, les stries, les cupules de rodage, les coups de gouge, les vagues d'érosion etc... (les faciès décrits sont fort nombreux), on a recours à l'action de courants d'eau violents et quelques auteurs font allusion à la cavitation, phénomène qui se manifeste en conduite forcée, à la limite de la paroi et de la masse d'eau circulante, sous l'action des bulles de gaz (I). Nous avons relevé à ce sujet, dans un numéro de Sciences et Avenir (n° 250 Déc. 1967), un article de F. LEFEUVRE intitulé : "Une science des bulles : la cavitation" qui semble parfaitement convenir à notre propos. Cette Science des bulles est de la plus haute importance pour la marine et fait l'objet de recherches minutieuses dans des Laboratoires spécialisés, c'est ce qui justifiait l'intervention de cet auteur. De quoi s'agit-il ?

Le problème des marins : la protection des hélices -

La cavitation concerne, en principe, les phénomènes liés aux bulles de vapeur, mais, les bulles formées par tous les gaz dissous, quelle que soit leur origine, ne sont pas pour autant négligeables.

Lorsque les bulles sont écrasées sur une surface rigide, elles développent près de leur centre des pressions et des températures énormes (10.000 atmosphères et 10.000° disent certains mais nous rapporterons ci-dessous des données expérimentales plus modestes). Elles attaquent, dans ces conditions, les hélices de bateaux et les rendent inutilisables ; elles les pénètrent avec autant de facilité que des emporte-pièce et aucun alliage ne leur résiste ; d'ailleurs n'utilise-t-on pas actuellement des bulles dans l'industrie, pour le nettoyage et le décapage. Mais n'allons pas trop vite en déduction et essayons tout d'abord de comprendre le problème des marins.

Les variations de pression qui accompagnent le mouvement d'une

(I) - Des bulles de toutes sortes forment des cavités au sein des liquides et on appelle cavitation, les phénomènes qui s'y rapportent. Il ne faut pas confondre cavitation et cavernement. Le cavernement se rapporte exclusivement au creusement des cavernes.

hélice créent des bulles ; celles-ci constituent une étape transitoire dans le passage de l'état liquide (eau ou solution aqueuse de gaz), à l'état gazeux (vapeur d'eau ou gaz échappés de la solution) ; le passage définitif d'un état à l'autre peut être obtenu par augmentation de température ou par baisse de pression ; ce dernier aspect est le plus positif.

Les bulles apparaissent au sein du liquide, à la faveur des impuretés en suspension ou des irrégularités des surfaces solides en contact car, il suffit d'une infime discontinuité ; dans un récipient métallique rempli d'eau, on les voit se former sur les aspérités du métal ou à partir de petites poches microscopiques en équilibre dans l'eau ; elles sont constituées par de la vapeur d'eau même dans l'eau froide et par des gaz en solution. Si on les élimine en soumettant le liquide et son contenant aux ultrasons, il n'en réapparaît pas, même si on diminue la pression. On peut considérer que le lecteur excuse cette comparaison peu orthodoxe qu'un liquide comme l'eau, et, son contenant, portent en eux les germes autour desquels "cristallisent" les bulles. Remarquons au passage qu'une paroi rocheuse aussi bien qu'une surface métallique, lorsqu'elles sont humides, fixent une infinité de bulles microscopiques.

L'évolution de la bulle obéit à une loi mathématique ; sa taille dépend du rapport entre sa pression interne et celle du milieu environnant ; elle grossit dans les zones de dépression, elle se contracte brusquement, elle implose, dit-on, dans les zones de surpression. On pourrait penser que lorsqu'elles sont trop petites, elles disparaissent au sein du liquide, lorsqu'elles sont de taille suffisante, elles s'évanouissent rapidement à la surface libre ; il n'en est pas toujours ainsi ; elles restent parfois en équilibre grâce à une "peau" formée d'impuretés stabilisantes, en particulier de particules ionisées ; ce problème est actuellement à l'étude. Lorsque les bulles implosent, elles le font extrêmement vite : 0,3 millisecondes pour un rayon de 0,25cm ; en outre, pendant l'implosion, leurs parois se heurtent à une vitesse qui tend vers l'infini. Heureusement, elles n'ont pas toujours des formes parfaites et les spécimens défectueux constituent des matelas protecteurs qui amortissent les chocs. Lorsque des masses d'eau se rencontrent, ou rencontrent un obstacle, les énormes pressions développées et la multitude d'implosions en chaîne qu'elles déclenchent, aboutit à un "bang" comparable à celui

provoqué par les avions qui franchissent le mur du son. Les effets cumulatifs des multiples implosions, sur banc d'essai d'hélices, ont été chiffrés expérimentalement ; 3 données peuvent être retenues. La pression (10 atmosphères), la température (800°), l'espacement des éclairs lumineux (1/20 à 1/30 de seconde) ; ces derniers seraient dus à l'incandescence des gaz soumis à haute pression ou à la recombinaison des ions libres. Les effets thermiques, au contact d'une masse liquide de volume illimité, sont vite dissipés et échappent à nos sens ; mais il n'en est pas de même des effets mécaniques dus aux ondes de choc des parois des bulles qui se heurtent et des effets chimiques liés à l'intrusion sous pression des gaz et des éléments ionisés. Or, les bulles de vapeur d'eau sont à l'origine des effets chimiques. En outre, l'implosion concerne aussi bien les bulles adhérentes aux surfaces solides et soumises également aux fluctuations de pression que celles incluses dans le milieu liquide ; leurs parois viennent frapper les supports à des vitesses de 100m/sec., voire 1.000m/sec. Ainsi, aux effets résultant de la transmission des ondes de choc viennent s'ajouter ceux d'un bombardement de plein fouet.

Nous comprenons maintenant le problème des hélices ; leur mouvement rapide dans l'eau crée des zones de haute et de basse pressions et il convient de calculer leur profil, en fonction de la vitesse de rotation à atteindre pour que, compte tenu de la température ambiante, les basses pressions ne provoquent pas l'apparition de bulles, condition première de l'implosion. Il subsiste bien des impondérables ; on ne sait pas pourquoi, par exemple, la cavitation est plus importante lorsque les bulles sont isolées ou organisées en lames, moins dangereuses lorsque les bulles sont en grappes ou en nappes de tourbillons. Mais le problème est capital, il s'agit de l'entretien des navires, de la mise au point de dispositifs antirepérage de sous-marins, etc... L'étude se déroule dans des tunnels de cavitation qui sont des sortes de "souffleries" à eau travaillant en circuit fermé.

Une tentative d'extrapolation -

Tout ceci, surtout le dispositif expérimental, peut nous ouvrir des horizons en spéléologie physique ; le problème revêt cependant des aspects bien particuliers. Le conduit initial (diacalse, faille) est en

effet immobile-mais peut-être de ce fait plus vulnérable que l'hélice-, la masse d'eau y est mise en mouvement par simple gravité, mais il convient de savoir si elle peut contenir des gaz, si pendant son parcours elle est soumise à des dépressions permettant l'apparition des bulles, enfin si elle subit des pressions de l'ordre de 10 atmosphères (10 kgs). Les calcaires ne présentent pas, à beaucoup près, la résistance des alliages métalliques, mais comme nous ne possédons sur eux aucune donnée dans ce sens, nous utiliserons celles enregistrées dans les dispositifs expérimentaux des marins -qui peut le plus, peut le moins-.

La présence des gaz est acquise -

L'eau qui a circulé, d'abord à l'air libre, renferme des gaz en solution ; entre 0° et 10°, à la pression atmosphérique, on peut trouver 10 à 14 mg d'oxygène, 18 à 25 mg d'Azote, 2.500 à 3.300 mg de gaz carbonique engagé dans des équilibres carbonatés mais il en subsiste une fraction libre nécessaire au maintien de ces équilibres et la totalité est pratiquement récupérable, au moment de la précipitation du carbonate de calcium ; elle en capte également au contact de la roche. En outre, à ces mêmes températures, la vapeur d'eau n'est pas négligeable puisqu'elle exerce une pression en kg/cm² comprise entre 0,006 et 0,02 ; bref, on est assuré de rencontrer des bulles de vapeur et surtout une proportion importante de bulles de gaz.

Nous observons, encore de nos jours, les zones déprimogènes nécessaires à l'apparition des bulles -

Le conduit naturel ne présente jamais une section uniforme ; il est jalonné de poches et d'étranglements ; or, lorsqu'un liquide passe brutalement d'un conduit rétréci à un conduit plus évasé, il se forme un jet tourbillonnant et les gaz dissous s'échappent. Bien entendu, la quantité de bulles apparues par unité de volume va dépendre de l'importance de la dépression. Une question nous vient alors à l'esprit : quelles conditions doit rencontrer une circulation d'eau souterraine pour qu'apparaisse brutalement une dépression de 1 atmosphère (1 kg approximativement).

Les hydrauliciens appliquent aux systèmes déprimogènes (tube de Venturi, diaphragme, etc..), la formule :

$$h = \frac{K n V^2}{2g} (m^2 - 1)$$

h = dépression créée par le dispositif en mètres d'eau (1 atmosphère = 10,33 mètres d'eau pure = 1 kg d'eau approximativement)

k = coefficient expérimental voisin de 1,

n = densité du liquide ; ici, elle est toujours un peu supérieure à 1 mais nous l'admettrons égale à 1 comme s'il s'agissait de l'eau pure,

v = vitesse du fluide à l'entrée du dispositif en mètres par seconde;

nous ferons $V = 1$ mais, comme nous le verrons à la suite, nous sommes en dessous de la vérité,

g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/sec²,

$m^2 = \frac{D^2}{d^2}$ = rapport de la section de la veine liquide à celle de son étranglement maximum.

Pour 1 atmosphère, avec toutes les données que nous nous sommes fixées, nous tirons de la formule :

$$10,33 = 1 \times \frac{1 \times 1}{2 \times 9,81} (m^2 - 1) \text{ et } \frac{D}{d} = 14,20$$

La plus petite chatière pénétrable par le spéléologue fait approximativement $d = 50\text{cm}$, elle donnerait, dans ces conditions, accès à une salle de 7,10m de diamètre. Nous avons tous, sans nous en rendre compte, traversé un tel système ; l'eau qui y a circulé autrefois, en conduite forcée, a subi au sortir de l'étranglement, une baisse de pression de 1 atmosphère.

Suivant l'importance des étroitures, la colonne liquide en mouvement est le siège de variations de pression pouvant aller de 0 à 1 atmosphère (parfois plus) ; la quantité de bulles alors apparues est proportionnelle à cette variation ; or, elle conditionne la cavitation. Est-ce par hasard que les grandes salles sont souvent précédées d'étroitures qui s'amorcent progressivement ? N'y a-t-il pas là autre chose qu'une différence de résistance de la roche encaissante ?

Les pressions atteintes dépassent nos prévisions -

A l'entrée d'une galerie rétrécie, le phénomène contraire se produit mais de toute façon la masse d'eau en mouvement exerce en permanence, en tout point de son conduit, une pression qui croît d'amont en aval. Trois composantes interviennent :

-une composante liée à la colonne d'eau en mouvement ; on peut l'exprimer par $pI = 1/2 \rho V^2$, ρ est la densité du liquide ; elle est supérieure à 1 comme nous le savons mais nous la ferons égale à 1 ; V est la vitesse

de la colonne d'eau en mouvement.

$$\text{pour } V = 1 \text{ m/sec.} \quad pI = I/2 \text{ kg}$$

$$\text{pour } V = 4 \text{ m/sec.} \quad pI = 8 \text{ kg}$$

-une composante liée à la pression atmosphérique supportée par la nappe d'eau en surface, avant la perte ; ici encore, pour simplifier, nous ferons $p_2 = I$ atmosphère = I kg approximativement.

-une composante liée à la distance verticale entre le point considéré de la paroi et la surface de la nappe d'eau qui alimente la grotte, soit en gros, I kg par 10m (nous avons fait $\rho = I$). $p_3 = I$ kg ou I atmosphère $\times H/10$

L'expression globale de la pression en un point donné devient :
 $P = pI + p_2 + p_3 = I/2 \rho V^2 + I + H/10$ (en kg ou en atmosphères)

Ainsi, pour une vitesse de circulation de I m/sec., les pressions de cavitation observées par les marins sont atteintes avec une hauteur d'eau de 85m ($10 = I/2 + I + H/10$ d'où $H = 85$) ; la cavitation interviendrait assez loin de la perte. Pour une vitesse de circulation de 4 m/sec., nous trouvons $H = 10\text{m}$ ($10 = 8 + I + H/10$) ; la cavitation interviendrait très près de la perte.

Les vitesses de circulation sont, au moins théoriquement, prévisibles -

Elles dépendent du bassin d'alimentation et de son système de vidange. Supposons un petit lac de réception des eaux de fonte d'un glacier, donnons-lui I km² de surface et une hauteur d'eau de 10m et proposons-nous de calculer la vitesse théorique de circulation des eaux qui en sont issues et empruntent un conduit souterrain, en appliquant la formule qui permet d'obtenir le temps de vidange, soit :

$$t/\text{secondes} = \frac{2 S \sqrt{h}}{m W \sqrt{2g}}$$

S = surface du bassin en cm^2 ,

W = surface de l'orifice de vidange (section minimum du conduit),

m = coefficient de contraction de l'orifice ($0,6$ à $0,65$),

g = accélération de la pesanteur soit 981 cm/sec^2 ,

h = hauteur d'eau au-dessus de l'orifice.

On peut déduire le débit et se reporter aux tables des hydrauliciens pour avoir la vitesse.

Le lecteur pourra faire lui-même le calcul ; il verra que le type de bassin choisi, en admettant qu'il ne soit pas réalimenté, mettrait

environ 7 ans pour se vider par un orifice de 100 cm².

Le débit, fonction de la surface de l'orifice, est donné, dans l'exemple choisi, par la formule :

$$\text{débit litres/secondes} = 0,4 W \text{ (W en cm}^2\text{)}$$

Dans ces conditions, les vitesses théoriques admises par les tables sont toujours légèrement supérieures à 4m/sec., soit 14,400 km/heure. Ce n'est pas excessif mais nous n'avons pas tenu compte des pertes de charge, de l'évolution des sections (convergentes ou divergentes) provoquant des freinages ou des accélérations, de la tangente que fait la verticale avec la ligne de pente, de la hauteur de chute à la résurgence, etc..., toutes causes d'erreur à déduire ou à ajouter. De toute façon, $pI = I/2 \rho V^2$ n'est pas négligeable par rapport à $H/10$.

La cavitation est bel et bien possible et nous pouvons résumer ainsi ses caractéristiques souterraines : sur le passage de la colonne d'eau, les poches entraînent les chutes de pression favorables à la formation et la dilatation des bulles ; celles-ci provoquent en tout point de la paroi, du fait de la pression accumulée, la cavitation au moment où elle se produit, la pression propre aux bulles s'ajoute à la pression ambiante ; l'implosion est à l'origine des chocs mécaniques et des modifications chimiques. Toutes les conditions sont créées pour que les parois, bien qu'inertes, soient désagrégées ; l'hétérogénéité des calcaires suffit à elle seule pour entretenir l'irrégularité du conduit indispensable à la poursuite du phénomène.

Certains dispositifs souterrains s'expliquent parfaitement par cavitation et un nouveau champ de recherches s'offre à nous -

Après ces démonstrations, un certain nombre de remarques à caractère pratique s'imposent :

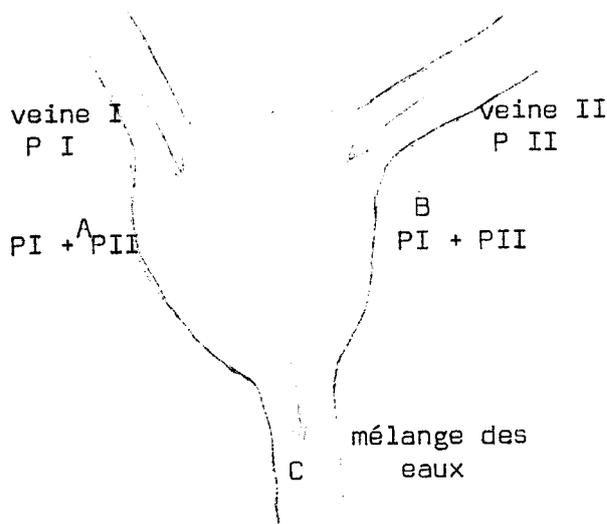
I - Pour des vitesses de circulation inférieures à 1m, la cavitation ne peut exister, avec les données des marins, que si la colonne d'eau en circulation possède une hauteur verticale supérieure à 85m; les grands gouffres ont pu caviter avec des vitesses de circulation réduites, mais très loin en aval. Nous possédons justement des descriptions de grands gouffres qui débutent par une cheminée interminable et se terminent par une immense salle ; nous remarquerons que s'il s'agissait uni-

quement de dissolution par le gaz carbonique résiduel, nous observerions le contraire.

2 - Pour des vitesses de circulation supérieures à 4m, la pression de cavitation -si nous l'admettons empiriquement égale à 10 kg - est atteinte avec une hauteur d'eau de moins de 10m. Ceci pourrait correspondre aux grands réseaux qui débutent par un système impénétrable et s'évasent de plus en plus d'amont en aval.

3 - Lorsque deux ou plusieurs colonnes d'eau se heurtent, le problème revêt un aspect des plus intéressants ; nous rencontrons souvent, en effet, des salles sur lesquelles débouchent plusieurs galeries. Ces galeries, d'orientation différente, de pente différente, ont amené des eaux de densité différente mais surtout à vitesse de circulation différente. Nous savons que, dans ce cas, les veines liquides se compriment mutuellement, circulent côte à côte et ne se mélangent qu'après avoir uniformisé leur vitesse. Le cas particulier examiné par BOGLI et qui lui a fait attribuer la corrosion à une modification de pH par mélange d'eau, ne s'applique pas ici.

On peut raisonner d'après le schéma ci-dessous :



la veine liquide I est à pression $P I$.
La veine liquide II est à pression $P II$
Au moment de la rencontre A et B subissent $P I + P II$, la cavitation est donc accentuée en A et B.

En $P I$ comme en $P II$, nous avons inclus la pression atmosphérique de surface, soit en tout 2 atmosphères; il ne peut en subsister qu'une en C. On peut donc penser à une réduction globale de vitesse d'au moins 1,4m/sec. (d'après $p I = I/2 \rho V^2$) mais il conviendrait de

vérifier une telle déduction.

Néanmoins, la cavitation, dans les systèmes où circulent côte à côte des veines liquides de ce type, a de fortes chances, d'être surtout liée à H.

4 - La pression de cavitation s'exerçant en tout point du conduit, l'accident topographique essentiel devient le dispositif dépri-

mogène qui crée les bulles. Ainsi, quels que soient V et H, un conduit cylindrique ne peut pas caviter si on n'y introduit pas de gaz, un conduit rétréci par place peut caviter, l'importance du phénomène dépendra alors de la dépression, de V et de H.

5 - Est-il encore possible d'étudier actuellement cette cavitation ancienne ? Nous répondrons par l'affirmative. Tout d'abord on peut toujours déterminer expérimentalement la pression de cavitation d'une roche encaissante ; le matériel d'étude reste bien entendu à mettre au point. Les autres informations peuvent être tirées des plans de grottes mais une formule originale s'impose ; deux données sont nécessaires ; le profil au plancher et la succession des photos-profil de section des galeries ; pour ces dernières, la technique est au point et en usage dans les mines ; elle consiste à projeter une fente lumineuse depuis le plancher et à photographier l'empreinte de cette fente sur parois et à la voûte, ce qui revient à photographier une section de la galerie perpendiculaire au plancher. Les photographies obtenues, dont on connaît exactement le grandissement, permettent de dresser la courbe des variations de surface de section, de volumes des galeries, etc.. et de définir ainsi la dynamique des zones déprimogènes. Les géologues sont en outre à même de préciser sur carte, les bassins d'alimentation, et de supputer leur importance.

Les manifestations chimiques de la cavitation -

Les effets chimiques dus aux bulles de gaz exigent quelques éclaircissements ; ils peuvent avoir pour origine une injection, sous pression, d'oxygène et de gaz carbonique, dans les calcaires humides. Cette roche, formée en milieu plus ou moins réducteur, sera dans ces conditions en partie oxydée par l'oxygène (au moins son fer ferreux et son soufre réduit). Le rôle du gaz carbonique, dans l'hypothèse où les eaux ne sont plus agressives, est probablement plus complexe ; on peut envisager, entre autres, suivant la nature des roches, deux réactions capables de favoriser les actions mécaniques de la cavitation :

- Les contacts sulfures -eaux bicarbonatées, dans les roches plus ou moins sulfureuses, impliquent la mobilisation des sulfures et la formation de sulfate et de limonite par oxydation, ce qui accentue l'hétérogénéité et la fragilité. C'est un processus de corrosion par sulfa-

tation ; il atteint couramment les roches calcaires plus ou moins pyriteuses et aboutit exceptionnellement à la formation de gypse.

- Les variations de pression auxquelles est soumise la colonne d'eau, perturbent ses équilibres carbonatés. Dans les zones de dépression, le carbonate de calcium précipite, est entraîné par la masse d'eau et des bulles de gaz carbonique s'échappent ; ce dernier, ainsi récupéré, fait partie du nuage de bulles et est injecté dans la roche humide au moment des implosions ; cette fois, il intervient, non plus à la pression atmosphérique mais à une pression infiniment supérieure qui peut atteindre et dépasser 10 kg/cm². On assisterait à une saturation secondaire plus active car elle se déroulerait à une pression bien supérieure à la pression atmosphérique. Le mécanisme serait reproductible sur toute roche calcaire pyriteuse ou non. Les successions de dépression et de surpression sur lesquelles nous avons insisté, permettraient ainsi à un phénomène plus complexe que la dissolution et que nous pourrions appeler la cavitation-dissolution, de se renouveler indéfiniment malgré la non-agressivité des eaux au départ.

Du fait de l'oxydation et de la carbonatation, la résistance de la roche est amoindrie ; cette roche est sensibilisée aux chocs. Les résurgences ont sans doute évacué, pendant la période de cavernement, des oxydes ferriques, des suspensions colloïdales de carbonate de calcium, des particules solides provenant de la désagrégation du conduit.

Si la théorie est applicable, le creusement a été plus actif en aval qu'en amont, car c'est en aval, c'est-à-dire en fin de parcours, que la pression atteint son maximum. Ceci explique mieux que la simple corrosion-érosion, l'origine des grandes salles par lesquelles on pénètre dans les grands réseaux, les grandes galeries qui se terminent par des systèmes déprimogènes. La corrosion, au contraire, serait plus active en amont qu'en aval et tendrait à éliminer les étroitures, surtout en amont ; elle est en contradiction flagrante avec l'observation.

Repartons de zéro et voyons ce que nous pourrions déduire d'une théorie du cavernement s'appuyant exclusivement sur la cavitation -

Remarquons que l'implosion des bulles et la cavitation qui en résulte sont des réalités physiques ; elles font l'objet de recherches minutieuses dans les arsenaux et il n'est pas besoin de faire preuve d'imagination pour admettre que des solides aussi hétérogènes et aussi fragiles que les calcaires, si nous les comparons aux alliages métalliques mis en oeuvre dans la marine, ne leur résistent pas.

Les facteurs essentiels du cavernement seraient alors l'abondance des circulations d'eau, la nature et le degré de fracturation des roches, la topographie, et, bien entendu, dans une certaine mesure, le temps et le climat.

Le creusement par dissolution, tel que nous le concevions habituellement, est fonction de la masse d'eau qui circule, à laquelle nous appliquons un correctif qui correspond au pourcentage de gaz carbonique résiduel, c'est-à-dire non utilisé en surface; il est discontinu, insignifiant dans la majorité des cas, et, nécessite des périodes de temps impossibles à chiffrer. Le creusement par cavitation ou cavitation-dissolution tel que nous l'envisageons ici, est fonction de la masse d'eau, de sa vitesse de circulation, de la hauteur de chute, des constantes de dissolution des gaz et de la tension de la vapeur d'eau, facteurs qui ne subissent que de faibles variations sans jamais s'annuler puisque la température est pratiquement constante pendant la traversée du conduit, enfin de la nature du conduit initial qui définit la nature même de la grotte par la succession d'accidents déprimogènes ; ce type de creusement à de fortes chances d'être continu, donc infiniment plus rapide.

Bien entendu les régions favorisées sont toujours les régions humides froides ou chaudes. En région humide et froide, la cavitation liée aux bulles provenant des gaz de l'air serait plus importante car ceux-ci sont plus solubles à froid qu'à chaud. En région humide et chaude, les bulles de vapeur d'eau seraient plus efficaces car la tension de la vapeur d'eau est plus élevée à chaud qu'à froid. L'oxygène est toujours présent car les eaux qui circulent en surface en contiennent, du fait de l'agitation, plus que les eaux stagnantes ; même en pays chaud, l'oxydation

est donc assurée en toutes circonstances, mais, il peut y avoir, suivant la nature du climat, prédominance ou des phénomènes mécaniques ou des phénomènes chimiques ; est-ce là le moyen de distinguer les deux types d'holokarsts ?

Les autres facteurs habituellement considérés : climat passé ou présent, environnement géographique, équilibre biologique entreraient surtout en ligne de compte pour expliquer l'évolution d'un karst de surface et l'apport d'eaux concrétionnantes à l'origine, soit de revêtements stalagmitiques, soit d'équilibres pouvant expliquer une évolution postérieure des parois car nous ne devons pas oublier qu'une caverne délaissée par les eaux qui l'ont formée continue à recevoir, au moins sporadiquement, des eaux en provenance de la surface.

Pour en revenir à nos régions tempérées, nos cavernes se seraient creusées à des époques qui ont mis en circulation de grandes masses d'eau, à la fin des grandes glaciations par exemple. Le creusement a dû être relativement rapide si les bassins de réception des eaux ont été importants ; on peut en effet envisager la formation de lacs alimentés par la fonte des glaciers et qui se seraient vidés lentement d'abord, puis de plus en plus vite, au fur et à mesure du cavernement. L'ornementation serait intervenue beaucoup plus tard, après le retour de la végétation et d'une activité biologique convenable, dans des conditions non plus de circulation torrentielle mais d'infiltration lente des eaux par le réseau de fentes ; on trouve encore de nos jours les deux types de circulation mais les torrentielles sont réduites en volume et en débit donc inefficaces. Ainsi nos grands karsts souterrains seraient actuellement morts, notre karst superficiel ne serait pas actuellement figé s'il continue à diriger le concrétionnement, il serait figé dans le cas contraire mais bien entendu, il n'y a de réponse possible que dans la mesure où on peut observer une caverne. Les deux types de karst, karst de surface et holokarst, seraient d'origine différente mais liés dans le temps par le concrétionnement.

Il nous est apparu intéressant de livrer au lecteur ces réflexions. Des expériences aussi lointaines que celles poursuivies dans les arsenaux nous intéressent-elles au premier chef ?

Elles nous ont séduit car elles sont susceptibles de nous apporter du nouveau et de nous débarrasser des interprétations fantaisistes.

ACTIVITES DU SPELEO CLUB DE DIJON EN ESPAGNE
(campagnes 1967 et 1968)

par : P. CASTIN, J.H. DELANCE, B. HUMBEL

1967 et 1968 ont vu le Spéléo-Club de Dijon fidèle à son rendez-vous estival du Val d'Ason (province de Santander). Les conditions atmosphériques médiocres, pour ne pas dire détestables, n'ont pas empêché notre maïsson d'être abondante au point de rendre nécessaire des sorties à Paques et à Noël. Dans les lignes qui suivent nous nous efforcerons de dresser le bilan chronologique de nos expéditions (I).

L'essentiel de nos activités s'est déroulé à l'intérieur du triangle Bustablado, Arredondo, Source du Gandara ce qui ne représente qu'une petite portion du territoire (80 km²) dont le Muséum Préhistoire de Santander nous a confié l'étude spéléologique. Les années précédentes nous avaient donné de belles espérances pour la cueva Fresca et la zone de la Peña Lavallo où s'ouvre le gouffre Juhé. Ces espérances furent largement confirmées par les découvertes 1967 et 1968 dans ces deux cavités. Bien que leur exploration ne soit pas terminée, d'ores et déjà avec plus de 600m de profondeur le gouffre Juhé prend place parmi les tous premiers gouffres espagnols (si l'on tient compte de la Pierre Saint Martin), tandis que la Fresca avec 12 km de galeries reconnues se situe au troisième rang des cavités d'Espagne par son développement. Délaissant pour un temps la Coventosa, dont la majeure partie était topographiée dès 1966, nous sommes revenues à une des premières grottes explorées par le S.C.D. la Canuela, où nous eûmes la bonne fortune de trouver enfin, un réseau en rapport avec son gigantesque porche d'entrée. Ainsi se trouvent définies les trois têtes de chapitre de ce compte rendu, un quatrième chapitre fera le point sur les autres

(I) ont participé à ces expéditions outre les auteurs : les Docteurs COUCHE et HORIOT ; Mrs et Mmes DORADE, GAND, PERRIAUX, RORATO, SIMONOT, Melles E. et F. FARAUT, GUERIN, NOIRAND, QUILLIARD ; Mr. l'Abbé J. MARILIER, Mrs. BOUGET, BROUQUISSE, BUFFARD, CALINET, CANNONGE, J. J. et M. CHAUVIN, DERAÏN, DRESSLER, GABARROCHE, GUILLAUME, HASCHER, KIEFFER, LACAS, LE BIHAN, LEROY, MARCONE, MICHEL, PEPIN, PIEUCHOT, POINSOT, PRUDHON, RABEISEN et ROUX tous du S.C.D. auxquels se sont joints : G. CHAVARIA (G.E.S. Barcelone), Cl. ARTOLA (S.C.S.), F. DRESSLER (S.C.P.) G. JUHE et J. LEROY (clan des Tritons Lyon). Le directeur des expéditions étant le Dr. P. CASTIN.

découvertes des deux derniers étés.

Avant d'aborder le détail des explorations il est nécessaire de souligner que les découvertes des 4 dernières années ont posé des problèmes délicats de techniques et d'organisation. Sur le plan technique les difficultés du gouffre Juhé (puits de 302m) furent surmontées grâce au treuil à pédales de J. LACAS d'abord, au treuil à moteur de B. DRESSLER ensuite, Le temps disponible pour chaque expédition étant bref il fallait l'employer au maximum de manière à assurer la poursuite des explorations dans la vallée (170m) et l'implantation d'un camp en altitude (1000m).

L'appoint de mulets (loués à Ason) nous a permis de monter rapidement le gros du matériel à la Pena Lavalle. La rotation des équipes spéléos permettait un ravitaillement rapide, le nombre de "permanents" en altitude était réduit au minimum (avec la présence obligatoire d'un médecin), Les liaisons avec le camp de base se faisaient par radio plusieurs fois par jour. Parallèlement se déroulaient des sorties dans la vallée d'Ason. Cette organisation stricte, où chacun a pris sa part de responsabilités avec courage et bonne volonté, a porté ses fruits. Les résultats que nous exposerons maintenant sont donc le fait de tous et c'est la raison pour laquelle nous ne citerons pas les noms des équipiers qui furent "en pointe" dans tel ou tel réseau.

I - LA CANUELA

I) Explorations 1967.

Cette cavité dont l'impressionnant porche triangulaire s'ouvre dans le val de Bustablado à 2 km à l'Ouest d'Arredondo nous a offert en 1967 d'importantes découvertes qui ont fait l'objet de 6 sorties.

Bien que visitée chaque année par les Spéléologues dijonnais, son exploration n'avait guère progressé depuis 1959, date où le plan fut dressé par CANNONGE et VELARD. A cette époque étaient connus : la galerie d'entrée longue de 270m aboutissant à un à pic de 13 m. Au pied de cette verticale partent deux couloirs. Le premier dirigé vers le Nord aboutit par une série de puits sur un ruisseau souterrain et une voute noyée, à -84m de l'entrée, point le plus bas

de la cavité. Le second couloir est une sorte de canyon peu large à parois quasi-verticales sur 20m de hauteur et de là paraissent s'élargir jusqu'au plafond très élevé. Ce canyon suit la direction de la galerie d'entrée sur 150 m puis s'infléchit vers l'Ouest et aboutit 600 m plus loin à une coulée argileuse doublée par une grille stalagmitique. La téralement de ce canyon partait une galerie dirigée vers le Sud longue de 400m environ et dans laquelle soufflait un courant d'air.

- Depuis cette époque les efforts développés pour retrouver cette galerie s'étaient soldés par des échecs. Néanmoins en 1964, ils avaient permis de découvrir, dans la paroi sud du canyon W, un boyau amenant à un puits. Celui-ci (puits Buffard) profond de 35 m permit de gagner une partie du réseau actif. Un ruisseau courait au fond d'une diaclase étroite. A partir du puits Buffard il était remonté sur une quarantaine de mètres et descendu sur environ 250 m jusqu'à une voûte mouillante. Le parcours de ce petit torrent se situait sensiblement à l'aplomb de la galerie Ouest (Delingette 1965).

- En 1967 l'un des buts de la campagne espagnole fut de retrouver cette fameuse galerie Sud qui, malgré les dires et le sérieux de ses inventeurs, était en passe de devenir une galerie fantôme. Forts des indications de nos devanciers, nous avons décidé d'explorer systématiquement la paroi méridionale du canyon ouest. Le point de départ était fixé au niveau d'un énorme bloc faisant "arche" au-dessus du canyon. Plusieurs spéléos escaladaient déjà les premières pentes accessibles quand une des nôtres attira l'attention sur un courant d'air sortant sous un chaos de blocs. C'était en fait l'entrée de la galerie que nous avions cherchée en vain plus haut les années précédentes (cf. Delingette 1965). Après quelques dizaines de mètres parcourus dans un couloir tortueux, nous arrivons devant une bifurcation conduisant à deux grandes salles coalescentes. Poursuivant notre marche en avant nous retrouvons le terme de l'exploration primitive, c'est-à-dire à une chatière.

Franchie dans l'euphorie de la découverte, elle nous amène dans une sorte de petit enclos aux murs élevés. Deux chatières consécutives nous font déboucher dans une vaste salle (salle du carrefour) dont le plancher est un important éboulis descendant jusqu'à un regard sur un étroit ruisseau. Une progression à fleur d'eau rendue pénible par les arêtes tranchantes des fossiles

(Pseudotoucasia santanderensis) mis à nu par l'érosion nous fait déboucher dans une seconde salle : la salle des 5 (5 inventeurs le 5 août 1967). De dimension et de structure analogues à la précédente, elle se prolonge vers le Nord au-dessus d'un surplomb de 5 m par un couloir assez large. L'exploration de ce dernier fut une déception car il s'arrête brusquement 50 m plus loin.

Revenons à la salle du carrefour et à son éboulis. A mi-hauteur de celui-ci un conduit part vers le Sud. Suivi sur plus de 150m, il est très caractéristique d'un méandre souterrain. A de très nombreuses reprises on aperçoit 5 à 10 m plus bas le ruisseau littéralement encanyoné au fond d'une étroite diaclase.

En haut de la salle, l'éboulis se termine par le carrefour de 3 grandes galeries qui furent explorées lors des sorties suivantes. La première galerie, courte, permet de court-circuiter deux châtières pour rejoindre la galerie S. La seconde nous a beaucoup étonné. En effet, elle débute par une sorte de "boulevard" au sol de moundmilch, long de près de deux cents mètres, il débouche dans une salle semi-circulaire. De celle-ci un peu de ramper nous amène dans un couloir N-S qui, 15m plus loin, est coupé par un puits assez profond. Mais la salle s'ouvre au Nord sur une large promenade qui conduit 20m au-dessus d'un canyon... parcouru ce jour-là par des spéléos. Nous étions revenus à l'aplomb du canyon W à 30 m en aval de "l'arche" point de repère.

- Laissant nos camarades regagner la sortie repartons vers la salle du carrefour. Il reste à explorer la troisième galerie, cap au Sud (c'est-à-dire vers le massif de la Pena Lavallo). La galerie a toujours les mêmes vastes proportions (6-10 m de large, 10-30 m de haut). Une première bifurcation nous fait choisir la voie descendante. Celle-ci s'élargit puis bifurque à nouveau. Nous sommes attirés par un couloir chaotique du plafond duquel pendent de vieilles stalactites longues et minces, la majeure partie d'entre elles est dentelée du côté au vent et lisse sous le vent. Une image nous est aussitôt venue à l'esprit celle des grandes scies utilisées jadis par les bucherons. La galerie des "scies" aboutit à une belle salle, allongée, W-E au sol fait d'une épaisse couche d'un sable fin, impalpable, qui nous paraît propice à l'installation future d'un bivouac. Côté Ouest, au fond de la salle nous trouvons un siphon. Une exploration ultérieure nous montrera que la galerie négligée avant le passage des scies, par un large virage, vient buter de l'autre côté de ce siphon. A l'Est de la salle du bivouac un chaos de belle taille mène par un couloir en baïllonnnette à une

nouvelle galerie, qui se trouve près de 10m au-dessus de la salle qu'elle surplombe.

La galerie que nous empruntons (nommons-là : galerie du 10 août) est large et haute, à son début elle montre un fort bel ensemble de stalactites anciennes dont un bon nombre est du type "scie". Le parcours est d'abord rectiligne puis plusieurs virages se succèdent, la largeur se rétrécit à 4 ou 5 m et sur 30 m environ, on circule au-dessus d'une étroite diaclase. Celle-ci est profonde de 15 à 20m et un ruisseau circule au fond. C'est là le dernier regard que nous trouverons sur le réseau actif. Poursuivant notre marche au Sud nous montons progressivement pour arriver au pied d'un amas remarquable. Il s'agit sur plusieurs dizaines de mètres de long d'un empilement de blocs, instables de plusieurs m³ chacun, avec une pente d'au moins 45°. Son escalade conduit près du plafond. En cet endroit, souffle un terrible vent qui fait vaciller les flammes des lampes à carbure. Au-delà l'éboulis paraît continuer et il semble que l'on débouche dans une grande salle. Restant sur ces promesses la première équipe, par manque de combustible, dut rebrousser chemin.

- Les explorations suivantes permirent de juger de l'importance de la découverte. Gravissons à nouveau ce grand éboulis. Quelques mètres à peine après la "tuyère" s'ouvre une salle qui semble gigantesque. Pour la parcourir de bout en bout, il faut poursuivre l'ascension de ce qui devient vraiment un "chaos titanésque" (des blocs "gros comme des maisons"). Les dimensions de cette caverne dans la caverne sont conséquentes : 250 à 300m de long, 60 à 70m de largeur moyenne, une hauteur de plafond de 20 à 40m. Aussi pour maintenir notre tradition rabelaisienne de toponymie, l'avions nous baptisé salle Gargantua (I). Selon certains de nos compagnons (qui ont beaucoup voyagé), elle serait comparable à la salle de la Navarre dans la Pierre St-Martin.

- A l'amont, la salle Guillaume s'ouvre sur une grande galerie, encombrée de très gros blocs, assez tortueuse, de direction Sud-Sud-Ouest. Elle mène à une salle de dimensions relativement modestes, dont le sol et les parois sont tapissées de très fines aiguilles cristallines, qui paraissent analogues aux concrétions d'aragonite décrites par B. Gèze. Au centre de la salle, une belle stalagmite blanche qui, par sa forme, fait nommer l'endroit salle de la Vierge.

- Au-delà enfin, une galerie haute mais étroite va se rétrécir progressivement pour être obstruée par un éboulis fort instable qui laisse filtrer un net courant d'air.

(I) Depuis nous l'avons rebaptisée salle Guillaume pour perpétuer le souvenir d'un aimable compagnon trop tôt disparu.

- Pour terminer le récit des découvertes 1967, revenons dans le canyon Ouest. Suivant le couloir bien au-delà de l'"arche" un des nôtres trouva sur la paroi Nord une diaclase aboutissant dans une galerie de 2-3 m de haut qui paraît continuer vers le Nord-Ouest.

- Le lecteur qui nous a patiemment suivi depuis l'entrée est en droit de penser que la Canuela est somme toute, une cavité de développement assez simple. Il n'en est rien car, moins pour alléger l'exposé que par souci de stricte honnêteté, il n'a pas été fait mention ici des galeries et boyaux adjacents non plus que des puits dont on apercevait le débouché en portant le regard en hauteur.

Bilan (août 1967)

Sortis de ce dédale, il est temps de situer les nouvelles voies par rapport aux anciennes et replacer galeries et salles les unes au-dessus des autres. Prenons comme niveau de base le réseau actif aval, descendant au siphon de -84m (par rapport à l'entrée). 30 à 40m au-dessus viennent la galerie ouest, la majeure partie de la galerie sud et le bas de la salle du carrefour et de celle des 5. Plus haut (15 à 20m) le "tunnel" de l'entrée, le "boulevard" de l'"arche", le haut des salles précédentes, la salle du bivouac", la galerie du 10 août et ses colatérales. En position intermédiaire se situe le méandre partant de la salle du carrefour. Le 4ème niveau est actuellement constitué par la salle Guillaume et son prolongement jusqu'au terminus 1967. Enfin un 5ème niveau est annoncé par les ouvertures béant au plafond des galeries hautes.

Au cours de la seule campagne 1967 après avoir retrouvé la galerie Sud nous avons pu pénétrer dans le vaste réseau intermédiaire par un de ses nombreux appendices avant de découvrir une voie d'accès plus majestueux et surtout plus rapide. Etant attirés par la Pena Lavallo, et son gouffre Juhé, comme par un aimant nous avons progressé cap au Sud à l'intérieur du massif urgonien sur 1200m environ à vol d'oiseau. Cette exploration "orientée" nous avait fait négliger bon nombre de galeries latérales, la salle Guillaume était encore mal connue, enfin notre topographie de reconnaissance demandait à être vérifiée. Ainsi se trouvaient dessinés les objectifs de la campagne suivante. Son développement étant passé de 2 à plus de 4kms, au cours d'un seul été, la Canuela apparaît comme un réseau d'importance majeure dans le complexe karstique de la Pena Lavallo.

Plan approximatif de la Canuela au 25 août 1967

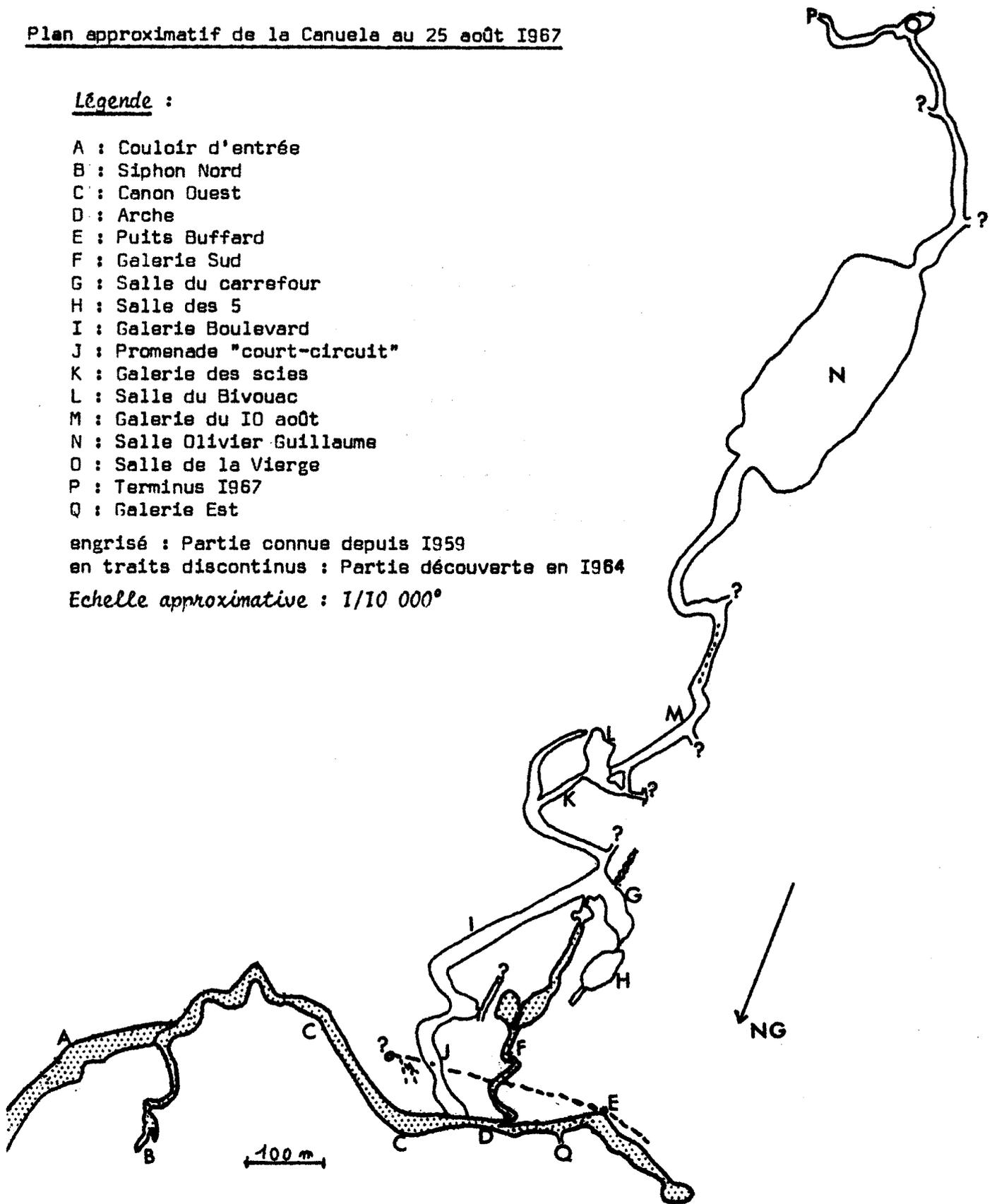
Légende :

- A : Couloir d'entrée
- B : Siphon Nord
- C : Canon Ouest
- D : Arche
- E : Puits Buffard
- F : Galerie Sud
- G : Salle du carrefour
- H : Salle des 5
- I : Galerie Boulevard
- J : Promenade "court-circuit"
- K : Galerie des scies
- L : Salle du Bivouac
- M : Galerie du 10 août
- N : Salle Olivier Guillaume
- O : Salle de la Vierge
- P : Terminus 1967
- Q : Galerie Est

engrisé : Partie connue depuis 1959

en traits discontinus : Partie découverte en 1964

Echelle approximative : 1/10 000°



" SOUS LE PLANCHER "

**Organe du Spéléo-Club de Dijon
4, rue des Argentières DIJON**

**Gérant : H. TINTANT, Secrétaire Général
du S.C.D.**

IMPRIMEUR : Spéléo-Club de Dijon

**Abonnement : 10 frs par an
C.C.P. 633-95 Dijon**