

853.51
C.H.A

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE NANCY

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DE GEOLOGIE APPLIQUEE
ET DE PROSPECTION MINIERE

PROPRIETES GEOTECHNIQUES DU
CALCAIRE CRIPTOCRISTALLIN



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR DE LA SECTION SPECIALE DE
GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIE APPLIQUEE AU
GENIE CIVIL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE INFORMACIÓN BIBLIOTECARIO

o. DE INVENTARIO: D-67.454
ALOR: \$4.00
CLASIFICACIÓN: 553.516/CHA
FECHA DE INGRESO: 20-09-06
ORIGEN:
SOLICITADO POR: FICT

MIGUEL CHAVEZ MONCAYO

1976

01353 01

TABLES DES MATIERES

Pages

| | |
|---|----|
| <u>INTRODUCTION</u> | 1 |
| <u>I - ETUDE GEOLOGIQUE DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN</u> | 2 |
| 1 - Position géologique et structurale du calcaire crypto - cristallin . | |
| 2 - Structure du calcaire cryptocristallin. | |
| 3 - Teneur en CaCO_3 et composition minéralogique du calcaire cryptocristallin. | |
| <u>II - PROPRIETES PHYSIQUES DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN</u> | 7 |
| 1 - Le poids volumique, la teneur en eau, le poids volumique sec. | |
| 2 - Porosité et indice des vides. | |
| 3 - Capillarité. | |
| 4 - Coefficient d'absorption. | |
| 5 - Coefficient hygroscopique. | |
| <u>III - PROPRIETES MECANQUES DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN</u> | 11 |
| 1 - Propagation des ondes élastiques. | |
| 2 - Compression simple. | |
| 3 - Traction indirecte. | |
| 4 - Résistance à la compression simple et critère d'application des contraintes. | |
| 5 - Comportement à la rupture. | |
| <u>CONCLUSION</u> | 22 |

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HORS TEXTE

Tableaux

Figures



BIBLIOTECA FI
ESPO

INTRODUCTION

Au moment de l'achèvement de ce rapport, il m'est agréable de remercier toutes les personnes du Laboratoire de mécanique des sols et des roches qui de près ou de loin, ont apporté une aide très précieuse à l'avancement de ce travail.

Je veux exprimer ici l'expression de ma plus profonde gratitude à Mr. HOUPERT pour l'attention et la patience avec lesquelles il a suivi la progression de mes recherches. Les discussions que j'ai eues avec lui ont toujours été source de progrès et d'encouragement.

Je remercie Mr. TISOT qui, tout au long de ce travail, ne cessa de m'apporter une aide précieuse et des conseils utiles. Qu'il veuille bien accepter par ces lignes l'expression de ma plus grande gratitude.

Le présent travail, sur la proposition de Mr. HOUPERT, a pour objet l'étude des relations entre les propriétés physiques et mécaniques des calcaires cryptocristallins et leurs structures.

L'étude présentée ci-après a été conduite sur les calcaires cryptocristallins rencontrés dans la région Verdun - Commercy du département de la Meuse.

Comme partout, la synthèse des théories et de l'expérience pratique de la mécanique des roches, et tout spécialement le développement qu'elle consacre aux travaux de construction, de soutènement et aux travaux d'exploitation des calcaires, etc..., posent des problèmes liés à la connaissance des propriétés physiques et en particulier des propriétés mécaniques.



BIBLIOTECA DE FI
1931

I - ETUDE GEOLOGIQUE DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN

=====

1 - Position géologique et structurale du calcaire cryptocristallin.

Géologiquement, les calcaires de l'Oxfordien supérieur font partie du Bassin Parisien. Les assises carbonatées plongent légèrement vers le centre du Bassin avec un pendage en général relativement faible (de 10 à 15/1000) et les lignes structurales, bien qu'elles soient régulières, dessinent quelques ondulations. Cette "plateforme" carbonatée récifale est largement développée vers l'Est (Jura Allemand) et passe à l'Ouest vers le centre du Bassin Parisien à des faciès argilo-calcaires ou argilo-gréseux. Progressivement au cours de l'Oxfordien, la sédimentation carbonatée s'est développée sur l'ensemble du Bassin. Elle devient pendant le Kimeridgien (pl. 3), nettement argileuse ou argilo-carbonatée. Les calcaires de l'Oxfordien supérieur représentent de nombreux faciès carbonatés (pl. 3). La plupart des types rencontrés dans la nature sont à faible extension verticale (200-300 m) et pratiquement pas transformés par recristallisation ou dolomitisation. Puisque les calcaires cryptocristallins se trouvent dans les calcaires de l'Oxfordien supérieur, nous limiterons notre étude de recherche à cette série carbonatée.

Nous remplacerons l'historique fastidieux des études antérieures par une carte géologique au 1:320 000^e (pl. 1), un tableau récapitulatif des principales informations (pl. 2) et une coupe (pl. 3) qui montrent les relations structurales entre les différentes unités sédimentaires.

Il convient de dire que la plupart des renseignements dans le domaine géologique sont tirés des publications de MAUBEUGE (14) et HUBERT (10).

Les calcaires cryptocristallins se trouvent entre les différents faciès carbonatés comme nous l'indiquent clairement la carte géologique de la région Verdun-Commercy (pl. 4), ainsi que les coupes établies dans les carrières de Haudonville (pl. 5), Dugny-sur-Meuse (pl. 6) et Euville (pl. 7 et 8).

Selon la classification de FOLK (3), les grains des calcaires cryptocristallins ont une dimension inférieure à 4-5 μ ; par contre, les autres auteurs donnent des valeurs pouvant atteindre 30 μ

Généralement, les calcaires cryptocristallins sont constitués par une proportion supérieure à 90 % de micrite qui forme surtout des mosaïques cristallines de calcite compacte.

En tenant compte de la présence des végétaux continentaux, des récifs coralliers et des flores mixtes dans les calcaires cryptocristallins, on peut dire que la région étudiée a été caractérisée par un climat chaud comportant des périodes froides. En outre, l'existence de calcaires brèchiques prouve que les dépôts se sont formés à faible profondeur.

Selon LEIGHTON et PENDEXTER (11), le matériau micrite déposé, dans de telles conditions, correspond à des eaux de faible énergie, ce qui est justifié par la présence de petits débris de coquilles (type de structure 1, pl. 10), et à des eaux d'énergie négligeable pour les calcaires cryptocristallins des types de structure 2, 4 et 5 (pl. 12 et 13).

Ces conditions de formation des calcaires cryptocristallins nous permettent de conclure que ceux-ci ne correspondent pas à un horizon précis et n'ont pas de continuité stratigraphique (pl. 3).

Du point de vue tectonique, on peut dire que ces calcaires ont été soumis à des petites déformations. LEMOINE, cité dans 13 et 14, dans son article "Les forages profonds du Bassin de Paris" (1939), résume très bien l'option en vogue à cette époque et qui est relative à des axes tectoniques de direction hercynienne provoquant dans la couverture sédimentaire du Bassin Parisien, des plis continus ou des "dômes et des fosses réunis par des alignements et des seuils". Il écrit notamment : "G. CORRY, en 1925, a cherché le raccordement des plis occidentaux avec les plis hercyniens de Lorraine et propose la succession suivante :

- le synclinal de la Somme rejoindrait le synclinal de Longwy ;
- l'axe des gamaches serait relayé par le synclinal de Neuville ;
- l'anticlinal du Bray ne serait autre que l'important anticlinal de Pont-à-Mousson ;
- le synclinal de Thérien rejoindrait sous la Champagne l'axe de Metz, passant à Revigny, Vanvincourt, Saint-Mihiel".

Des levés structuraux effectués par la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine (S.N.P.A.) en 1954 confirment l'existence de l'anticlinal de Pont-à-Mousson dont l'axe traverse le territoire de Commercy (pl. 9).

En conclusion, d'après LAUGIER (13), la région Commercy-Verdun serait en particulier traversée par :

- l'anticlinal principal de Lorraine,
- l'anticlinal d'Onville qui passe au Sud de Saint-Mihiel et au Sud de Bar-le-Duc,
- le synclinal de Thérien en direction de Saint-Mihiel,
- l'anticlinal de Briey-Souilly-Triaucourt,
- le synclinal de Neuville-au-Pont,
- un petit anticlinal qui passe au Nord de Verdun.

Les failles sont rares et très localisées. Les rejets sont faibles. LAUGIER (13) signale la faille de la forêt domaniale de Commercy, dont la présence ne fait aucun doute, mais dont la position exacte n'a pu être précisée ; son rejet maximal dans la région prospectée est d'environ 25 m. L'orientation préférentielle est selon une direction E.N.E - W.S.W, ce qui s'inscrit bien dans le contexte régional lorrain. Il existe aussi une zone très faillée et de même direction approximativement, c'est celle de Commercy à Saint-Avold. En tenant compte des petites dimensions des failles et de la petite échelle de la carte (1:320 000^e), il n'est pas nécessaire de les matérialiser.

2 - Structure du calcaire cryptocristallin.

Le terme structure est relatif au mode d'arrangement des particules du calcaire dans l'agrégat. Avant de définir ces critères structuraux du calcaire cryptocristallin, il nous faut rappeler la notion de grain. A l'échelle de la lame mince, tout objet dont les contours sont définissables correspond à un grain. A cette échelle, un grain peut être aussi bien, une association de cristaux, un cristal individuel, ou tout autre objet perceptible. En effet, il vaut beaucoup mieux parler de grains que de cristaux, car nous percevons des objets, mais nous ne pouvons pas, sur une photographie, leur attribuer à priori, la qualité de cristal. Il faudrait nécessairement vérifier l'existence d'une structure cristalline dans ces objets. Heureusement, leurs formes extérieures sont quelquefois suffisamment caractéristiques pour leur conférer la qualité de cristal avec une plus ou moins grande probabilité.

Selon HUMBERT (10), on distingue différents types de structures :

Type de structure 1 :

Grains et grands agrégats à structure lâche, grains à formes cristallines très nettes englobant les autres éléments. Structure lâche avec très peu de contact entre les éléments et plus ou moins compacts dans les zones franchement cristallines. Dimension des grains jusqu'à 0,030 mm. (pl. 10 - Carrière C.S.F. Euville).

Type de structure 2 :

Grains ou agrégats à forme cristallines souvent très nettes. Structure plus ou moins compacte avec des éléments très souvent soudés ou engrainés les uns dans les autres. (pl. 11 - Carrière de Dugny (four à chaux) et carrière de Haudonville (four à chaux)).

Type de structure 3 :

Grains et grands agrégats à formes très arrondies et à formes cristallines plus ou moins nettes. Grains individualisés très abondants et agrégats de grains fréquents. Structure à tendance plus compacte que celle du type de structure 1, avec des éléments plus ou moins soudés les uns aux autres. (pl. 11 - Carrière de Fevre-Euville).

Type de structure 4 :

Agrégats et grains à structure compacte et à formes très arrondies, grains à formes cristallines souvent très nettes, plus ou moins compactes avec des éléments le plus souvent soudés et engrainés les uns dans les autres et à tendance compacte dans les zones à grains cristallins (pl. 12 - Carrière de Filémont).

Type de structure 5 :

Grains ou agrégats de grains à formes plus ou moins lamellaires. Structure lâche avec peu de contacts entre les éléments (pl. 13 - Carrière de Hattonchâtel).

En poursuivant l'analyse structurale de chacun de ces types, on constate que :

- aucun ciment ne semble lier les grains entre eux ;
- quelle que soit la taille des éléments, il existe deux ensembles structuraux définis par la forme caractéristique des grains :

a) Grains plus ou moins arrondis à forme cristalline plus ou moins nette (types de structure 1,2,3,4) ;

b) Grains plus ou moins lamellaires (type de structure 5).

3 - Teneur en CaCO_3 et composition minéralogique du calcaire cryptocristallin.

Une grande série d'analyses chimiques à l'aide du calcimètre ont été faites sur des échantillons provenant de plusieurs carrières et relatifs aux différents types de structure. Sur le tableau 1 sont reportés les résultats des analyses chimiques concernant la teneur en CaCO_3 .

Les résultats de ces analyses permettent de constater que ces calcaires sont formés en grande partie de CaCO_3 et qu'ils contiennent seulement une faible partie, environ 4 %, de matières terrigènes. Selon l'analyse minéralogique qui a été faite par HUMBERT (10), on remarque que le minéral principal qui constitue les roches cryptocristallines est la calcite en forme de petits cristaux fins, que les minéraux secondaires rencontrés sont du type argile à structure lamellaire et qu'ils sont présents en faible quantité.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

PROPRIETES PHYSIQUES DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

II - PROPRIETES PHYSIQUES DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN

=====

Avant de réaliser des essais mécaniques sur les calcaires cryptocristallins des différents types de structure, nous avons cherché à étudier leurs propriétés physiques, car généralement le comportement mécanique d'un matériau dépend de ses propriétés physiques.

Pour cela, nous avons exécuté de nombreux essais sur les différents types de structures.

Ces essais concernent le poids volumique, la teneur en eau, le poids volumique sec, la porosité, la capillarité, et enfin le coefficient hygroscopique et le coefficient d'absorption.

1 - Le poids volumique, la teneur en eau et le poids volumique sec.

Ces propriétés sont très importantes pour tous les matériaux, car elles commandent généralement les autres caractéristiques. Un grand nombre d'essais ont été réalisés sur les différents types de structures consacrées à l'étude géotechnique du calcaire cryptocristallin.

Sur les tableaux 2 et 3, sont reportés les résultats obtenus pour des essais réalisés sur tous les types des structures des calcaires cryptocristallins. Les résultats obtenus ont montré que la densité varie entre 19,4 et 25,0 KN/m³, la teneur en eau de 0,57 % à 2,94 % et le poids volumique sec varie entre 19,2 et 24,6 KN/m³.

Les valeurs augmentent généralement du type 1 de la structure aux types 4 et 5, les valeurs minimales correspondent au type 1 et les valeurs maximales au type 4.

Ce phénomène ne peut être expliqué qu'en prenant en considération les différents types de structures que donnent les différentes porosités et leurs "granulométries". En fait, la "granulométrie" du calcaire cryptocristallin des types des structures 4 et 5 est plus fine, plus homogène et plus serrée que celle du calcaire cryptocristallin des types 1 et 2, c'est-à-dire que les calcaires cryptocristallins des types de structure 1 et 2 présentent une porosité plus grande que celle des types 4 et 5.

On sait que la teneur en eau est liée au volume des vides, mais dans ces échantillons, la teneur en eau relative aux couches des types de structure 4 et 5 est supérieure à celle de la couche des types de structure 1 et 2.

Ce fait s'explique par la position de ces couches qui sont près de la surface du sol et l'existence des éléments argileux qui ont une grande affinité à l'eau.

2 - Porosité et indice des vides.

Pour étudier la porosité dans les calcaires cryptocristallins, nous avons effectué quelques essais sur des échantillons provenant des carrières avec différents types de structures. Les résultats de ces essais sont reportés dans le tableau 4. Les valeurs montrent la variation de la porosité en fonction du type de structure.

En fait, aux valeurs maximales de la porosité, correspondent les types 1 et 3 (de 22 % à 27 %) et aux valeurs minimales correspondent les types 4 et 5 (de 8,3 % à 14,5 %). Les valeurs minimales ont été observées en général dans les types des structures compactes, c'est-à-dire où l'on constate la présence d'argile, ou dans les calcaires où la "granulométrie" est relativement fine et très serrée. En ce qui concerne l'indice des vides, les résultats sont reportés sur le tableau 4. On voit qu'il varie de 0,09 à 0,38. Enfin, on peut dire que les facteurs qui commandent l'augmentation ou la diminution de la porosité sont les mêmes que ceux qui commandent l'augmentation et la diminution de l'indice des vides.

3 - Capillarité.

(H)



BIBLIOTECA FICT

Les essais de capillarité ont été faits **ESPOL** dans deux éprouvettes des différents types des structures d'une longueur de 80 cm provenant respectivement des carrières de Hattonchatel et d'Euville. Les éprouvettes, avant d'être soumises à l'essai, ont été séchées à l'étuve à la température de 100°C. Les éprouvettes ont été enroulées dans une feuille d'aluminium pour éviter l'évaporation, et leurs bases ont été trempées dans un récipient avec une solution de bleu de méthylène. Après 15 jours l'eau était montée d'une hauteur de 410 mm. Les données obtenues sont présentées dans le tableau 5. La figure 1 montre la remontée capillaire pendant une durée de 9 heures pour deux types de structures.

Si l'on observe les résultats obtenus (tableau 5), on constate pendant les 3 premiers jours de l'expérience, une remontée capillaire plus ou moins rapide. Après 3 jours, on voit que la remontée capillaire n'est plus que de 15 mm par jour, puis cette vitesse décroît encore et devient de plus en plus faible.

Les résultats montrent que dans le type de structure 1, la remontée capillaire est plus rapide que dans le type de structure 5, jusqu'aux 10 premiers jours, et plus tard, la remontée capillaire dans le type de structure 1 est stabilisée et se caractérise plus ou moins par une asymptote parallèle à l'axe des x ; mais dans le type de structure 5, la remontée continue à la vitesse de 2 à 3 mm par jour. K. TERZAGHI, A. ATTERBERG, F.T. MAVIS et P. TSUI montrent que la vitesse d'ascension capillaire, maximale au début de l'alimentation en eau, décroît avec le temps pour devenir très lente à la limite de saturation en eau capillaire continue. Elle est fonction directe du diamètre des pores, donc du diamètre efficace et de la porosité efficace, de la forme des grains, et inversement de la perméabilité. Ce fait est démontré par l'expérience réalisée (fig. 2) lorsque l'on étudie les variations de la hauteur d'ascension capillaire atteinte après 24 heures dans des matériaux des diverses granulométries.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4 - Coefficient d'absorption.

Lorsqu'une roche a été desséchée à 105°C, elle peut absorber un certain poids d'eau. Ce poids, rapporté au poids de l'échantillon sec et exprimé en pourcentage, est le coefficient d'absorption. Les essais qui sont faits pour différents types de structure ont donné différentes valeurs du coefficient d'absorption. Les éprouvettes, avant d'être soumises à l'essai, ont été séchées à l'étuve à la température de 100°C. Les éprouvettes sont plongées dans un récipient contenant de l'eau. Après 30 minutes, l'eau a été absorbée très vite et puis cette vitesse a décréu et est devenue de plus en plus faible.

Les données obtenues sont présentées dans le tableau 6 et matérialisées dans la figure 3. Selon les résultats, le coefficient d'absorption varie de 3,8 % pour le type de structure 4 à 9,2 % pour le type 1.

5 - Coefficient hygroscopique.

Le coefficient hygroscopique est le maximum d'humidité qu'une roche sèche absorbe au contact de l'air à la température de 20-25°C.

Les données obtenues (en %) sont les suivantes :

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Type de structure 1 | $4,5 \cdot 10^{-3}$ % |
| Type de structure 2 | $3,8 \cdot 10^{-3}$ % |

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Type de structure 4 | $3,7 \cdot 10^{-3} \%$ |
| Type de structure 5 | $4,6 \cdot 10^{-3} \%$ |

En conclusion, on peut dire que les facteurs qui influencent l'augmentation ou la diminution des coefficients sont les mêmes que ceux qui commandent l'augmentation ou la diminution de la capillarité.

III - PROPRIETES MECANIQUES DU CALCAIRE CRYPTOCRISTALLIN

=====

Un grand nombre d'essais mécaniques en vue de la détermination des propriétés élastiques et mécaniques ont été réalisés sur les calcaires cryptocristallins provenant de différentes carrières du département de la Meuse.

Ces essais ont pour but, d'une part, d'étudier les caractéristiques mécaniques du calcaire cryptocristallin en fonction de leur composition minéralogique et chimique, et d'autre part, d'établir les corrélations qui existent entre eux.

Cette étude permettra de caractériser au moyen d'une seule propriété, que nous examinerons plus tard, un calcaire cryptocristallin ayant une composition et un type de structure donnés. Nous avons regroupé les propriétés mécaniques des calcaires cryptocristallins en plusieurs groupes :

- propriétés basées sur la célérité des ondes élastiques ;
- propriétés déduites du comportement en compression simple ;
- résistances en compression simple et en traction indirecte.

1 - Propagation des ondes élastiques.

a) - Indice de qualité :

Les travaux de TOURENQ (16, 17, 18) ont montré qu'il est possible de calculer les caractéristiques élastiques d'une roche, connaissant les caractéristiques moyennes des minéraux et leurs proportions relatives, dans l'hypothèse où cette roche constitue un assemblage parfait ne présentant pas de discontinuités (pores ou fissures). Parmi les propriétés élastiques d'une roche, l'une des plus simples à déterminer est la vitesse de propagation ou célérité des ondes élastiques longitudinales ; de plus, cette célérité est très sensible à la présence de discontinuités.

Dans la calcite à l'état cristallin, la célérité des ondes longitudinales, déterminée par de nombreux auteurs, est de 6 600 m/s. Soit $V_L (c)$ cette valeur. La mesure de la célérité sur échantillon de calcaire sec, désignée par $V_L (m)$, permet de définir un indice de qualité par la relation :

$$I_q = \frac{V_L (m)}{V_L (c)} \times 100$$

Cet indice quantifie d'action globale de toutes les discontinuités.

La vitesse des ondes longitudinales mesurée change en fonction du type de structure du calcaire cryptocristallin, c'est-à-dire en fonction de discontinuités. Elle varie de 2770 m/s pour le type de structure 1 à 5000 m/s pour le type de structure 4, tandis que l'indice de qualité varie respectivement de 41 % à 75 %.

Les résultats qui sont obtenus pour différents types de structure sont présentés dans le tableau 7. Dans tous les cas $V_L(c) > V_L(m)$ et I_q est compris entre 0 et 100. Il tend vers 100 lorsque l'effet des discontinuités tend à s'annuler et que la roche tend vers un modèle parfait. Inversement, la qualité de la roche se dégrade lorsque la valeur de I_q décroît.

b) - Les discontinuités des roches :

On trouve dans les roches deux types de vides : les pores qui sont fonction de la structure et de la texture et les fissures qui ont toujours une dimension très petite par rapport aux pores. Il s'agit dans la grande majorité des cas de porosité ouverte, c'est-à-dire que tous les vides communiquent entre eux.

Le volume total de ces discontinuités rapporté au volume de l'échantillon est par définition la porosité n . On distinguera dans cette porosité la part due aux pores n_p et celle due aux fissures n_f , soit :

$$n = n_p + n_f$$

Les effets de ces deux types de vides sur le comportement élastique des roches sont très différents. Cette distinction est indispensable, car à volume des vides égaux, les propriétés mécaniques des roches sont beaucoup plus affectées par les fissures que par les pores.

c) - Influence respective des pores et des fissures sur la vitesse de propagation des ondes longitudinales.

Les roches cryptocristallines sont caractérisées généralement par une discontinuité des pores avec une petite microfissuration fermée dans la plupart des cas.

D'après les travaux expérimentaux, on constate que les lois de variation de V_L en fonction des discontinuités de type "pore" (n_p) et de type "fissure" (n_f) sont très différentes.

Sur la figure 4 est présentée la relation entre la porosité (n) et la vitesse des ondes. On constate que cette relation est linéaire, c'est-à-dire qu'avec une diminution de la porosité, nous avons une augmentation de la vitesse des ondes longitudinales. On a présenté sur la figure 5 les relations entre l'indice de qualité en fonction de la porosité et nous avons obtenu une ligne droite.

Selon les deux courbes, nous pouvons trouver, avec une seule mesure de la vitesse des ondes longitudinales des roches calcaires cryptocristallines, la porosité par les équations très simples

$$\text{suivantes : } V_L = 6600 - 115 n \quad (1)$$

$$I_q = 100 - 18 n \quad (2)$$

Il y a donc une très nette influence de la porosité (n) sur la vitesse des ondes longitudinales et comme nous le verrons plus tard, sur les propriétés élastiques des calcaires cryptocristallins.

Lorsque les microfissures constituent une porosité ouverte, donc accessible à l'eau, il est possible de calculer n_f à partir de deux mesures de V_L . Cette méthode est fondée sur les faits expérimentaux suivants :

- la présence de l'eau dans les pores d'une roche ne modifie pratiquement pas la vitesse de propagation des ondes ;
- la présence d'eau dans les microfissures d'une roche entraîne une augmentation de V_L (ici V_{LW}) proportionnelle au volume des fissures (n_f).

Ainsi on a donc toujours : $V_{LW} \geq V_{Lm}$

Les mesures de V_{LW} sont présentées dans le tableau 7. Il faut dire que cette méthode ne s'applique que dans les cas de milieux à porosité ouverte. En mesurant V_{LW} , on a trouvé l'indice de qualité à l'état saturé des éprouvettes (I_{qW}). Les relations entre les indices de qualité à l'état sec I_q et saturé I_{qW} sont présentées sur la figure 6. Cette courbe montre que l'indice de qualité I_{qW} reste proportionnel à l'indice de qualité I_q selon l'expression $I_q = 0,77 I_{qW}$.

Les travaux expérimentaux de TOURENQ (16, 17, 18) ont montré que la porosité de fissuration peut être déterminée à partir de l'expression suivante :

$$n_f = 8 \frac{V_{LW} - V_{Lm}}{V_{LC}} \quad (3)$$

L'application de la formule (3) dans le cas d'une roche crypto-

crystalline a montré que la porosité de fissuration ouverte est très petite et varie de 0,08 % à 0,939 % (voir tableau 7).

d) - Vitesse de propagation des ondes transversales (V_T).

Pour calculer les deux paramètres principaux, c'est-à-dire le module de Young et le coefficient de Poisson dynamiques, nous avons effectué de nombreuses mesures de vitesse de propagation des ondes transversales pour les différentes structures considérées. D'après les résultats obtenus, on a déterminé le rapport $\beta = \frac{V_L}{V_T}$.

Le coefficient β varie de 1,35 à 2,0 avec une valeur moyenne de 1,60 que l'on peut adopter ; on a donc $V_L \simeq 1,60 V_T$.

Une fois connus V_L , V_T , β , γ_d , on peut déterminer le module de déformation dynamique (E_d) et le coefficient de Poisson dynamique (ν_d), soit à partir d'un abaque, soit par le calcul selon la formule suivante

$$\nu_d = \frac{\beta^2 - 2}{2(\beta^2 - 1)} \quad (4) \quad \text{et} \quad E_d = \frac{(1 - 2\nu_d) \cdot (1 + \nu_d)}{1 - \nu_d} \gamma_d \cdot V_L^2 \quad (5)$$

Les résultats obtenus pour les différents types des structures sont présentés sur le tableau 8. Le coefficient de Poisson varie de 0,15 à 0,33 et le module de déformation de $1,63 \cdot 10^5$ à $4,6 \cdot 10^5$.

Selon les relations (4) et (5), on voit qu'il existe une relation linéaire entre le module de Young dynamique et V_L d'une part, et le coefficient de Poisson dynamique et V_L d'autre part.

Le tableau 8 montre que les roches cryptocristallines à grains isométriques arrondis et ayant une structure très serrée donnent une valeur plus grande du module de Young et un coefficient de Poisson plus faible que les roches à grains hétérométriques pour lesquelles une phase cryptocristalline se groupe en petits amas (souvent des anciens fossiles, dans le cas du type de structure 1).

2 - Compression simple.

Pour déterminer les caractéristiques mécaniques du calcaire cryptocristallin, nous avons effectué des essais de rupture en compression et en traction sur des échantillons provenant des différents types de structures. Nous avons regroupé ces deux propriétés car elles sont linéairement reliées entre elles.

Les essais de compression simple ont été effectués sur des éprouvettes de forme cylindrique dont la longueur est le double du diamètre (10 cm x 5 cm). La vitesse de mise en charge $\dot{\sigma}$ a été conservée constante et égale à 100 bars/mn.

a) - Les courbes contrainte-déformation.

Pour étudier le comportement des matériaux au cours de l'essai de traction ou de compression, on représente la relation entre la contrainte et la déformation sur un graphique. On obtient ainsi le diagramme contrainte-déformation. Les résultats de ces essais qui sont reportés sur les tableaux 4, 7, montrent que la résistance en compression simple augmente avec l'augmentation du poids volumique sec des éprouvettes (fig. 7), c'est-à-dire avec une diminution de la porosité (fig. 8). On voit que l'augmentation du poids volumique sec n'est pas toujours suivie parallèlement d'une augmentation de la résistance à la rupture. Ce phénomène peut être expliqué en prenant en considération les facteurs de "granulométrie" d'altération, et de microfissuration ouverte ou fermée. De plus, il faut préciser que le poids volumique sec varie très peu, entre 19,0 et 24,6 kN/m³ et que des résultats différents peuvent être obtenus pour des points très voisins d'une même éprouvette de 10 cm de longueur.

En observant la courbe contrainte-déformation (fig. 9, 10 et 11), pour les différents types de structures étudiés, on constate que dans l'ensemble, les valeurs de la résistance à la rupture maximale correspondent aux types de structure 4, 5 et les valeurs les plus faibles aux types de structure 1 et 3. Nous avons effectué aussi différents essais en compression simple pour les roches du type de structure 5 suivant deux directions principales selon le type de structure témoin (fig. 12) : perpendiculairement à la structure lamillaire et parallèlement à cette structure. Les résultats obtenus montrent une relation linéaire entre eux ; la résistance à la compression simple perpendiculairement à la structure lamillaire est plus grande que la résistance à la compression simple parallèlement à cette structure. Le coefficient de corrélation entre ces deux catégories de valeur est environ égal à 1,026. Il faut dire aussi que dans la très grande majorité des cas, nous avons obtenu des ruptures en forme de cônes, surtout pour les types de structure 1, 2, 3. Dans le cas de la structure 5, qui contient les éléments argileux et où la forme des grains est lamillaire, la rupture est généralement longitudinale ou irrégulière. (photos 1, 2, 3, pl: 14).

b) - Energie de déformation élastique dans le cas d'un état de contrainte monoaxial.

- Les courbes contrainte-déformation (fig. 9, 10, 11) montrent :
- premièrement, une phase de tassement ; c'est une phase de grandes déformations à allure parabolique ; la force de compression a pour effet dans cette phase de refermer les fissures ;
 - deuxièmement, phase d'élasticité linéaire ; c'est celle des déformations proportionnelles à la contrainte ; l'éprouvette qui a été préalablement compactée obéit à la loi de HOOKE.
 - troisièmement, phase de rupture.

On sait que pendant la déformation, les forces extrêmes agissant sur les corps créent un travail et ce travail se transforme, complètement ou partiellement, en énergie potentielle de déformation. Les calcaires cryptocristallins, comme toutes les roches, peuvent être considérés comme parfaitement élastiques dans une certaine limite qui est bien visible sur les courbes (fig. 9, 10, 11) et que le domaine d'élasticité est différent pour les différents types de structures. Pour évaluer le travail accompli par la charge au cours de la compression pour les différents types des structures dans le domaine élastique, nous nous sommes basés sur les diagrammes contrainte-déformation ($\sigma - \epsilon$) parce que, en pratique, l'énergie de déformation par unité de volume W est souvent très importante et très utilisable. Cette énergie varie de $0,082 \text{ J/cm}^3$ pour le type de structure 1 à $1,56 \text{ J/cm}^3$ pour le type de structure 5. Nous avons aussi calculé la valeur maximale de l'énergie de déformation par unité de poids (W_1) qui peut être emmagasinée sans déformation permanente ; celle-ci varie de 167 J/N à 678 J/N .

Les données qui sont présentées dans le tableau 8 montrent que la quantité d'énergie accumulée dans une masse donnée de calcaire cryptocristallin de type de structure 5 est environ 4 fois supérieure à celle emmagasinée dans le calcaire cryptocristallin de type de structure 1. Dans la formule de l'énergie de déformation intervient le module élastique de déformation (module de Young) qui est mesuré par la pente de la droite des courbes contrainte-déformation. Le module de Young qui s'appelle souvent module statique de déformation, n'est pas le même pour les différents types des structures. Il varie de $1,36 \times 10^5$ bars à $3,5 \times 10^5$ bars. Si on compare le module statique de Young et le module dynamique mesuré à l'aide de la propagation des ondes, on voit que le rapport $\frac{E_d}{E_s}$ est compris entre 1,41 et 1,98, ce qui est confirmé par la théorie (1,2 ÷ 2,0).

(17)

En effet, les relations contrainte-déformation sont à peu près les mêmes pour toutes les roches en ce qui concerne la partie de la courbe σ - ϵ située jusqu'à la résistance ultime (sommet de la courbe contrainte-déformation), et pourtant, pour caractériser les différents types des matériaux d'après le diagramme σ - ϵ , on utilise quelquefois la notion de coefficient de plasticité (K_p) qui est exprimé par le rapport du travail total accumulé dans le domaine élastique-plastique et le travail qui est accumulé si le corps est parfaitement élastique ; le schéma de calcul du coefficient de plasticité est présenté par les figures 13 et 14. Ce coefficient varie de 1,09 à 1,6 (tableau 8).

En conclusion, les essais de compression simple montrent que tous les indices qui caractérisent une roche calcaire cryptocristalline dépendent de la structure de la "granulométrie", de la forme des grains et de l'existence d'éléments fins (argiles). Tous ces facteurs sont liés avec un paramètre principal qui est la porosité (n). Il n'existe pas de propriété qui ne soit pas d'abord conditionnée par la proportion des vides que contient la roche. C'est donc le paramètre le plus important à connaître (ou bien la masse volumique qui a la même signification).

3 - Traction indirecte

Comme pour la compression, un grand nombre d'essais de traction ont été réalisés pour préciser les caractéristiques de la résistance à la rupture par traction du calcaire cryptocristallin. Les essais de traction ont été exécutés par la méthode de l'essai brésilien sur des éprouvettes cylindriques, dont la longueur est égale au diamètre. La vitesse de mise en charge a été conservée constante ($\dot{\sigma} = 100$ bars/m). La rupture s'est généralement produite selon le plan qui sépare le cylindre en deux parties semi-cylindriques. Les résultats obtenus par les essais de traction sont reportés sur le tableau 7 et sont matérialisés sur les figures 15 et 16. Les relations entre la résistance à la traction (essai brésilien) et l'indice de qualité (I_q) ou entre la résistance à la traction et la porosité ne sont linéaires qu'en coordonnées semi-logarithmiques.

Les résultats montrent que selon la valeur de la porosité, compris entre 8,5 % et 16,5 % pour le type de structure 4, les calcaires cryptocristallins suivent la loi de GRIFFITH.

| Type de structure : | 1 et 3 | 2 | 4 | 5 |
|-----------------------------|------------|------------|------------|-----------|
| Résistance en compression : | 424,4 bars | 694,4 bars | 686,6 bars | 934,3bars |
| Résistance en traction : | 31,2 bars | 45,4 bars | 65,8 bars | 52,8bars |

Enfin, on peut dire que les facteurs qui interviennent dans l'augmentation ou la diminution de la résistance à la traction sont les mêmes que ceux qui commandent l'augmentation ou la diminution de la résistance à la compression.

4 - Résistance à la compression simple et critère d'application.

La résistance à la rupture de matériaux augmente avec la vitesse de sollicitation ; c'est ce que l'on constate pour les métaux, les roches (HOUPERT, 4) et le béton. Selon les travaux expérimentaux de HOUPERT (4, 5, 7) il est déterminé que la loi de variation est proche d'une relation linéaire entre σ_c et logarithme décimal de la vitesse d'augmentation de la contrainte $\dot{\sigma}^o$ ou de la déformation $\dot{\epsilon}^o$. Pour vérifier si le comportement du calcaire cryptocristallin est régi par le même phénomène, nous avons exécuté des essais de compression simples sur des éprouvettes de 50 mm de diamètre, de longueurs égales et doubles de leurs diamètres. Nous avons essayé pour deux types de structures (2 et 5) avec une vitesse $\dot{\sigma} = 100$ bars, $\dot{\sigma} = 1000$ bars et $\dot{\sigma} = 10000$ bars. Les valeurs obtenues sont indiquées dans les tableaux 10 et 11. Pour chaque vitesse, nous avons effectué 9 essais. Selon les résultats, nous avons construit la figure 17 qui montre que la résistance à la compression simple du calcaire cryptocristallin varie linéairement en fonction du logarithme de la vitesse de mise en charge. Cette relation peut être mise sous la forme :

$$\sigma_r = \sigma_0 + \sigma_1 \log \frac{\dot{\sigma}^o}{\dot{\sigma}_0^o}$$

c'est-à-dire :

$$\sigma_r = 550 + 70 \log \dot{\sigma}^o$$

pour le type de structure 2, et

$$\sigma_r = 780 + 75 \log \dot{\sigma}^o$$

pour le type de structure 5.

Lorsque la vitesse de mise en charge croît de 1 à 10, la résistance à la rupture selon les types des structures augmente environ de 7 % à 10 %.

5 - Comportement à la rupture.

Nous avons montré que les courbes contrainte-déformation sont séparées en quatre parties.

- 1 - La partie de la courbe à concavité tournée vers le haut et qui correspond à la fermeture des fissures existantes dans les roches et qui est caractérisée par une diminution du module d'élasticité.
- 2 - La partie droite de la courbe où les fissures sont fermées et qui est caractérisée par le glissement entre leurs faces.
- 3 - La partie de la courbe à concavité vers le bas et qui atteint un maximum. Pour quelques matériaux, dans cette partie de la courbe, on voit le début du développement des fissures existantes.
- 4 - La quatrième partie de la courbe montre que le matériau fracturé peut supporter des charges et cette partie précise le comportement des matériaux à la rupture.

Les travaux expérimentaux de HOUPERT, TISOT et THOMAS (8), HOUPERT (7), HOUPERT (9) ont montré qu'il est possible d'obtenir des courbes contrainte-déformation complètes suivant la rigidité de la machine d'essai. Pour obtenir la quatrième partie de la courbe contrainte-déformation, nous avons effectué quelques essais pour chaque type de la structure des calcaires cryptocristallins (fig. 18). Selon les résultats obtenus, on peut dire que dans la région de post-rupture, l'allure des courbes contrainte-déformation se différencie très nettement. Par conséquent, on peut bien distinguer les roches avec différents types des structures d'après leur comportement à la rupture. D'après les courbes (fig. 18), on peut remarquer que la rupture du calcaire cryptocristallin de type de structure 2, 4 et 5 ne peut être contrôlée que partiellement, mais au contraire, les types de structure 1 et 3 peuvent être contrôlés jusqu'à une charge pratiquement nulle.

On sait que des fissures de rupture se développent à partir des discontinuités ou des hétérogénéités du matériau. Ces micro-fractures prennent naissance simultanément ou successivement en différents endroits de l'éprouvette. A mesure que la charge croît, elles progressent et se rejoignent pour donner lieu à des fractures de plus en plus grandes et de plus en plus nombreuses.

Pour les calcaires cryptocristallins et pour la vitesse d'application de la charge très lente ($6 \mu / mn$), les fractures sont visibles sur les éprouvettes après le sommet de la courbe contrainte-déformation.

Si les courbes contrainte-déformation avant le maximum pour tous les matériaux sont à peu près les mêmes, au contraire, après le maximum, elles changent les unes par rapport aux autres. Ce comportement est lié à la nature de la roche (HOUPERT, TISOT et THOMAS, 8).

Dans le cas des types de structure 1 et 3, nous avons indiqué que les calcaires cryptocristallins sont caractérisés d'une part, par une porosité très élevée, et d'autre part, par une texture hétérogène, ce qui veut dire que les microfractures ont la possibilité de se développer progressivement au cours des essais lents et que la formation d'une fracture nouvelle prélève une partie de l'énergie emmagasinée dans l'éprouvette.

Dans le cas où ξ est faible, l'énergie élastique de l'éprouvette est régulièrement dissipée par le développement progressif des microfractures et des fractures, la contrainte diminue graduellement et le contrôle de la rupture est possible (fig. 18). Au contraire, les calcaires cryptocristallins qui sont caractérisés par une porosité faible et une texture homogène (calcaire composé de grains arrondis ou de grains lamillaires) donnent des courbes contrainte-déformation partiellement complètes.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que l'énergie emmagasinée dans l'éprouvette est plus grande que celle qui est nécessaire à la rupture de l'éprouvette et ce supplément d'énergie est libéré brutalement au moment où la charge maximale est atteinte ; par conséquent, la rupture est explosive.

Selon les résultats obtenus sur les calcaires cryptocristallins, on peut séparer en deux groupes :

1) - les calcaires cryptocristallins à forte porosité (types de structure 1 et 3, à porosité $n = 22 \% \div 27 \%$). Dans ce type de roche, les premières petites fractures sont axiales ou subaxiales dans la partie médiane de l'éprouvette et elles se forment presque au sommet de la courbe. Au-delà, elles donnent lieu à de grandes fractures qui se développent progressivement sur toute la hauteur d'éprouvette et qui sont généralement axiales ou peu inclinées sur l'axe de l'éprouvette. La rupture dans ce cas peut souvent être contrôlée jusqu'à une charge pratiquement nulle.

2) - Les calcaires cryptocristallins à faible porosité, à texture

homogène et à grains fins (types de structure 4 et 5). Dans ce cas, de grandes fractures apparaissent lorsque le maximum de la charge est atteint. Elles délimitent des éclats qui se détachent violemment et successivement jusqu'à la ruine de l'éprouvette.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CONCLUSION

De l'ensemble de l'expérimentation qui vient d'être exposée, il semble que nous pouvons dégager les conclusions suivantes. La structure des roches calcaires, en particulier des calcaires cryptocristallins, est très complexe et difficile à quantifier dans son ensemble.

Cependant, nous avons essayé de trouver quelques relations entre les types de structure du calcaire cryptocristallin et leurs propriétés physico-mécaniques.

Nous venons de voir que les propriétés précédentes varient en fonction de la structure ou du mode d'arrangement des particules de calcaire dans l'agrégat et aussi en fonction de leurs textures (forme et dimension des grains).

On constate que pour une augmentation ou pour une diminution de la porosité, les propriétés physico-mécaniques évoluent dans le sens inverse ; par conséquent, on peut dire qu'il n'existe pas de propriété qui ne soit pas d'abord conditionnée par la proportion des vides que contient la roche. C'est donc le paramètre le plus important à connaître (ou bien la masse volumique qui a la même signification).

A partir de l'indice de qualité, il est possible de caractériser globalement l'ensemble des défauts qui affectent la roche (pores et fissures).

Il est possible de connaître globalement le volume de la microfissuration.

On peut regrouper certaines caractéristiques physico-mécaniques linéairement liées entre elles et faire apparaître deux familles nettement distinctes : n , V_L , E_d d'une part, et R_c , R_t d'autre part.

On peut admettre que la détermination d'une seule propriété de chacune de ces deux familles permet une connaissance suffisante d'un type du calcaire cryptocristallin.

Une bonne connaissance des calcaires cryptocristallins est également donnée par l'étude du comportement fragile qui permet de les classer en deux groupes :

- les calcaires cryptocristallins à forte porosité pour lesquels la rupture est progressive quelle que soit la vitesse de déformation ; les manifestations de la rupture se traduisent par la formation de microfractures

axiales apparaissant vers la fin du domaine linéaire de la courbe contrainte-déformation ;

- les calcaires cryptocristallins à faible porosité, à texture homogène et à grains fins dont la rupture est toujours explosive et pour lesquels il ne se forme pas ou peu de microfractures axiales avant la charge maximale.

Enfin, la variation de la résistance à la compression simple en fonction du logarithme de la vitesse de mise en charge est linéaire pour les calcaires étudiés, c'est-à-dire que la résistance à la rupture du calcaire croît lorsque la vitesse de mise en charge augmente.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - CASTANY G. (1963) - Traité pratique des eaux souterraines. Dunob, Paris.
- 2 - CHREINER A.L. (1968) - Propriétés mécaniques et propriétés abrasives des roches. Gostoptekhizdat, Moscou.
- 3 - FOLK R.L. (1959) - Practical petrographic classification of limonstones. Bulletin Amer. Ass. Petrol. Geol., Vol. 43, n° 1.
- 4° - HOUPERT R. (1966) - Variation de la résistance à la compression simple des roches grenues en fonction de la vitesse de mise en charge. C.R. Acad. Sci., vol. 262, série A, p. 1423-1425.
- 5 - HOUPERT R. (1966) - Résistance des matériaux. Traction et compression simples. Cours de mécanique de solides, Ecole Nat. Sup. Géologie, Nancy.
- 6 - HOUPERT R. et TISOT J. P. (1969) - Effet d'échelle et dispersion des contraintes de rupture en compression simple dans le cas d'un granite. C.R. 2e Coll. Fissuration des Roches, Paris, Rev. Indust. Minér., n° spec. 15, juillet 1969, p. 29-34.
- 7 - HOUPERT R. (1970) - La résistance à la rupture des roches en compression simple. C.R. 2e Congr. Internat. Méc. Roches, Belgrade, vol. 2, comm. 3-8, 7 p.
- 8 - HOUPERT R., TISOT J. P. et THOMAS A. (1971) - Le comportement des roches après rupture. In Fissuration des roches, C.R. Symp. Internat. Méc. Roches, Nancy, vol. 1, comm. 2-22, 16 p.
- 9 - HOUPERT R. (1974) - Comportement fragile en compression simple et structure des roches. C.R. 2e Congr. Internat. Ass. Internat. Geol. Ing., vol. 1, comm. IV - 25, Sao Paulo, Brazil.
- 10 - HUMBERT L. (1971) - Recherche méthodologique pour la restitution de l'histoire bisédimentaire d'un Bassin. L'ensemble carbonaté Oxfordien de la partie orientale. Thèse Doct. ès Sci., Nancy.
- 11 - LEIGHTON M.W. et PENDEXTEY C. (1962) - Carbonate rock types. Amer. Ass. Petrol. Geol. Memoir 1.
- 12 - Le calcaire de Beauce (1973) - Bull. Liais. Lab. Routiers, Ponts et chaussées n° spéc. juin 1973.
- 13 - LAUGIER R. (1971) - Le lias inférieur et moyen du Nord-Est de la France. Mem. Sc. de la Terre, n° 21.
- 14 - MAUBEUGE P. L. (1955) - Observation géologique dans l'est du Bassin de Paris. Thèse Doct. ès Sci., Nancy.
- 15 - TISOT J. P. (1969) - Les essais de laboratoire en mécanique des sols. (Tome I, II). Cours de mécanique des sols, Ecole Nat. Sup. géologie, Nancy.
- 16 - TOURENQ C., FOURMAINTRAUX D. et DENIS A. (1971) - Propagation des ondes et discontinuités des roches. In Fissuration des roches, C.R. Symp. Internat. Méc. Roches, Nancy. Vol 1, comm. 2-22.

- 17 - TOURENQ C. et ARCHIMBAUD C. (1974) - Propriétés des calcaires. C.R. 2e Congr. Internat. Ass. Internat. Geol. Ing., vol. 1, comm. IV-19, Sao Paulo, Brazil.
- 18 - TOURENQ et FOURMAINTRAUX D. (1974) - L'indice de qualité des roches, quelques applications. C.R. 2e Congr. Internat. Ass. Internat. Geol. Ing., vol. 1, comm. IV - 20, Sao Paulo, Brazil.

Tableau 1

Teneur en CaCO₃ du calcaire cryptocristallin pour
les différents types de structure

1,2,3,4,5 : types structuraux

| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|
| N° Epr. | % CaCO ₃ |
| 1 | 99,6 | 11 | 95,4 | 21 | 97,2 | 31 | 99,2 | 41 | 94,50 |
| 2 | 99,8 | 12 | 99,6 | 22 | 98,8 | 31 | 98,7 | 42 | 99,80 |
| 3 | 89,0 | 13 | 97,4 | 23 | 97,6 | 33 | 100,0 | 43 | 98,0 |
| 4 | 98,0 | 14 | 92,0 | 24 | 99,0 | 34 | 99,8 | 44 | 98,0 |
| 5 | 99,0 | 15 | 98,7 | 25 | 99,8 | 35 | 94,0 | 45 | 99,6 |
| 6 | 99,0 | 16 | 96,8 | 26 | 99,0 | 36 | 99,0 | 46 | 95,0 |
| 7 | 99,6 | 17 | 99,8 | 27 | 96,0 | 37 | 98,6 | 47 | 99,0 |
| 8 | 99,2 | 18 | 99,0 | 28 | 97,0 | 38 | 99,4 | 48 | 93,0 |
| 9 | 99,8 | 19 | 99,0 | 29 | 98,0 | 39 | 99,6 | 49 | 92,0 |
| 10 | 98,5 | 20 | 97,4 | 30 | 99,0 | 40 | 98,6 | 50 | 97,5 |
| % moy. | 98,10 | % moy. | 97,50 | % moy. | 98,20 | % moy. | 98,69 | % moy. | 96,63 |



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Tableau 2

Poids volumique γ (kN/m³) et teneur en eau w (%)
du calcaire cryptocristallin pour les différents
types de structure

1,2,3,4,5.: types structuraux

| 1,3 | | 2 | | 4 | | 5 | |
|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| γ | w. | γ | w | γ | w | γ | w |
| 20,2 | 0,86 | 21,6 | 0,98 | 23,2 | 2,40 | 22,70 | 1,74 |
| 19,8 | 0,57 | 21,9 | 0,87 | 23,4 | 2,30 | 22,4 | 0,98 |
| 20,1 | 0,84 | 22,0 | 1,40 | 23,0 | 2,70 | 22,6 | 2,22 |
| 20,6 | 1,15 | 21,8 | 1,32 | 22,9 | 1,89 | 22,2 | 2,40 |
| 20,0 | 2,14 | 22,1 | 2,40 | 22,8 | 2,65 | 23,0 | 2,68 |
| 20,3 | 1,84 | 21,1 | 0,90 | 23,3 | 2,72 | 22,3 | 1,58 |
| 20,4 | 1,98 | 21,6 | 1,40 | 23,4 | 2,74 | 22,9 | 1,87 |
| 20,2 | 2,12 | 21,8 | 1,22 | 23,0 | 2,33 | 23,0 | 2,94 |
| 20,4 | 2,13 | 21,7 | 1,34 | 22,8 | 2,24 | 22,6 | 2,05 |
| 20,5 | 2,12 | 21,9 | 1,24 | 22,6 | 1,84 | 22,9 | 2,68 |



**BIBLIOTECA FICT
 ESPOL**

Tableau 3

Poids volumique séc γ_d (kN/m^3) du calcaire cryptocristallin
pour les différents types de structure

1,2,3,4,5 : Types structuraux

| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N° Epr. | γ_d |
| 94 | 19,7 | 2 | 21,1 | 96 | 20,6 | 92 | 22,6 | 58 | 22,5 |
| 95 | 19,2 | 3 | 21,3 | 98 | 21,5 | 93 | 22,8 | 59 | 22,5 |
| 97 | 19,5 | 4 | 21,2 | 103 | 22,3 | 95/1 | 22,7 | 60 | 22,5 |
| 99 | 19,3 | 5 | 20,8 | 104 | 20,4 | 96/1 | 23,1 | 61 | 22,7 |
| 100 | 19,4 | 6 | 20,9 | 36 | 20,4 | 97/1 | 22,6 | 62 | 22,5 |
| 101 | 19,8 | 7 | 21,0 | 39 | 20,6 | 98/1 | 22,5 | 63 | 22,2 |
| 102 | 19,6 | 8 | 21,1 | 40 | 20,6 | 99/1 | 22,6 | 64 | 21,8 |
| 105 | 19,8 | 9 | 21,3 | 41 | 20,5 | 100/1 | 24,6 | 65 | 22,3 |
| 106 | 19,9 | 10 | 21,1 | 42 | 21,6 | 101/1 | 22,8 | 66 | 22,5 |
| 107 | 19,5 | 11 | 21,1 | 43 | 20,8 | 102/1 | 22,6 | 67 | 22,6 |
| 37 | 19,4 | 12 | 21,1 | 44 | 20,7 | 103/1 | 23,0 | 68 | 23,0 |
| 38 | 19,5 | 13 | 21,2 | 45 | 20,7 | 104/1 | 22,6 | 69 | 23,0 |
| 47 | 19,7 | 14 | 21,2 | 46 | 20,0 | 105/1 | 22,8 | 70 | 23,0 |
| 50 | 19,7 | 15 | 21,1 | 48 | 20,0 | 106/1 | 22,7 | 71 | 23,0 |
| 51 | 19,5 | 16 | 20,9 | 49 | 20,1 | 107/1 | 22,7 | 72 | 22,2 |
| 52 | 19,6 | 17 | 21,6 | 54 | 20,3 | 108 | 22,8 | 73 | 22,0 |
| 57 | 19,2 | 22 | 21,2 | 55 | 20,4 | 109 | 22,7 | 74 | 22,3 |
| | | 27 | 22,3 | 56 | 20,1 | 110 | 22,6 | 75 | 22,2 |
| | | 33 | 21,8 | | | 111 | 22,6 | 82 | 22,4 |



BIBLIOTECA FICT.
ESPOL

Tableau 4

Poids volumique sec γ_d (kN/m³), porosité n (%),
indice des vides (e) et résistance à la compression
simple σ_c (bar) du calcaire cryptocristallin
 1,2,3,4,5 : types structuraux

| γ_d | 1,3 | | | γ_d | 2 | | | γ_d | 4 | | | γ_d | 5 | | |
|------------|-----|------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|------|------------|
| | n | e | σ_c | | n | e | σ_c | | n | e | σ_c | | n | e | σ_c |
| 20,4 | 23 | 0,31 | 313,5 | 21,2 | 20,6 | 0,26 | 636,0 | 22,7 | 16,3 | 0,19 | 630,0 | 22,5 | 16,6 | 0,20 | 104,3 |
| 19,4 | 27 | 0,38 | 346,0 | 20,9 | 22,3 | 0,29 | 652,0 | 22,8 | 15,6 | 0,18 | 720,0 | 22,7 | 16,3 | 0,19 | 936,0 |
| 20,1 | 26 | 0,34 | 501,0 | 21,1 | 21,8 | 0,28 | 732,0 | 22,8 | 15,6 | 0,18 | 700,0 | 22,7 | 16,6 | 0,20 | 926,0 |
| 19,6 | 27 | 0,37 | 463,0 | 21,6 | 19,2 | 0,24 | 712,0 | 22,8 | 15,6 | 0,18 | 710,0 | 22,2 | 17,3 | 0,21 | 942,0 |
| 19,6 | 27 | 0,37 | 448,0 | 21,2 | 20,6 | 0,26 | 735,0 | 22,5 | 16,6 | 0,20 | 690,0 | 21,8 | 19,2 | 0,24 | 949,0 |
| 20,3 | 23 | 0,32 | 422,0 | 21,5 | 20,0 | 0,25 | 870,0 | 22,6 | 16,3 | 0,19 | 690,0 | 22,3 | 17,3 | 0,21 | 1132,0 |
| 20,4 | 22 | 0,31 | 478,0 | 21,1 | 21,8 | 0,28 | 732,0 | 24,6 | 8,3 | 0,09 | 890,0 | 23,0 | 14,5 | 0,17 | 992,0 |
| 20,1 | 26 | 0,34 | 458,0 | 21,1 | 21,8 | 0,28 | 669,0 | 23,0 | 14,5 | 0,17 | 740,0 | 23,0 | 14,5 | 0,17 | 906,0 |
| 20,0 | 26 | 0,35 | 463,0 | 21,2 | 20,6 | 0,26 | 720,0 | 23,0 | 14,5 | 0,17 | 730,0 | 23,0 | 14,5 | 0,17 | 918,0 |
| 19,8 | 26 | 0,35 | 472,0 | 21,5 | 20,0 | 0,25 | 685,0 | 22,9 | 15,7 | 0,18 | 830,0 | 23,0 | 14,5 | 0,17 | 920,0 |

Tableau 5

Montée capillaire H (mm) pour une durée de 15 jours
du calcaire cryptocristallin

1,5 : Types structuraux

| Temps | H | |
|-------|-----|-----|
| | 1 | 5 |
| 5' | 8 | 7 |
| 10' | 18 | 10 |
| 15' | 22 | 14 |
| 20' | 24 | 20 |
| 30' | 32 | 22 |
| 40' | 35 | 24 |
| 60' | 44 | 31 |
| 1h30' | 53 | 33 |
| 2h | 64 | 44 |
| 3h | 71 | 50 |
| 4h | 76 | 55 |
| 5h | 81 | 64 |
| 6h | 111 | 70 |
| 7h | 121 | 73 |
| 9h | 130 | 92 |
| 24h | 200 | 150 |
| 72h | 260 | 220 |
| 240h | 405 | 400 |
| 360h | 410 | 410 |

Tableau 6

Calcaire cryptocristallin - Essais de coefficient
d'absorption K_a (%) pour une durée de 3 jours

1,2,3,4,5 : Types structuraux

| Temps | K_a | | | |
|-------|-------|------|------|------|
| | 1,3 | 2 | 4 | 5 |
| 5" | 1,73 | 1,58 | 0,32 | 0,81 |
| 10" | 2,63 | 2,30 | 0,55 | 1,36 |
| 20" | 3,61 | 3,26 | 0,73 | 1,83 |
| 40" | 4,70 | 4,12 | 0,78 | 2,36 |
| 1'30" | 5,98 | 4,79 | 0,97 | 3,06 |
| 3' | 7,02 | 5,08 | 1,10 | 3,86 |
| 6' | 7,80 | 5,99 | 1,29 | 4,68 |
| 12' | 8,0 | 6,80 | 1,66 | 5,31 |
| 30' | 8,10 | 7,00 | 2,00 | 6,00 |
| 1h | 8,20 | 7,10 | 2,10 | 6,10 |
| 2h | 8,40 | 7,20 | 2,20 | 6,20 |
| 4h | 8,60 | 7,30 | 2,20 | 6,20 |
| 8h | 8,70 | 7,40 | 2,40 | 6,30 |
| 24h | 8,80 | 7,50 | 2,80 | 6,40 |
| 48h | 9,0 | 7,60 | 3,40 | 6,50 |
| 72h | 9,20 | 7,90 | 3,80 | 6,70 |



LA FICT.
OL

Poids volumique sec δ_d (kN/m³), porosité totale n_t (%), porosité de pore n_p (%),
porosité de fissure n_f (%), résistance à la compression simple σ_c (bar), résistance
à la traction σ_r (bar), célérité des ondes à l'état sec V_L (m/s), célérité des ondes
à l'état saturé V_{Lw} (m/s), indice de qualité à l'état sec I_{qf} (%) et indice de qualité
à l'état saturé I_{qw} (%) du calcaire cryptocristallin pour les différents types de structure

1,2,3,4,5 : Types structuraux

Type de
structure

| | δ_d | n_t | n_p | n_f | σ_c | σ_r | V_L | V_{Lw} | I_q | I_{qw} |
|-----|------------|-------|--------|-------|------------|------------|-------|----------|-------|----------|
| | 19,7 | 27 | | | 347,40 | 17,20 | 2770 | | 41,0 | |
| | 19,2 | 28,5 | | | 302,50 | 15,90 | 3200 | | 48,40 | |
| | 22,3 | 17,3 | | | 492,50 | 31,10 | 3330 | | 50,45 | |
| | 19,9 | 26,4 | | | | 24,0 | 3330 | | 50,45 | |
| | 19,8 | 26,6 | | | | 36,60 | 3570 | | 54,09 | |
| 1,3 | 19,9 | 26,4 | | | | 46,30 | 4160 | | 63,01 | |
| | 19,5 | 27,7 | | | | 36,60 | 3400 | | 51,50 | |
| | 19,5 | 27,7 | 27,62 | 0,08 | 440,10 | | 3330 | 3400 | 50,45 | 51,50 |
| | 19,3 | 28,3 | 27,973 | 0,327 | | | 3570 | 3840 | 54,09 | 58,18 |
| | 20,4 | 24,4 | | | 478,40 | | 3400 | 3400 | 51,50 | 51,50 |
| | 19,4 | 28,1 | 27,979 | 0,121 | | | 3300 | 3400 | 50,0 | 51,50 |
| | 19,0 | 29,6 | 29,394 | 0,209 | | | 3400 | 3570 | 51,50 | 54,09 |
| | 19,8 | 26,6 | | | 456,80 | | 3700 | 3700 | 56,0 | 56,0 |
| | 19,2 | 28,5 | 28,160 | 0,484 | | | 3100 | 3500 | 46,90 | 53,0 |

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Type de structure

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|
| 2 | 21,0 | 22,10 | | | 712,10 | 35,80 | 3570 | | 54,09 | |
| | 21,1 | 21,80 | | | | 46,60 | 4160 | | 63,03 | |
| | 21,9 | 18,80 | | | 836,0 | 52,20 | 4000 | | 60,0 | |
| | 21,0 | 22,10 | | | | 49,80 | 4560 | | 69,09 | |
| | 21,0 | 22,10 | | | 580,0 | 33,20 | 3400 | | 51,50 | |
| | 21,5 | 21,50 | | | 750,0 | 46,0 | 4000 | | 60,0 | |
| | 20,4 | 20,4 | 24,11 | 0,290 | | | 3600 | 3840 | 54,50 | 58,18 |
| | 21,5 | 20,3 | | | | | 4160 | 4160 | 63,3 | 63,3 |
| | 21,0 | 22,1 | | | | | 3840 | 3840 | 58,18 | 58,18 |
| | 21,1 | 21,8 | | | | | 4000 | 4000 | 60,0 | 60,0 |
| 4 | 21,8 | 19,2 | 15,840 | 0,360 | 870,0 | | 4000 | 4300 | 60,0 | 65,0 |
| | 21,3 | 21,0 | | | 640,0 | | 3800 | 3800 | 57,50 | 57,5 |
| | 22,7 | 15,80 | | | 730,0 | 69,77 | 5000 | | | |
| | 22,6 | 15,80 | | | | 91,45 | 4540 | | | |
| | 22,5 | 16,0 | | | 890,0 | 67,0 | 4540 | | | |
| | 22,7 | 15,80 | | | 840,0 | 75,0 | 5000 | | | |
| | 22,8 | 15,50 | | | 820,0 | 63,0 | 3840 | | | |
| | 22,1 | 18,0 | 17,613 | 0,387 | 720,0 | | 4100 | 4420 | 62,1 | 66,96 |
| | 21,9 | 18,80 | 17,861 | 0,939 | 780,0 | | 3800 | 4420 | 57,5 | 66,96 |
| | 22,9 | 15,10 | 14,958 | 0,242 | 810,0 | | 4300 | 4500 | 65,10 | 68,10 |
| 23,1 | 14,30 | 14,179 | 0,121 | | | 4900 | 5000 | 74,2 | 75,0 | |
| 22,5 | 16,0 | | | | | 4420 | 4420 | 66,96 | 66,96 | |
| 22,6 | 15,80 | 15,679 | 0,121 | | | 4600 | 4700 | 69,60 | 71,20 | |

Type de structure

| | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|--------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|
| | 22,6 | 15,80 | | | 820,0 | 60,90 | 4300 | | 65,1 | |
| | 22,4 | 17,0 | | | 975,0 | 55,75 | 4160 | | 63,03 | |
| 5 | 23,0 | 14,70 | | | 1105,0 | 46,90 | 4300 | | 65,10 | |
| | 22,4 | 17,0 | | | 960,80 | 42,98 | 3900 | | 59,0 | |
| | 22,0 | 18,50 | | | 940,0 | 54,20 | 4300 | | 65,10 | |
| | 23,3 | 14,20 | | | 1040,0 | | 4700 | 4700 | 71,20 | 71,20 |
| | 22,2 | 17,50 | 17,179 | 0,121 | | | 4400 | 4500 | 66,60 | 68,10 |

BIBLIOTECA FCT
ESPOL



Valeurs moyennes du module de déformation E_s (bar), de la limite élastique G_e (bar), de l'énergie de déformation élastique par unité de volume W_0 (J/cm³), du poids volumique sec γ_d (kN/m³), de l'énergie de déformation élastique par unité de poids w_i (J/N), de déformation élastique ε (%), du module de déformation dynamique E_d (bar), du rapport $\frac{E_d}{E_s}$, de la célérité des ondes V_L (m/s), du coefficient de poisson dynamique ν_d et du coefficient de plasticité K_p , du calcaire cryptocristallin pour les différents types de structure.

1,2,3,4,5 : Types structuraux

| Type de structure | E_s | G_e | w_0 | γ_d | w_i | ε_e | E_d | $\frac{E_d}{E_s}$ | V_L | ν_d | K_p |
|-------------------|-------------------|-------|-------|------------|-------|-----------------|-------------------|-------------------|-------|---------|-------|
| 1 | $1,36 \cdot 10^5$ | 225 | 0,330 | 19,45 | 167,0 | 0,165 | $1,63 \cdot 10^5$ | 1,41 | 3170 | 0,23 | 1,5 |
| 2 | $2,11 \cdot 10^5$ | 415 | 0,417 | 21,50 | 193,5 | 0,195 | $3,35 \cdot 10^5$ | 1,57 | 4065 | 0,19 | 1,36 |
| 3 | $1,55 \cdot 10^5$ | 318 | 0,377 | 20,5 | 181,5 | 0,165 | $2,44 \cdot 10^5$ | 1,77 | 3750 | 0,23 | 1,16 |
| 4 | $2,91 \cdot 10^5$ | 625 | 0,665 | 23,5 | 272,5 | 0,27 | $4,6 \cdot 10^5$ | 1,59 | 4710 | 0,18 | 1,07 |
| 5 | $2,75 \cdot 10^5$ | 845 | 1,29 | 22,5 | 573 | 0,305 | $4,6 \cdot 10^5$ | 1,60 | 4500 | 0,15 | 1,09 |

Tableau 9

Contraintes de rupture en traction σ_r (bar)
du calcaire cryptocristallin pour les différents types
de structure.

1,2,3,4,5 : Types structuraux

| | σ_r | | | |
|------|------------|-------|-------|--|
| | 2 | 4 | 5 | |
| 1,3 | | | | |
| 24,0 | 46,0 | 67,0 | 60,90 | |
| 15,9 | 49,8 | 75,1 | 55,73 | |
| 36,6 | 46,6 | 69,77 | 46,90 | |
| 17,2 | 33,2 | 91,45 | 42,98 | |
| 31,1 | 35,8 | 40,43 | 54,20 | |
| 36,6 | 52,2 | 70,40 | 56,10 | |
| 46,3 | 50,40 | 75,40 | 48,20 | |
| 34,3 | 48,70 | 76,40 | 49,30 | |
| 32,7 | 46,20 | 68,50 | 50,10 | |
| 28,2 | 47,4 | 66,40 | 47,10 | |
| 27,3 | 45,3 | 58,40 | 53,20 | |
| 29,2 | 39,7 | 74,30 | 58,40 | |
| 25,4 | 51,2 | 73,10 | 59,30 | |
| 26,8 | 44,3 | 75,30 | 57,40 | |
| 38,2 | 45,7 | 74,20 | 58,10 | |
| 31,2 | 45,4 | 65,80 | 52,80 | |

al.
oyenne



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Tableau 10

Résistance à la compression simple $\bar{\sigma}_c$ (bar)
du calcaire cryptocristallin en fonction de
la vitesse de mise en charge $\dot{\sigma}$ (bar/mn)
(type de structure 2)

| $\dot{\sigma} = 100$ | $\bar{\sigma}_c$ | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | $\dot{\sigma} = 1000$ | $\dot{\sigma} = 10000$ |
| 542,50 | 685,00 | 790,0 |
| 625,00 | 707,50 | 810,0 |
| 657,50 | 722,50 | 890,0 |
| 700,00 | 725,00 | 860,0 |
| 707,00 | 730,00 | 860,0 |
| 720,00 | 752,50 | 830,0 |
| 720,00 | 782,50 | 840,0 |
| 722,50 | 817,50 | 850,0 |
| 855,00 | 867,50 | 862,0 |
| | 990,00 | 832,0 |
| $\bar{\sigma}_c = 694,4$ | $\bar{\sigma}_c = 758,0$ | $\bar{\sigma}_c = 840,0$ |

Tableau 11

Résistance à la compression simple $\bar{\sigma}_c$ (bar)
du calcaire cryptocristallin en fonction de la
vitesse de mise en charge $\dot{\sigma}$ (bar/mn)
(type de structure 5)

$\bar{\sigma}_c$

$\dot{\sigma} = 100$

$\dot{\sigma} = 1000$

$\dot{\sigma} = 10000$

792,50

920,00

980,00

901,00

922,50

995,40

902,50

942,50

1040,00

920,00

942,50

1098,40

925,00

957,50

1087,70

932,50

1017,50

1140,00

975,00

1075,00

1164,20

1027,00

1127,50

1090,50

1032,50

1137,50

1086,50

$\bar{\sigma}_c = 934,28$

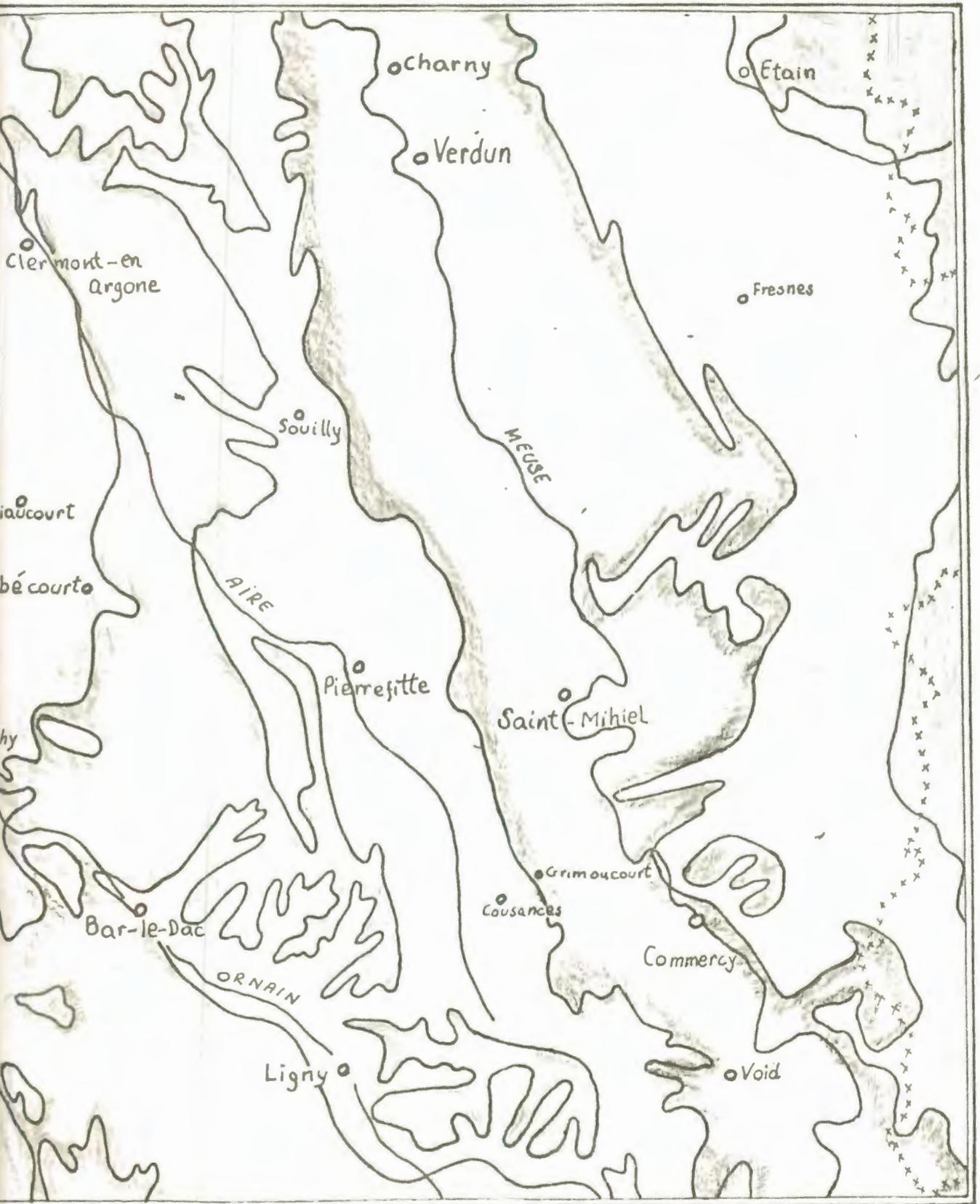
$\bar{\sigma}_c = 1004,72$

$\bar{\sigma}_c = 1080,00$



**BIBLIOTECA FICT
 ESPOL**

CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DE REGION (Verdun -
Echelle 1:320.000 -Commercy)



LEGENDE

| | | | |
|--|-------------------------|---|---------------------------------|
|  | Crétacé |  | Rauracien - Séquanien inférieur |
|  | Portlandien |  | Callovien - Oxfordien |
|  | Séquanien - Kimmerigien |  | Bathonien - Bajocien |

REPARTITION STRATIGRAPHIQUE
DES UNITES LITHOLOGIQUES

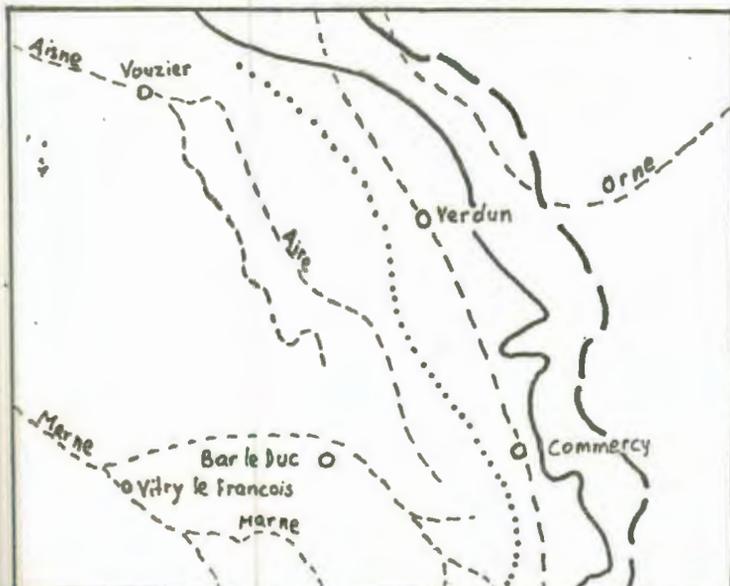
(Region Commercy et Verdun)

| | | | | |
|------------------------------|--|-----------|--|--|
| Echelle: Colloque 1962 | Echelle regional d'après la carte de la France | | Commercy | Verdun |
| KIMMERIDGIEN | KIMMERIDGIEN | | Marne supérieure Calcaire blanc supérieur Marne bleue moyenne Calcaire inférieur Marne inférieure à Ex. calcaire rocailloux Dolomie glauconieuse | Calcaire Marne à Exogyres Calcaire rocailloux Zone à glauconie |
| | | | Calcaire oolithique graveleux | Calcaire à Astarte Argilo-calcaire calcaire construit et Dol. Argiles à huîtres |
| OXFORDIEN | LUSITANIEN | SEQUANIEN | surface d'érosion | surface taraudée |
| | | RAURACIEN | Calcaire sublitho... Calcaire sublitho. et oolithique | calcaire litho. marneux et marno sableux Calcaire Oolith. et lithographe Calcaire marneux sableux à trigones Calcaires coralligènes/ferreux et coquilliers à Entroques |
| | | ARGOVIEN | Calc. coralligère et Oolithique à lits marnocalcaire Calcaire à Entroques | Calcaire coralligènes ferreux et coquilliers Calcaire à Entroques |
| | OXFORDIEN | | - Oolithe ferrugineuse - Marno-calc. ferreux - Calc. d'Ornes - Marne blanche sableuse - Oolithe ferrugineuse | |
| CALLOVIEN | CALLOVIEN | | Argile de la Woèvre | |



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

PLAN DE POSITION



Echelle



LEGENDE

- Base kimmeridgien inférieur
- Base Argovien
- - - - - Base Callovien

COUPE GEOLOGIQUE

Haudainville (Four à chaux)

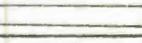
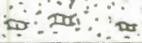
Echelle 1:500

| Echelle | Intervalle en m. | | Epaisseur m. | Lithologie | Breve description lithologique des formations |
|---------|------------------|------|--------------|--|--|
| | de | à | | | |
| 5.0 | 0.00 | 6.00 | 6.00 | △ △ △ △ △ △ | Calcaire beige à grains jointifs heterométriques à niveaux bréchiques et à ciment microcristallin. |
| | 6.00 | 7.50 | 1.50 | ••••• | Calcaire construit à polypiers lenticulaire. |
| 25.0 | | | | • • • • • • | Calcaire blanc à grains jointifs ou non jointifs et à ciment cryptocristallin. |
| | 7.50 | 40.0 | 32.50 | | |
| 50.0 | | | | ▬ ▬ ▬ ▬ ▬ ▬ ▬ ▬ ▬ | Calcaire beige clair cryptocristallin à structure laminaire plane millimétrique |
| | 40.0 | 50.0 | 10.0 | | |
| 55.0 | 50.0 | 53.0 | 3.0 | Y. Y. Y. | Zone construite à polypiers lenticulaires, rameux et laminaires. |
| | 53.0 | 55.0 | 2.0 | • • • | Calcaire blanc tendre granulaire, bioclastique. |

COUPE GEOLOGIQUE

DUGNY (Four à chaux)

Echelle 1:500

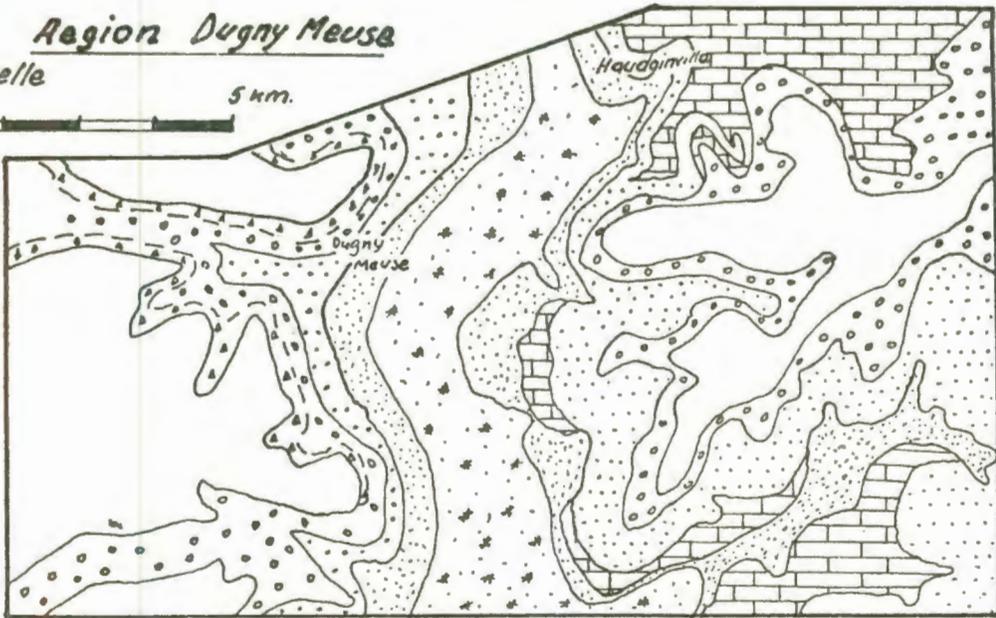
| Echelle | Intervalle en m. | | Epaisseur m. | Lithologie | Breve description lithologique des formations |
|---------|------------------|------|--------------|---|---|
| | de | à | | | |
| 6.0 | | | |  | Argile plastiques bleues à petits pelecypodes très abondant à la base. |
| | 1.0 | 12.0 | 11.0 |  | Calcaire beige à grains jointifs hétérométriques à niveaux bréchiques et à ciment cryptocristallin. |
| 25.0 | | | |  | Calcaire beige blanc cryptocristallin à grains jointif ou non jointifs, à structure laminaire plane millimétrique et à ciment cryptocristallin crayeux. |
| | 12.0 | 37.0 | 25.0 |  | |
| 50.0 | | | |  | Calcaire blanc à ciment cryptocristallin. |
| | 37.0 | 47.0 | 10.0 |  | |
| 50.0 | | | |  | Calcaire beige clair cryptocristallin à structure laminaire plane millimétrique. |
| | 47.0 | 56.0 | 9.0 |  | |
| 62.0 | | | |  | Zone construite à Polypiers lenticulaires, rameux et laminaires. |
| | 56.0 | 62.0 | 6.0 |  | |
| | | | |  | Calcaire beige-brun bioclastique crinoïdique. |

RELATIONS STRUCTURALES ENTRE LES DIFFERENTES UNITES
SEDIMENTAIRES

Region Dugny Meuse

Echelle

5 km.



Region Commercy

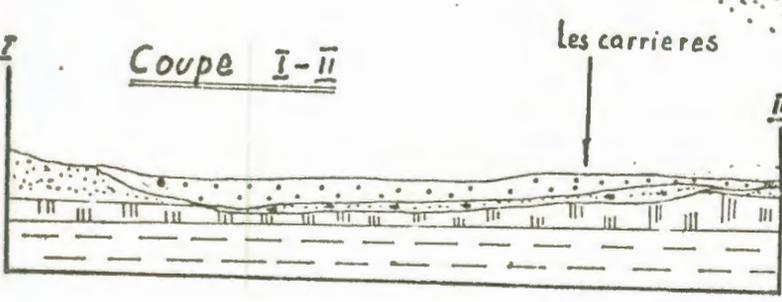
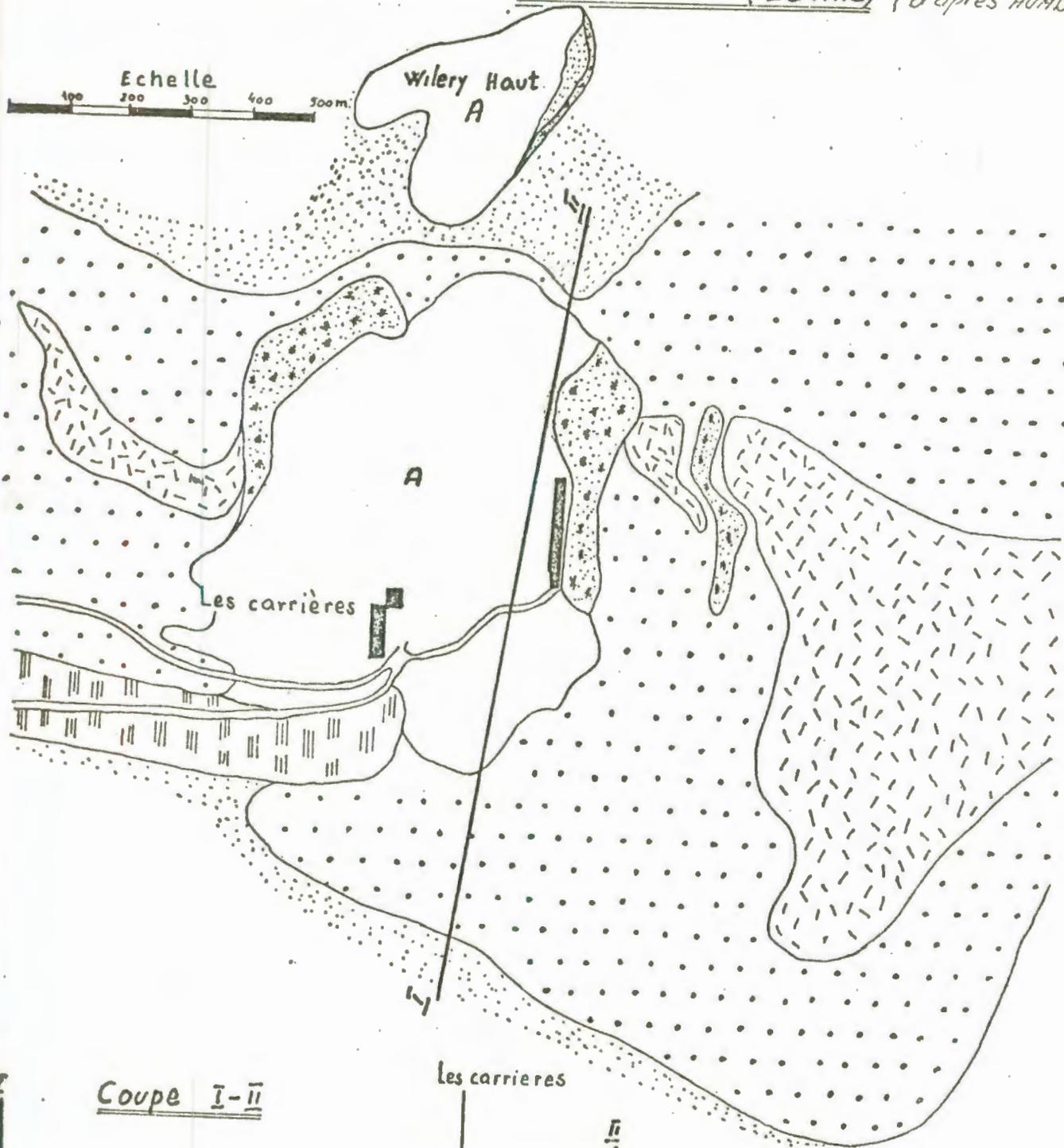


BIBLIOTECA FICT
ESPOL

LEGENDE

-  Calcaire superieurs indifferencies granulaires et bioclastiques
-  Calcaire granulaire à niveaux brechiques et à ciment cryptocristallin et microcristallin (Type Dugny)
-  Calcaire beige-clair granulaire bioclastique et à ciment cryptocristallin crayeux.
-  Calcaire blanc granulaire très hétérométriques bioclastique (Rudistes et gasteropodes fréquents) et à ciment crypt. crayeux.
-  Calcaire beige cryptocristallin
-  Calcaire blanc cryptocristallin crayeux.
-  Zone construite superieure à Polypiers divers lenticulaires massifs en boule, lamellaires et rameux
-  Calcaire beige brun bioclastique crinoïdique.
-  Zone construite inferieure à polypiers amellaires et lenticulaires
-  Alternance de bancs métriques de calcaire bioclastique argilo-sableux et d'argile-calcaire

Relations structurales entre les différentes unités
sédimentaires (Euville) (d'après HUMB)

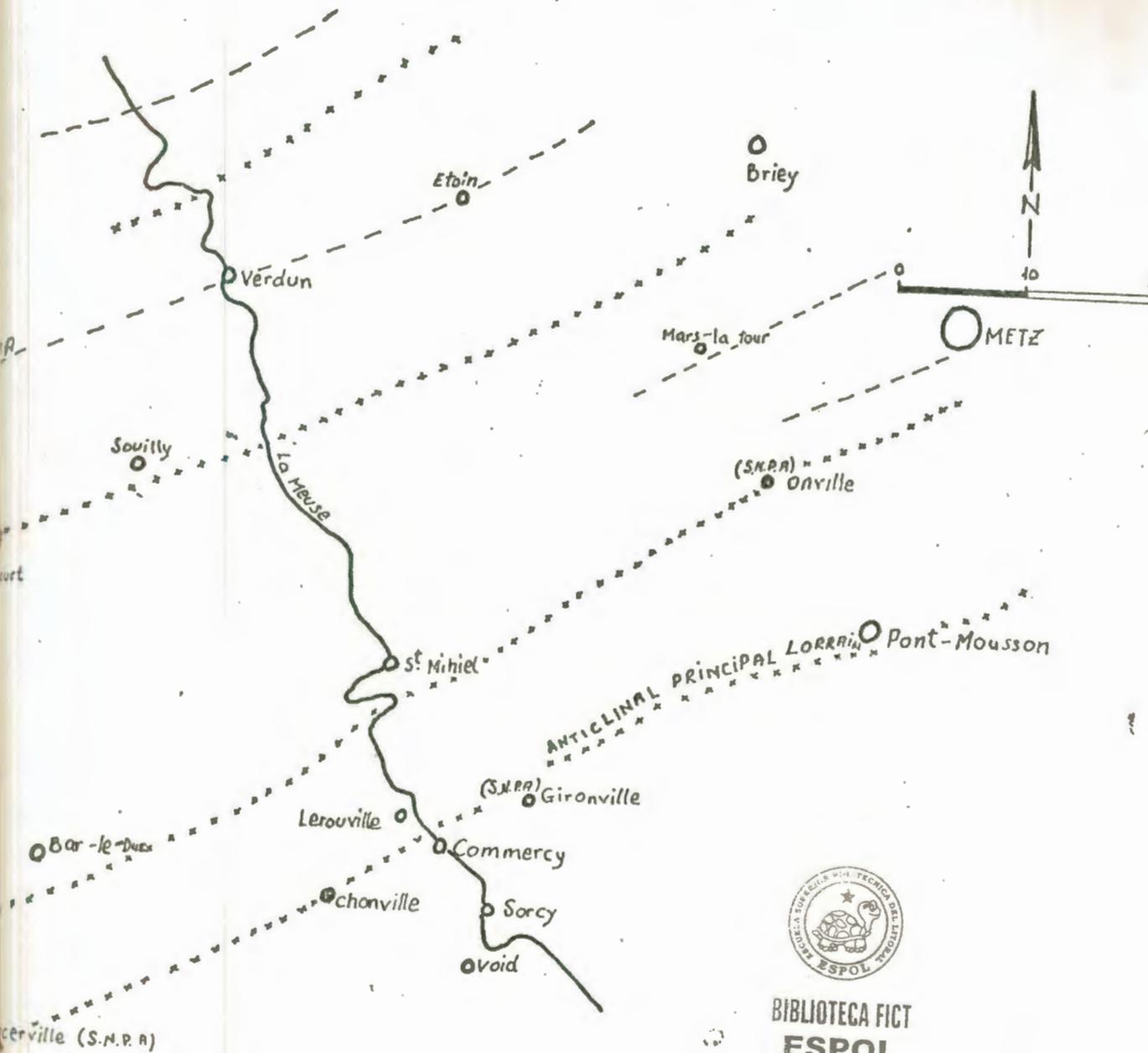


LEGENDE

- A** Déblais d'exploitation
-  Calcaire blanc tendre granulaire, bioclastique et à ciment cryptocristallin.
-  Calcaire blanc cryptocristallin crayeux.
-  Zone construite supérieure. Polypiers lenticulaires et rameux dominants - Liant = calcaire beige bioclastique à ciment cryptocristallin crayeux.
-  Calcaire beige brun, ... lastique crinoïdique.
-  Alternance de ...

CARTE DETAILEE DES PLIS DE LA LORRAINE

(d'après LAUGIER)



LEGENDE

- Axes à allure anticlinale
- - - Axes à allure synclinale
- ⊕ Sondages pétroliers

STRUCTURE DES CALCAIRES CRYPTOCRISTALLINS Type 1

(Grains individualisés très abondants et agrégats de grains fréquents)

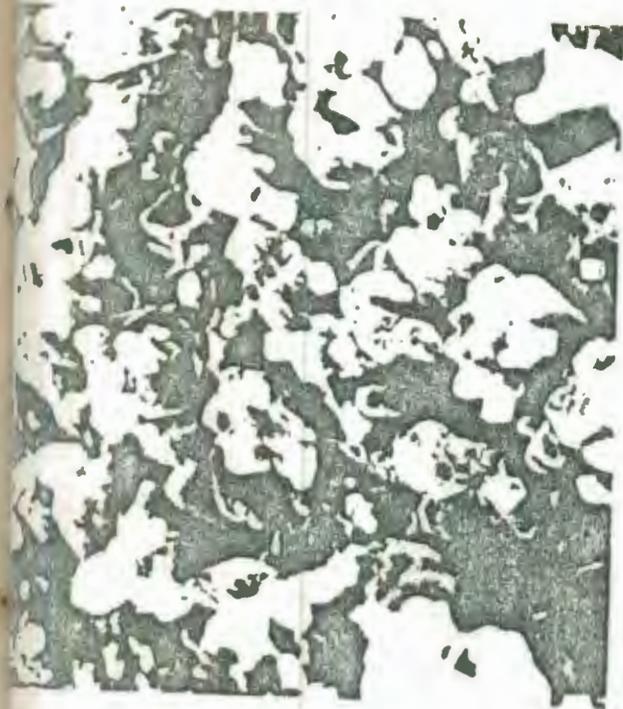


Photo 1 - x 4500
(carrière Fèvre)



Photo 2 - x 9000
(carrière Fèvre)

STRUCTURE DES CALCAIRES CRYPTOCRISTALLINS Type 2

(Grains ou agrégats à formes cristallines souvent très nettes)



Photo 3 - x 2000
(four à chaux)



Photo 4 - x 5000
Dugny (four à chaux)

STRUCTURE DES CALCAIRES CRYPTOCRISTALLINS Type 3

(Grains et grands agrégats à structure lâche, grains à formes cristallines très nettes, englobant les autres éléments)



Photo 5 - x 2000
(carrière Euville)



Photo 6 - x 5000
(carrière Euville)



BIBLIOTECA FICT



Photo 7 - x 5000
(carrière Euville)



Photo 8 - x 11000
(carrière Euville)

STRUCTURE DES CALCAIRES CRYPTOCRISTALLINS Type 4

(Les grains et agrégats sont à structure compacte et à formes très arrondies)

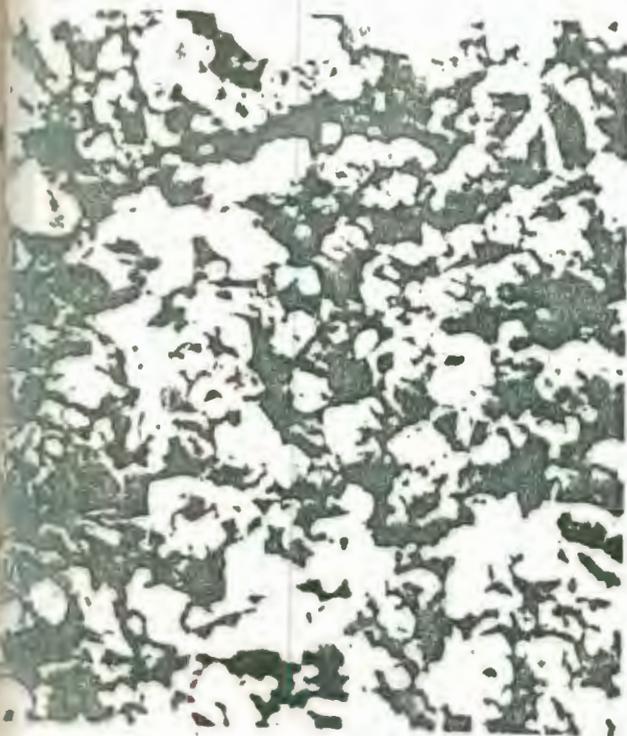


Photo 9 - x 2400
(Carrière de Courcourt-Sur-Meuse)



Photo 10 - x 5700
(carrière Filémont)



Photo 11 - x 11500
(carrière Filémont)

STRUCTURE DES CALCAIRES CRYPTOCRISTALLINS Type 5
(Grains ou agrégats de grains à forme plus ou moins lamellaire)

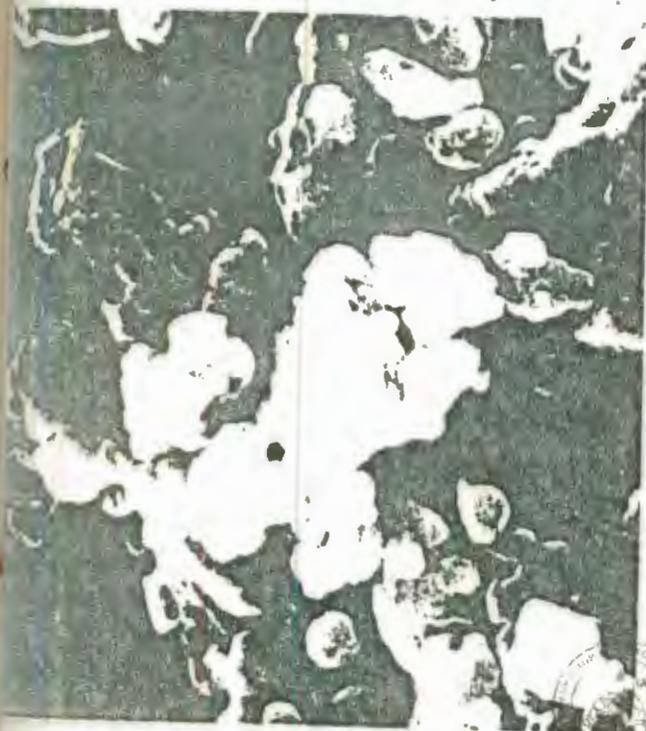


Photo 12 - x 6000
(carrière Hattonchâtel)



Photo 13 - x 12000
(carrière Hattonchâtel)

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Photo 14 - x 2400
(carrière Hattonchâtel)



Photo 15 - x 8000
(carrière Hattonchâtel)

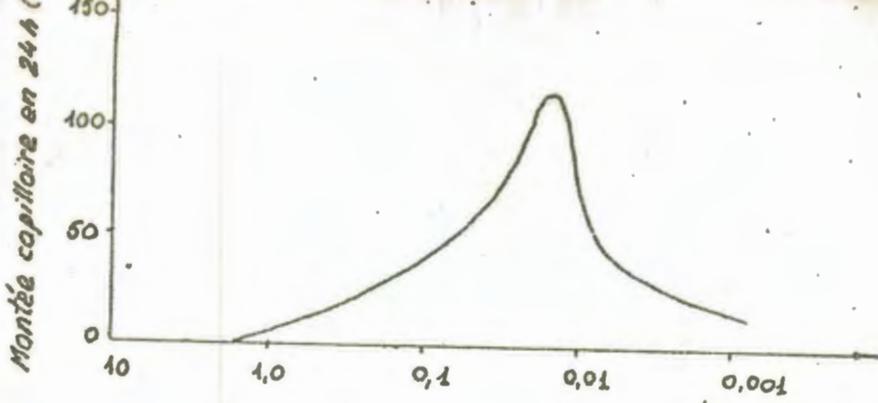


Fig. 2 Hauteur d'ascension capillaire et diamètre des grains.

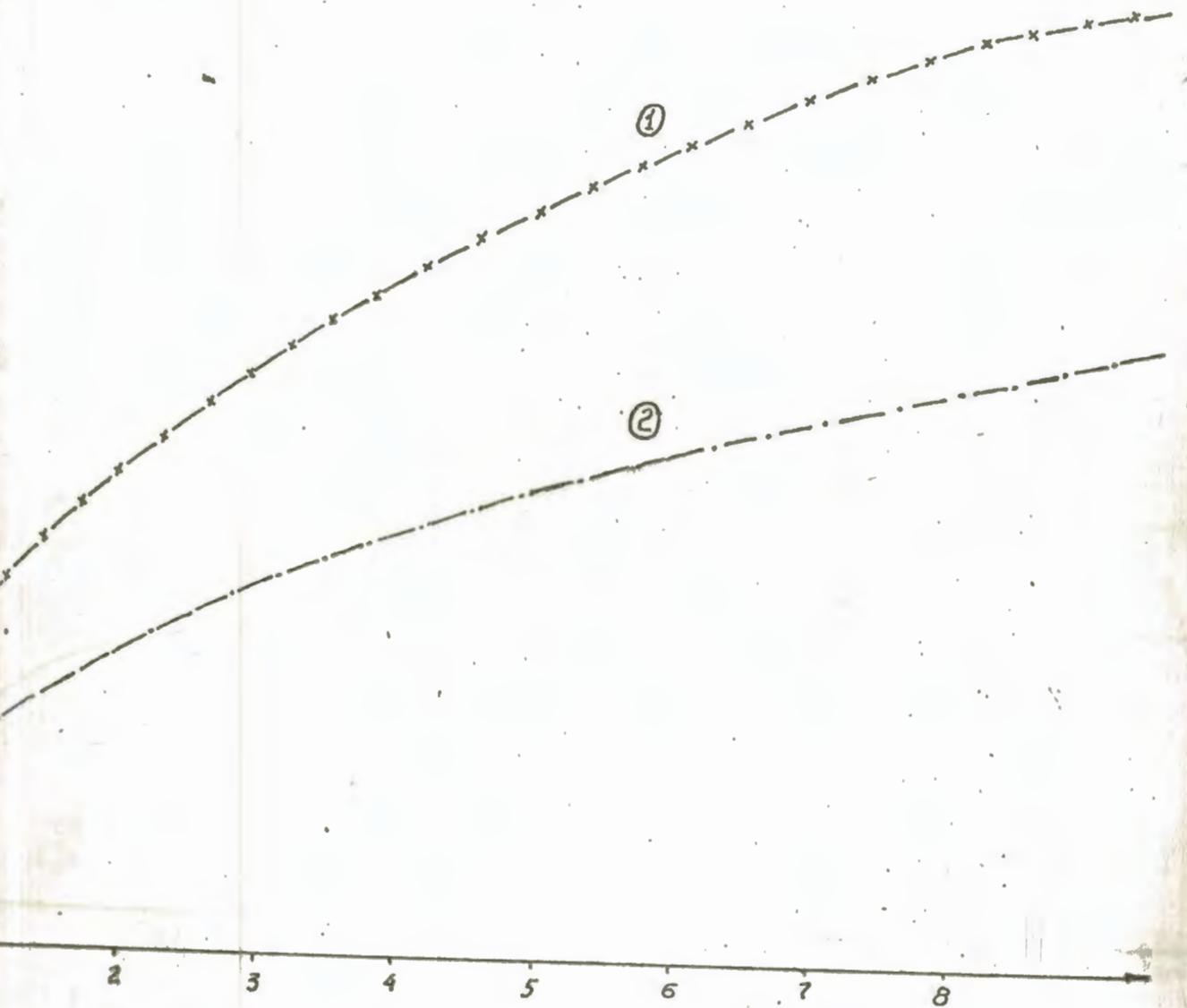


Fig. 1 Courbe de la remontée capillaire pour les différents types de structure.

- 1- Type de structure 1
- 2- Type de structure 5

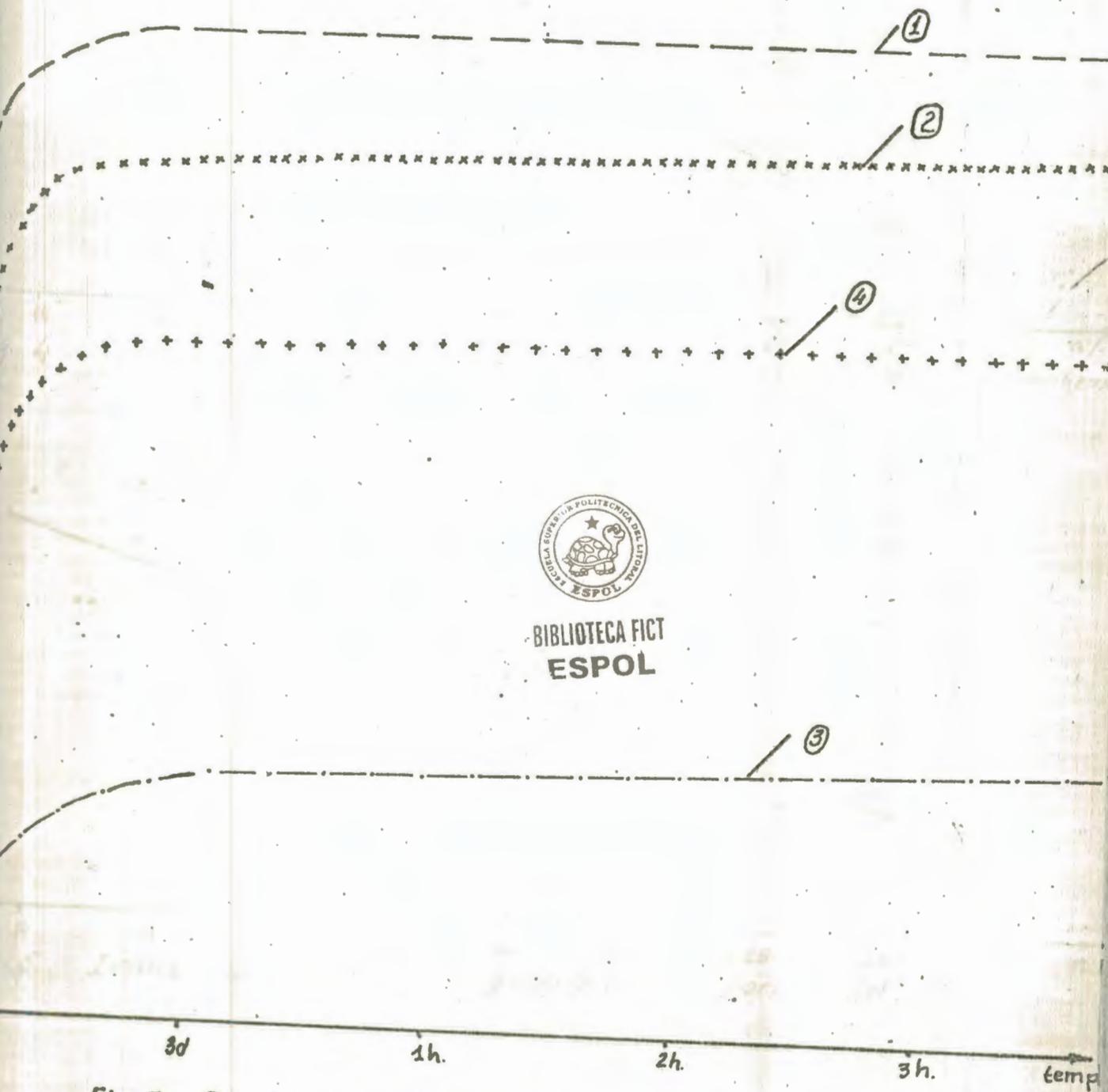


Fig. 3. Courbe de variation du coefficient d'absorption en fonction du temps pour les différents types de structure :

1. Type de structure 1
2. Type de structure 2
3. Type de structure 4
4. Type de structure 5

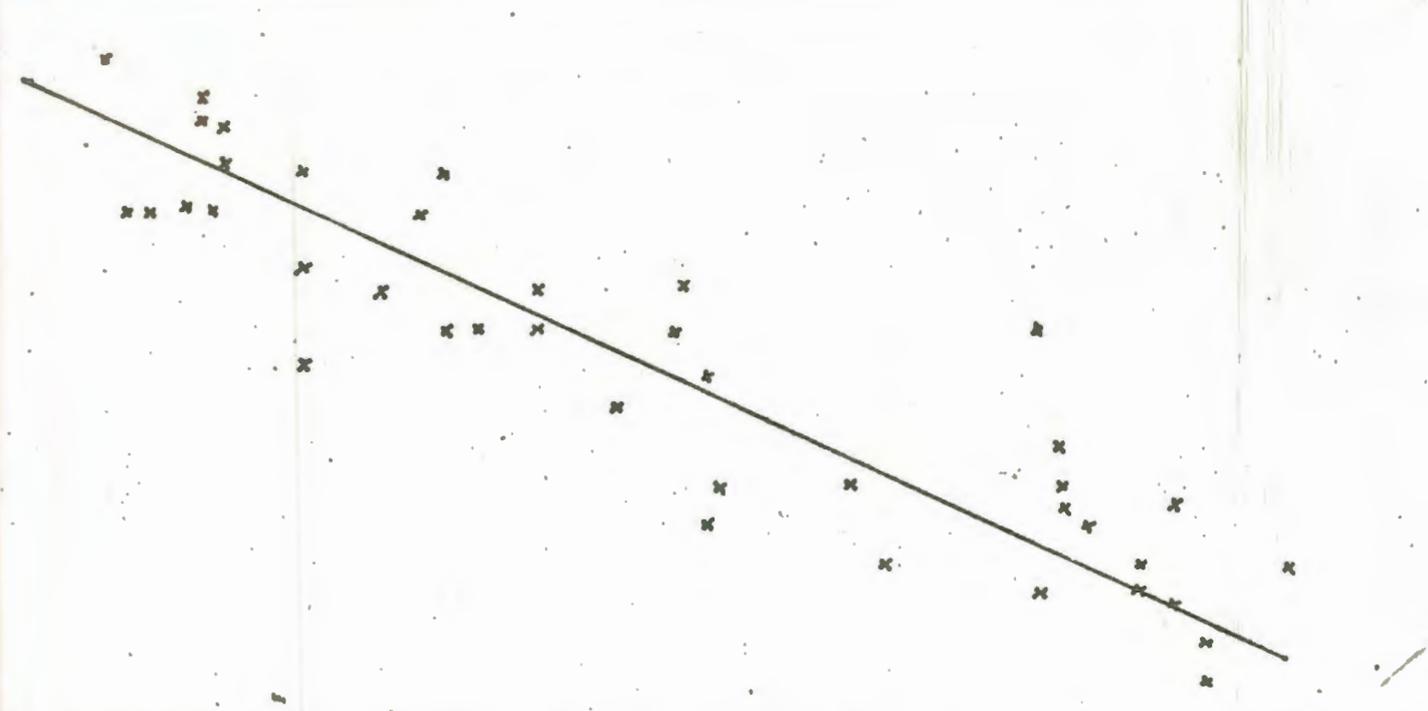


Fig. 4 Relation entre la porosité (n%) et la célérité des ondes dans des milieux poreux et des milieux fissurés

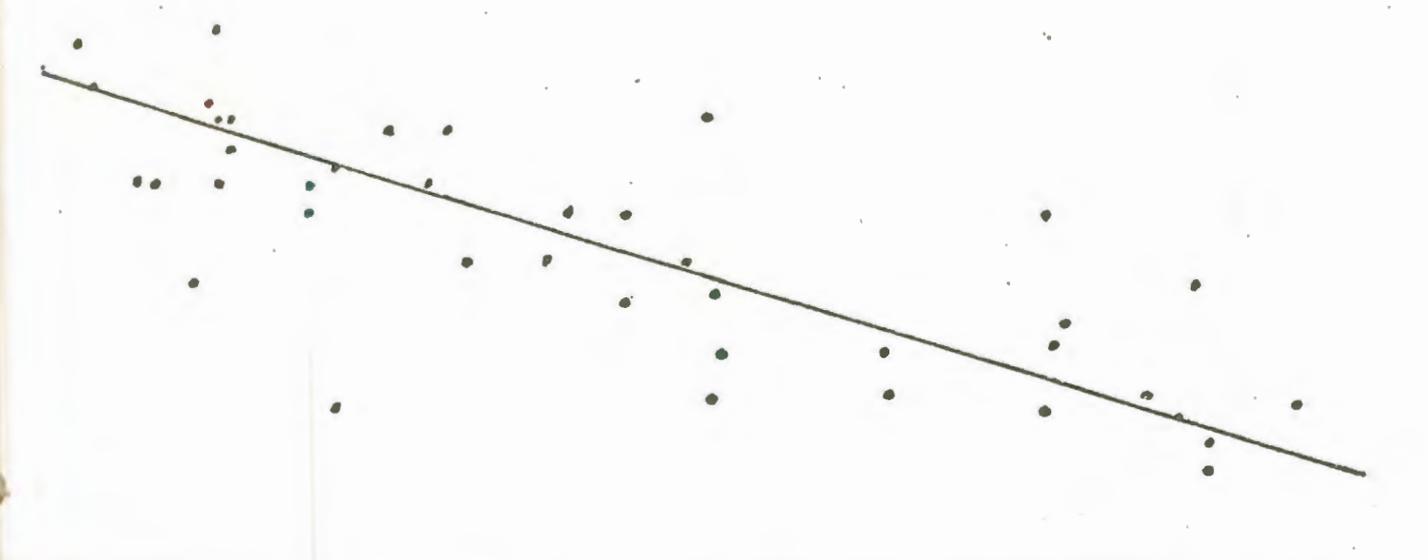


Fig. 5. Indice de qualité I_q en fonction de la porosité (n%).

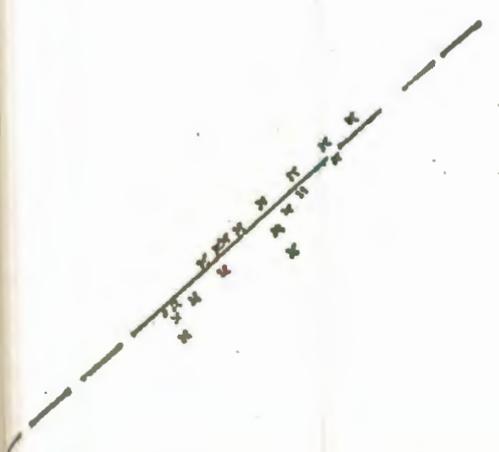
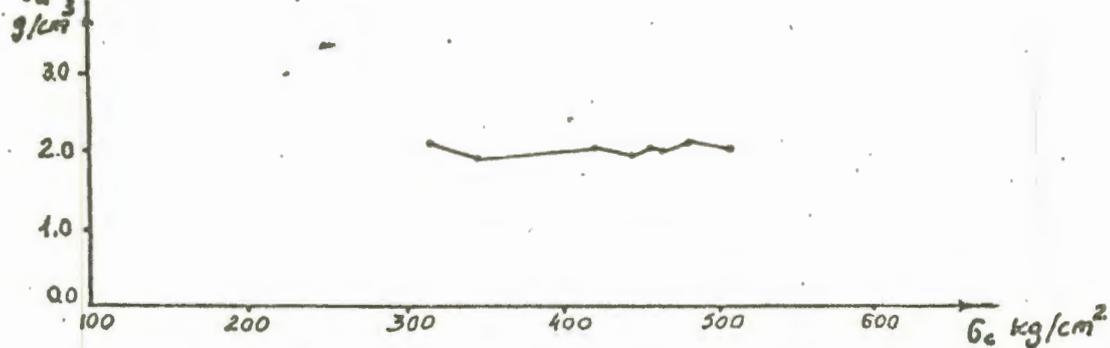
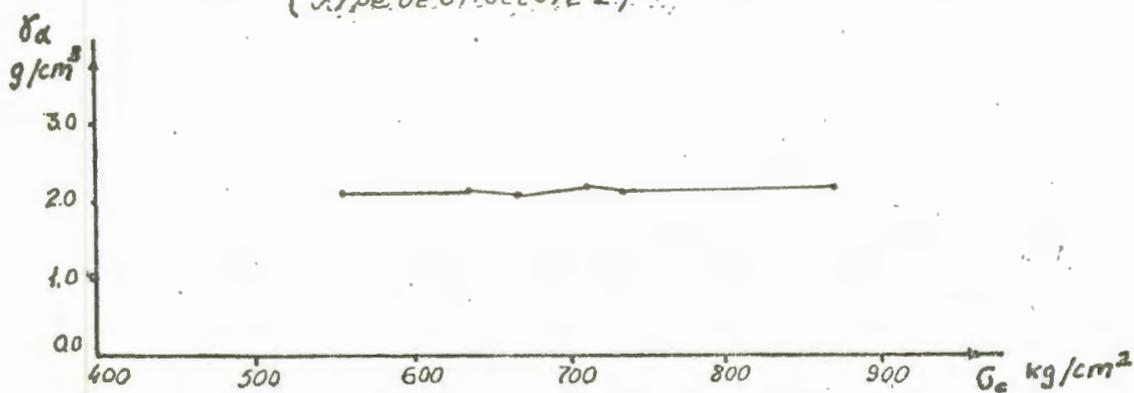


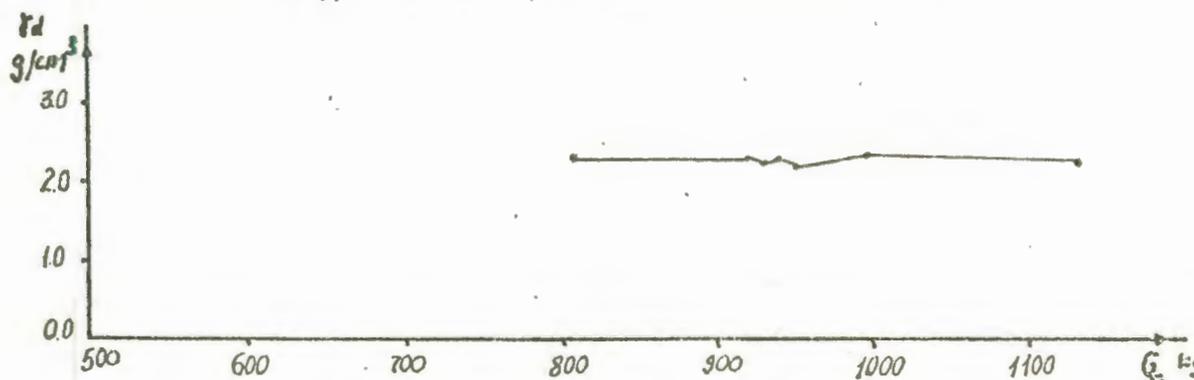
Fig. 6. Indice de qualité à l'état sec I_q et saturé I_{qw} .



Résistance à la compression en fonction de la densité sèche.
(Type de structure 1.)



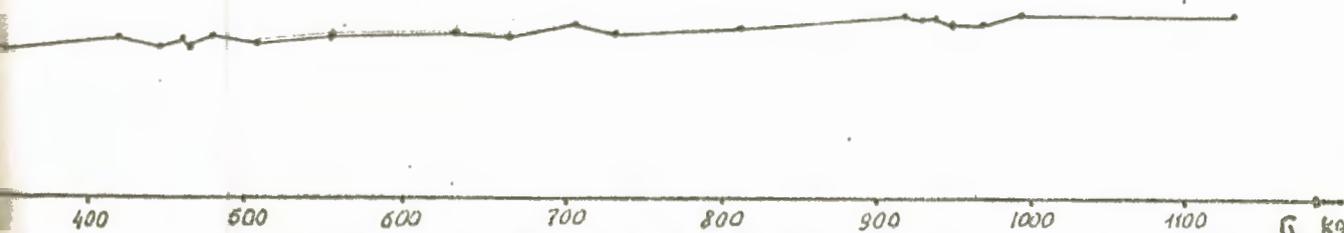
Résistance à la compression en fonction de la densité sèche.
(Type de structure 2.)



Résistance à la compression en fonction de la densité sèche.
(Type de structure 5.)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Résistance à la compression en fonction de la densité sèche du calcaire cryptocrystallin.

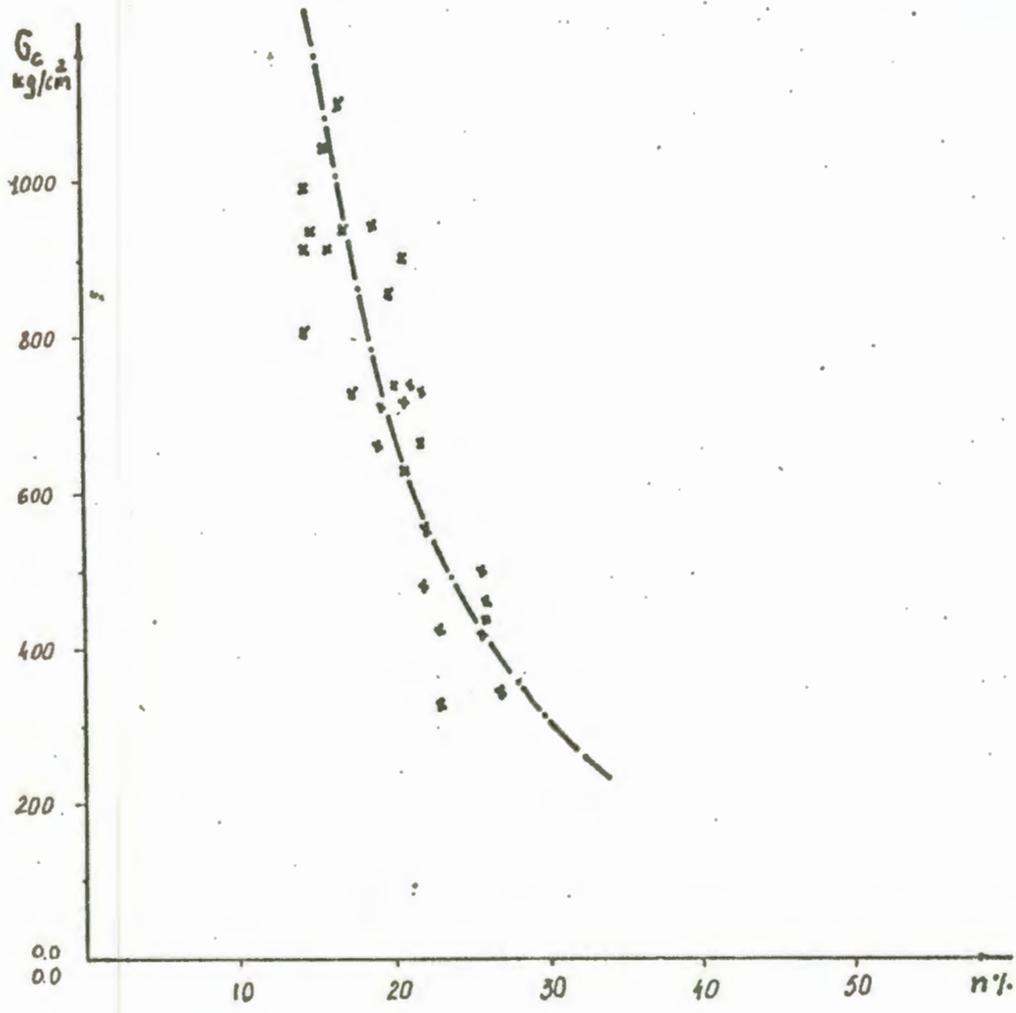


Fig.8 Courbe contrainte - porosité du calcaire cryptocristallin

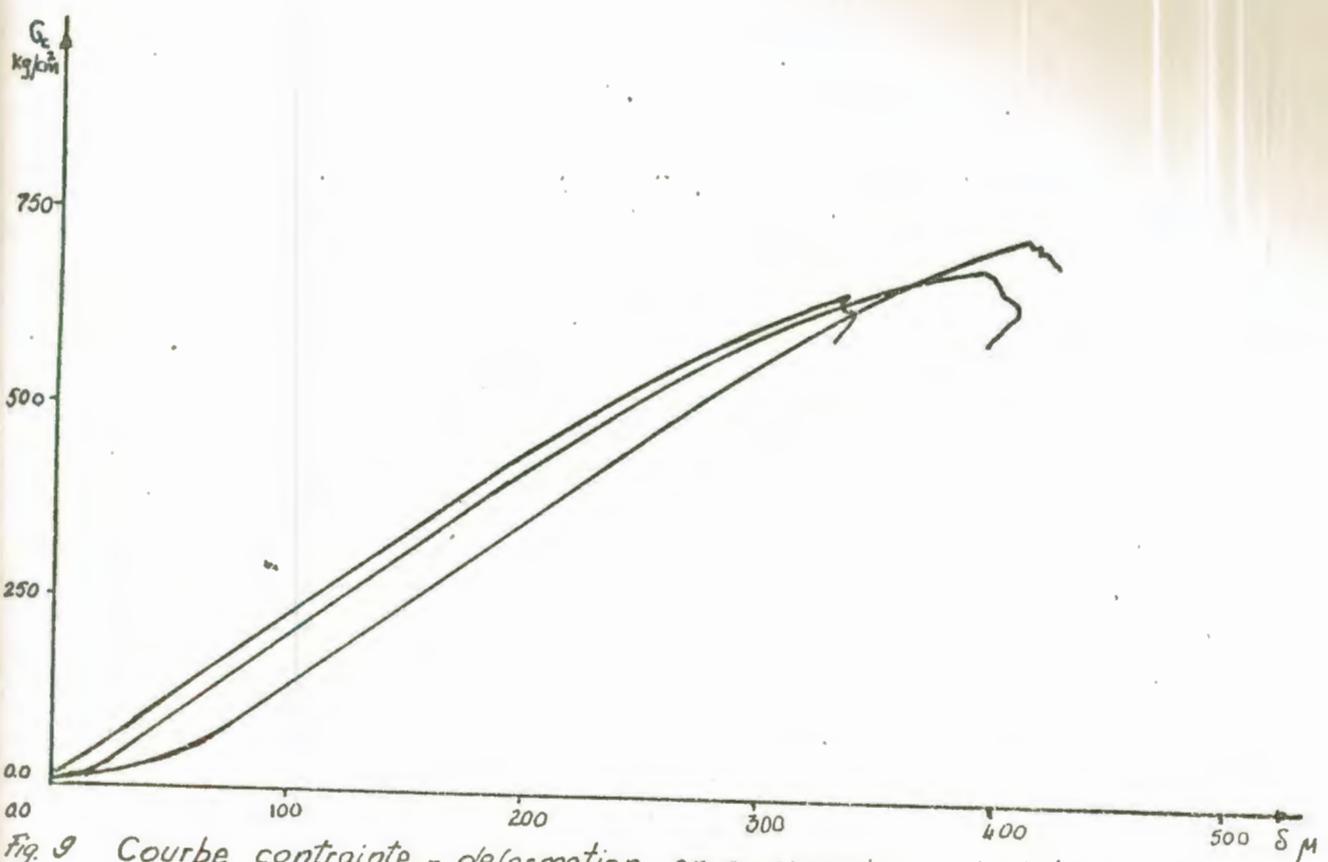


Fig. 9 Courbe contrainte - deformation en compression uniaxial ($\delta = 60 \mu/\text{mn}$) (Type de structure 2.)

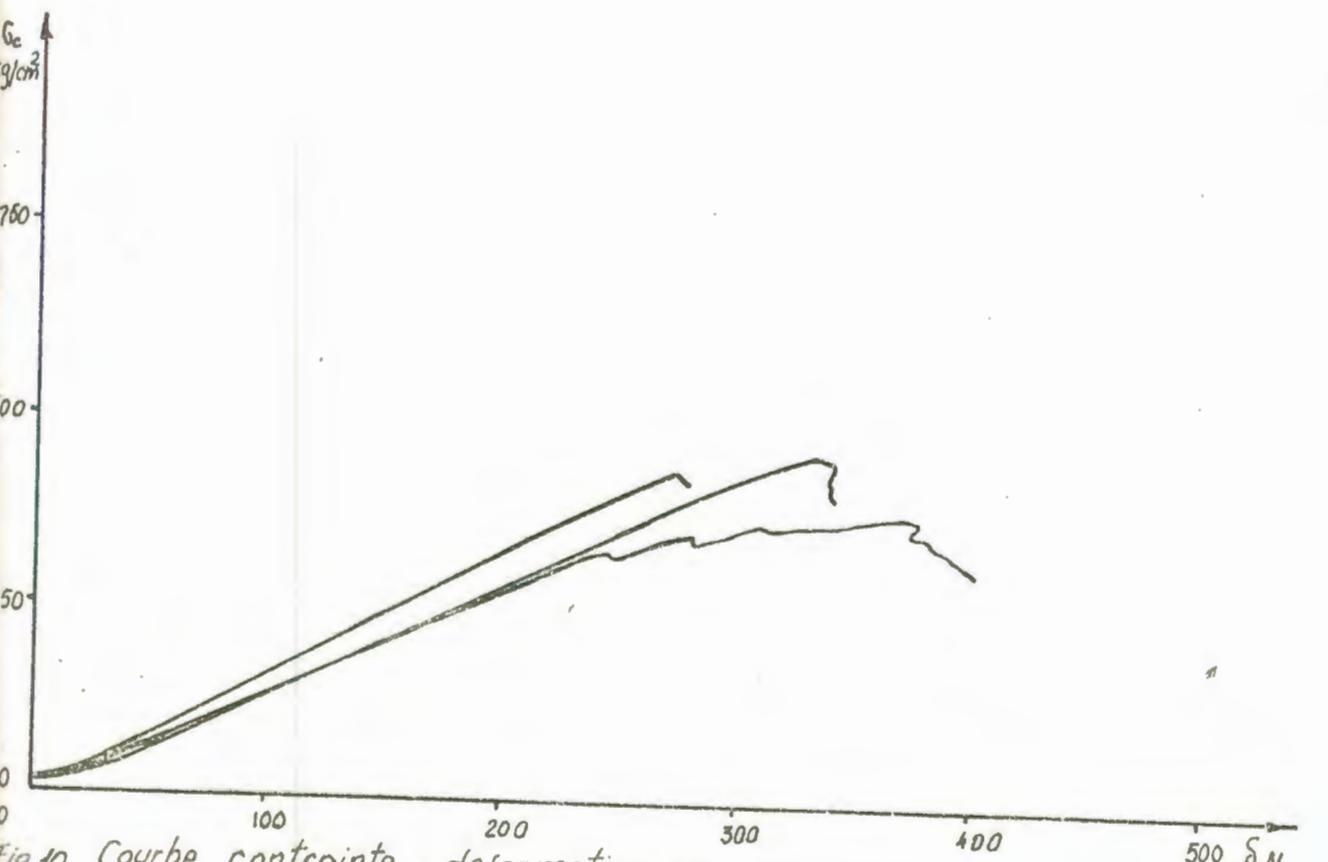
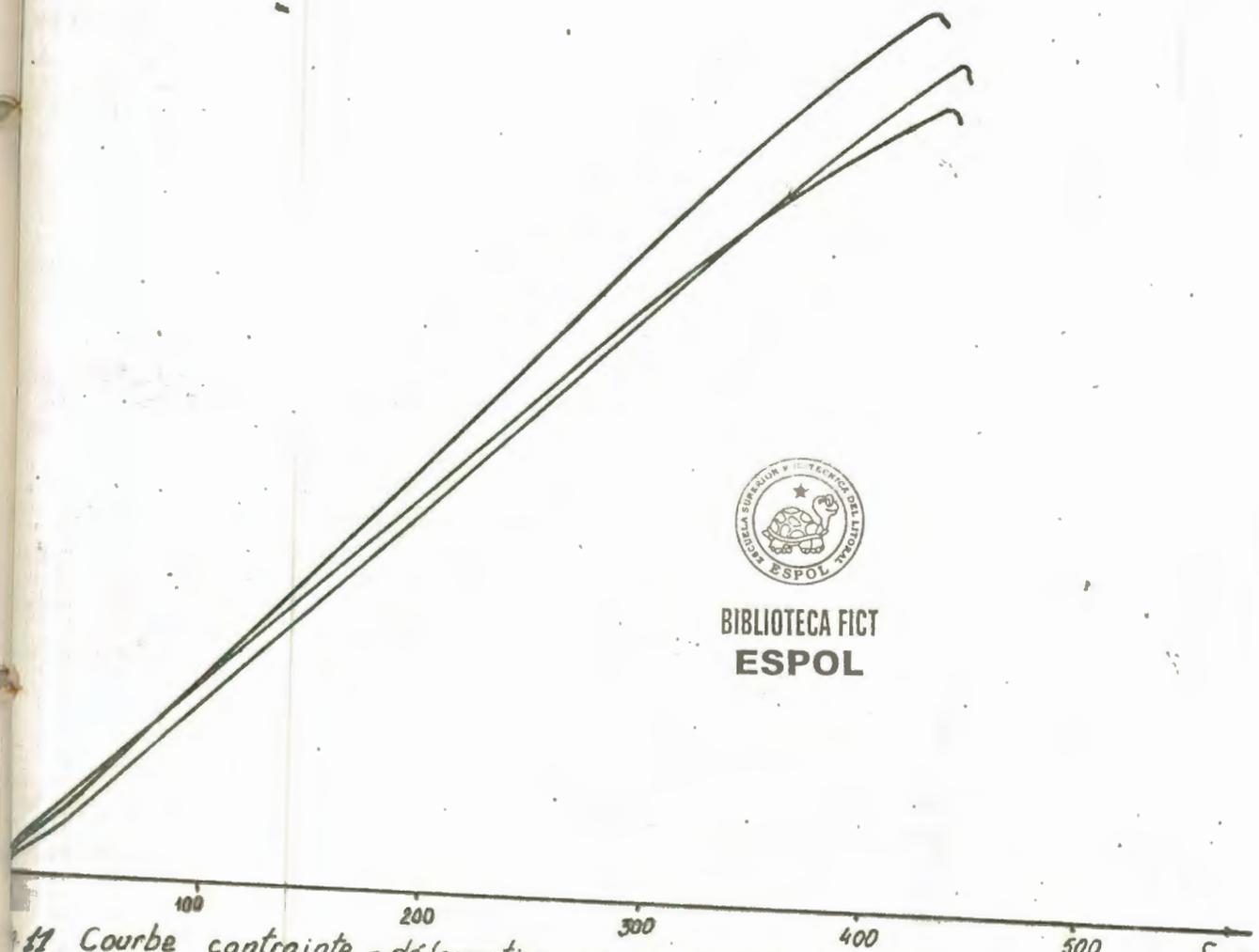
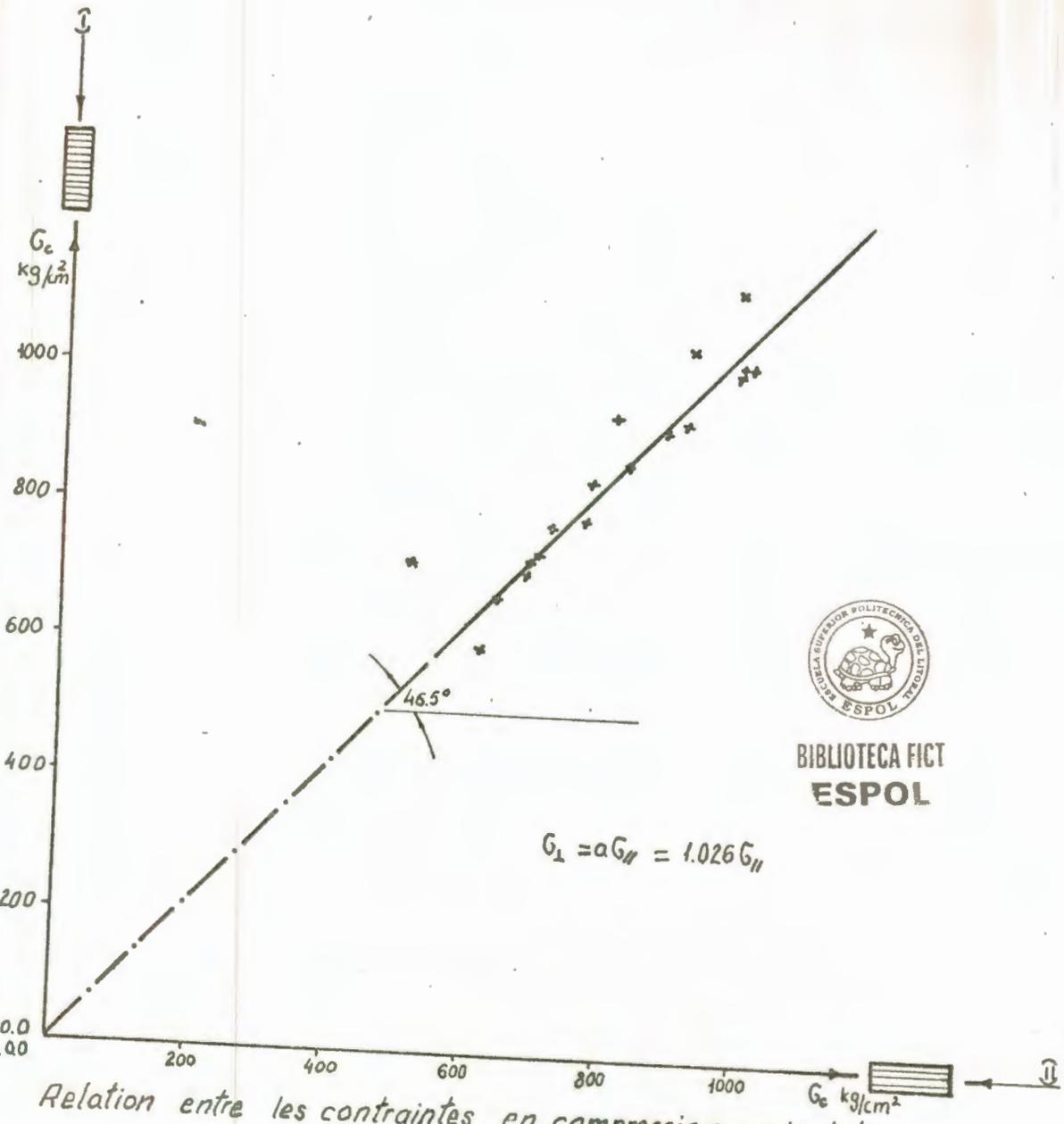


Fig. 10 Courbe contrainte - deformation en compression uniaxial ($\delta = 60 \mu/\text{mn}$) (Type de structure 1 et 3)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

87 Courbe contrainte - déformation en compression uniaxial ($\delta = 60 \mu/mn$)
 (Type de structure 5)



Relation entre les contraintes en compression uniaxial
 ⊥. Perpendiculaire en structure laminaire.
 ∥. Parallèle en structure laminaire



Photo 1. Formes de rupture. Type de structure 1, 3.

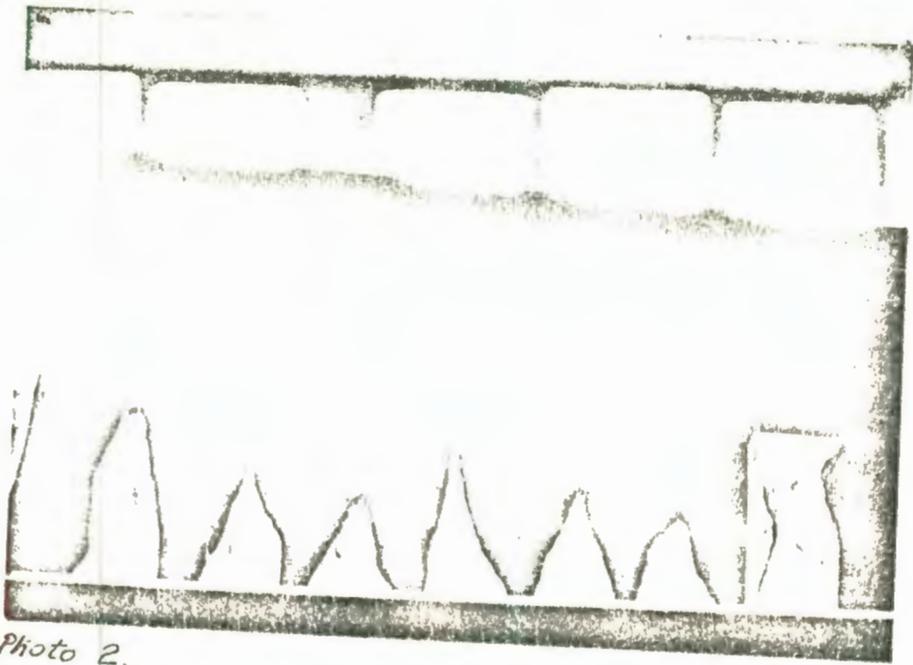
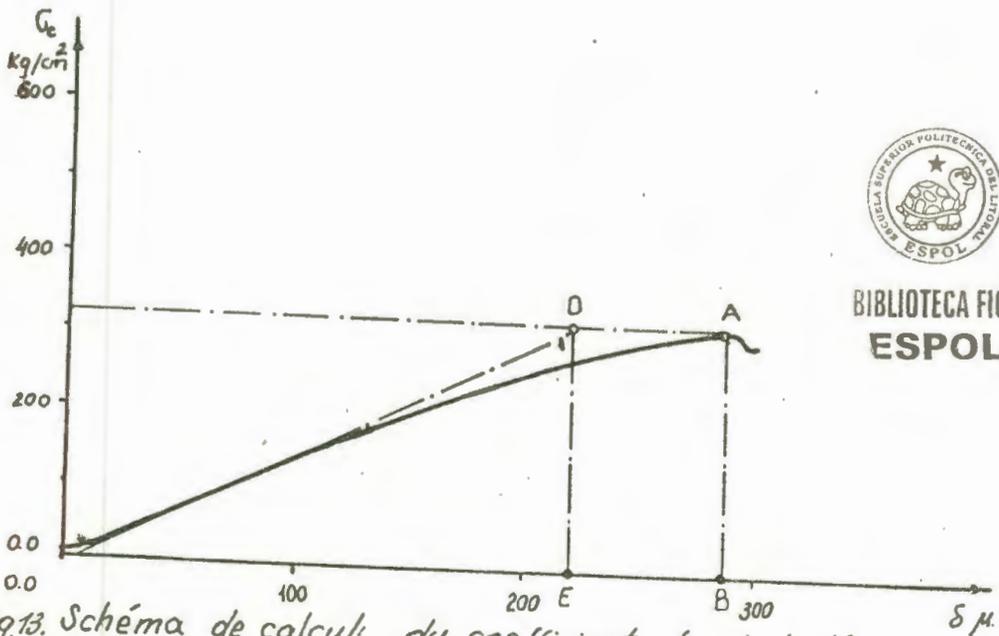


Photo 2.
Formes de rupture. Type de structure 2.



Photo 3.
Formes de rupture. Type de structure 5.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Fig. 13. Schéma de calcul du coefficient de plasticité.
(Type de structure 1.)

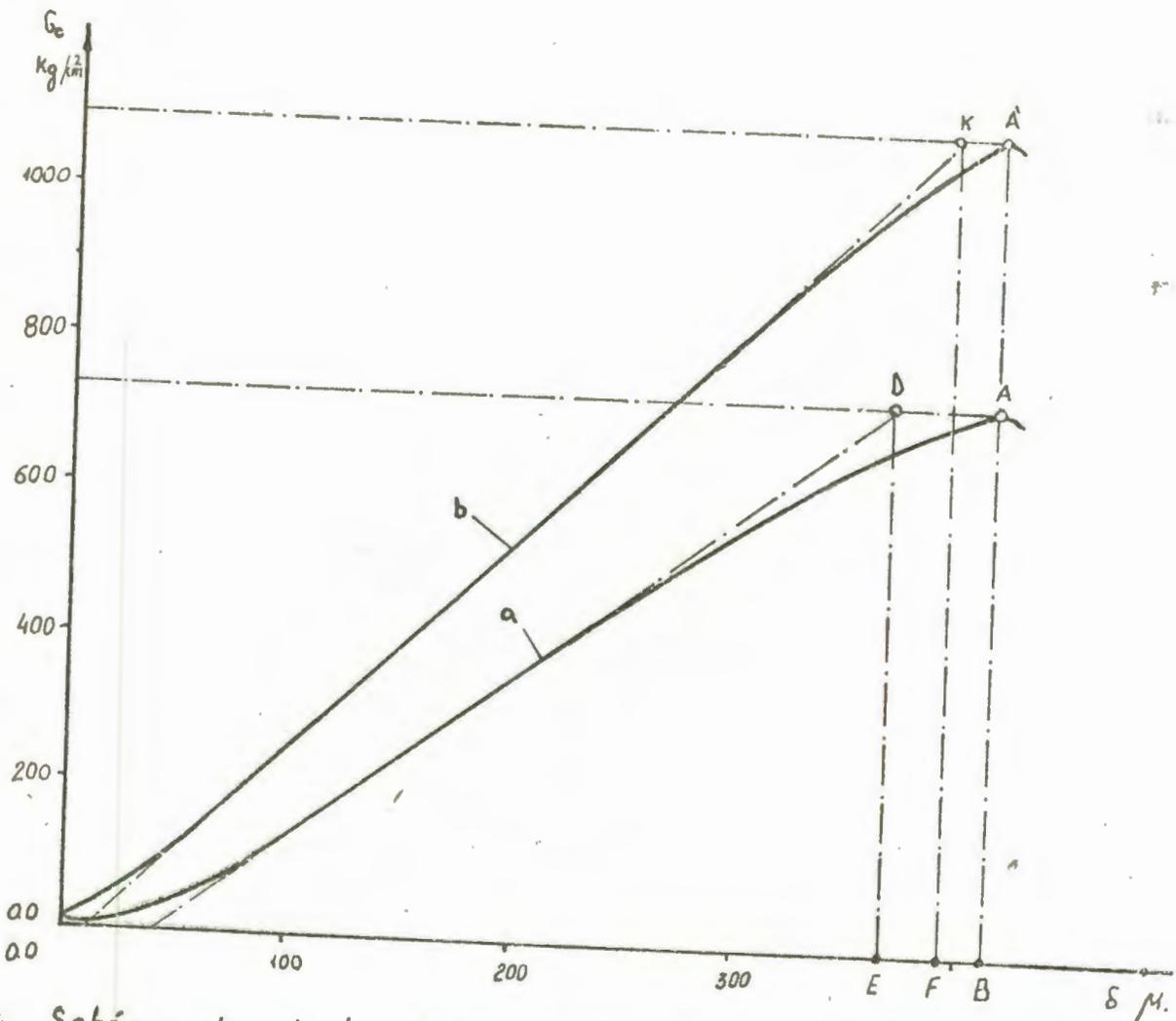
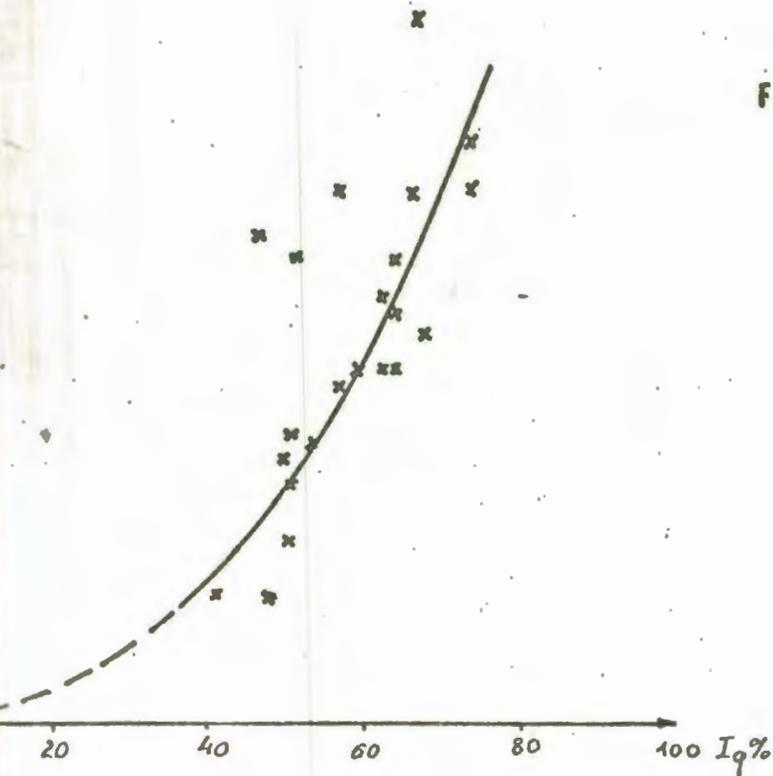
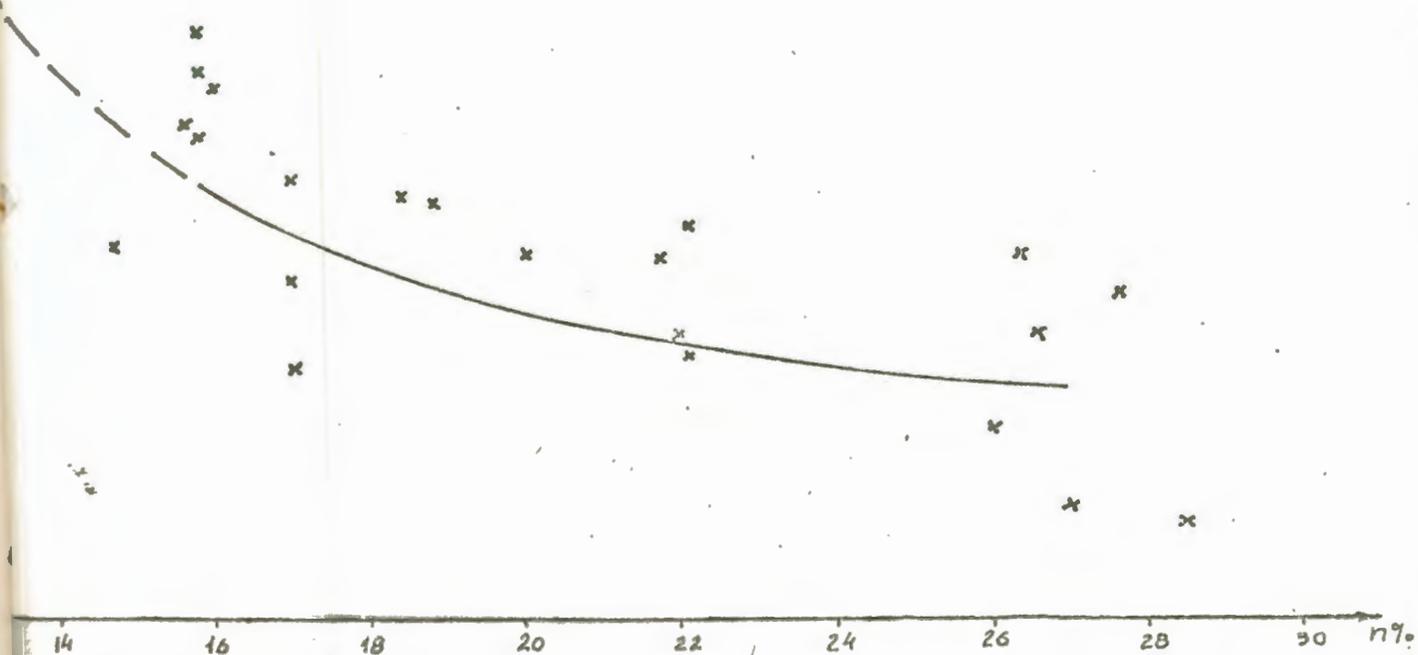


Fig. 14. Schéma de calcul du coefficient de plasticité.
a - Type de structure 2.
b - Type de structure 5

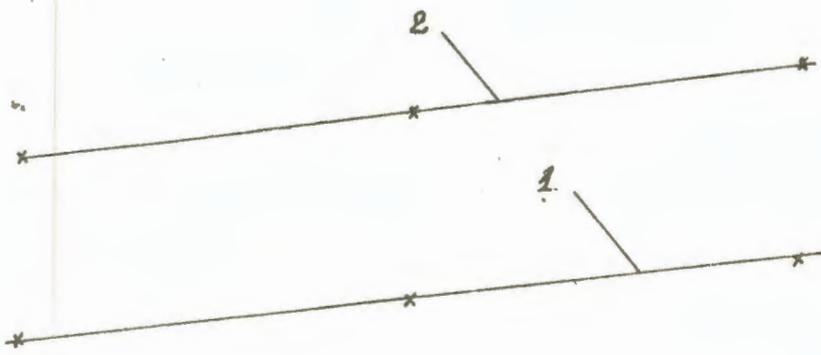
Fig. 15. Résistance à la traction (essai brésilien) en fonction de l'indice de qualité I_q



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



16. Influence de la porosité sur la résistance en traction brésilienne.



Calcaire cryptocristallin:
 1. Type de structure 2.
 2. Type de structure 5.



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

Variation de la résistance à la rupture σ_c en fonction de la vitesse de mise en charge $\dot{\sigma}$. Pour chaque $\dot{\sigma}$ d'essai, σ_c est la valeur moyenne de 3 mesures, diamètre de l'éprouvette 5cm. et longueur 10cm.

