

50376  
1963  
6

PAUL PONTEVILLE

50376  
1963  
6

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE  
GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE  
DES VALLÉES TOURBEUSES  
DE PICARDIE



Thèse de doctorat  
Faculté des Sciences de Lille

FACULTE des SCIENCES de LILLE

Doyens honoraires : M.M. H. LEFEBVRE , P. PRUVOST  
-----

Professeurs honoraires : M.M. ARNOULT , BEGHIN , BROCHARD , CAU ,  
CHAPELON , CHAUDRON , CORDONNIER , DEHEUVELS , DEHORNE ,  
DOLLE , FLEURY , P. GERMAIN , KOURGANOFF , LAMOTTE , LELONG  
Mme LELONG , M.M. MAZET , A. MICHEL , NORMANT , PARISSELLE ,  
PASCAL , PAUTHENIER , ROIG , ROSEAU , ROUBINE , WIEMANN ,  
ZAMANSKY .

Doyen : M. PARREAU , Professeur de Mathématiques

Assesseur : M. DURCHON , Professeur de Zoologie

Professeurs : M.M. BERKER , Mécanique des Fluides  
BACCHUS , Astronomie  
BONNEMAN-BEMIA , Chimie et Physico-chimie indus-  
BONTE , Géologie appliquée trielle  
BOUISSET , Physiologie animale  
Melle CHAMFY , Mathématiques  
M.M. CORSIN , Paléobotanique  
DECUYPER , Mathématiques  
DEFRETIN , Biologie maritime  
N..... Analyse supérieure et calcul des probabilités  
DEHORS , Physique industrielle  
DELATTRE , Géologie  
DELEAU , Géologie  
DESCOMBES , Calcul différentiel et intégral  
GABILLARD , Radioélectricité et Electronique  
GERMAIN , Chimie générale et chimie organique  
GLACET , Chimie  
GONTIER , Mécanique des Fluides  
HEIM de BALSAC , Zoologie  
HEUBEL , Chimie minérale  
HOOQUETTE , Botanique générale et appliquée  
KAMPE de FERIET , Mécanique des Fluides  
LEBEGUE , Botanique  
LEBRUN , Radioélectricité et électronique  
LEFEBVRE , chimie appliquée  
Melle LENOBLE , Physique  
M.M. LUCQUIN , Chimie minérale  
LURCAT , Physique  
MARION , Chimie  
Melle MARQUET , Mathématiques  
M.M. MARTINOT-LAGARDE , Mécanique des Fluides  
MAUREL , Chimie  
MENESSION , Géologie  
MONTREUIL , chimie biologique



D 030 060777 3

.../...

PEREZ , Physique  
PHAM MAU QUAN , Mécanique rationnelle et expérimentale  
POITOU , Algèbre supérieure  
ROUELLE , Professeur de Physique et Electricité industrielle  
SIVARD , Chimie générale  
SCHALLER , Zoologie  
TILLIEU , Physique  
TRIDOT , Chimie  
VIVIER , Zoologie  
WATERLOT , Géologie et Minéralogie  
WERTHEIMER , Physique

Maîtres de Conférences :

M.M. AVARGUES , détaché à l'énergie atomique  
BECART , Physique  
BOILLET , Physique  
BOURIQUET , Botanique  
CELET , Géologie  
DELHAYE , Chimie  
HENNEQUIN , Physique  
HERZ , Mathématiques  
HUARD de la MARRE , Calcul numérique  
LACOMBE , Mathématiques  
LINDER , Botanique  
MONTARIOL , Chimie  
Melle NAZE , Mathématique  
M.M. POLVECHE , Géologie  
POUZET , Mathématiques  
PROUVOST , Géologie  
SCHILTZ , Physique

Chargés d'enseignement :

Melle GOUSSELAND , Physique  
M. LIEBAERT , Radioélectricité

Secrétaire : Mme BOUCHEZ Secrétaire .

CONTRIBUTION A L'ETUDE  
GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE  
DES VALLEES TOURBEUSES  
DE PICARDIE

---

A M A F E M M E

---

TABLE DES MATIERES

---

- Table des matières
- Table des figures et graphiques
- Remerciements

---

- Introduction

1<sup>ère</sup> partie - Les méthodes

---

- CHAPITRE 1 - Le cadre géologique
    - Topographie - Hydrographie - Paysage
    - Stratigraphie régionale
  - CHAPITRE 2 - Méthodes géotechniques d'étude
    - Essais géotechniques simples
      - teneur en eau
      - densité apparente
      - limites d'ATTERBERG
      - équivalent de sable
      - compactage
      - sédimentométrie
      - pénétrömètre et indice de consistance
    - Essais géotechniques spécialisés
      - cisaillement
      - essai oedométrique
    - Essais chimiques
      - dosage des carbonates
      - dosage des matières organiques
- ./...

- Essais "in situ"

battage  
géophysique  
scissomètre

- Qualités géotechniques moyennes des sols régionaux

2<sup>ème</sup> partie - Etude de 3 vallées tourbeuses

---

- CHAPITRE 3 - Vallée de l'AVRE à ST-MARD

- Conditions générales d'étude

- Conditions particulières d'étude et implantation des sondages

- Structure générale de la Vallée

- Caractéristiques des sols rencontrés

- Méthodes géotechniques de détermination de la coupe transversale

- Conclusions particulières

- CHAPITRE 4 - Vallée de la SOMME à FEUILLERES

- Conditions particulières d'étude et implantation des sondages

- Structure générale de la vallée

- Caractéristiques des sols rencontrés

- Méthodes géotechniques de détermination de la coupe transversale

- Conclusions particulières

- CHAPITRE 5 - Vallée de la SOMME à ROUVROY
  - Conditions particulières d'étude et implantation des sondages
  - Structure partielle de la vallée
  - Caractéristiques des sols rencontrés
  - Utilisation du scissomètre
  - Conclusions particulières

3<sup>ème</sup> partie - Relations particulières entre les  
 -----  
 propriétés des sols  
 -----

- CHAPITRE 6 - Action de la tourbe sur la craie
  - Conditions opératoires
  - Conclusions
- CHAPITRE 7 - Relations entre caractéristiques physiques des sols
  - Bilan expérimental des sols de FEUILLERES
  - Démonstration graphique de l'origine des sols de FEUILLERES
  - Technique d'obtention de sols définis
  - Relation entre structure granulométrique et plasticité
  - Relations entre caractéristiques de cisaillement et autres mesures physiques
  - Relations entre équivalent de sable ou plasticité et caractéristiques de compactage
  - Conclusions

- Conclusion générale.

- *Index papier*

./...

- ANNEXES

- Annexes chapitre 3 - Indications données par le sondeur sur les terrains non compressibles
  - coupe du sondage B.1
  
- Annexes chapitre 4 - Indications du sondeur sur les terrains non compressibles
  - Coupe du sondage B.1
  - Coupe du sondage E

( Annexe sous rabat ) :

- L'AVRE
    - 2 coupes géologiques
    - 10 coupes géotechniques
  
  - la SOMME à FEUILLERES
    - 2 coupes géologiques
    - 10 coupes géotechniques
  
  - la SOMME à ROUVROY
    - 1 coupe géologique et 4 coupes géotechniques
  
  - abaque pour limite de liquidité
  
  - méthode de lecture d'un graphique oedométrique
-

TABLE DES FIGURES ET GRAPHIQUES

---

CHAPITRE I	page	I - 10	Carte géologique régionale.
CHAPITRE II		II - 6	Tourbes - relations $w - \gamma d$
		II - 10 bis	Relation de CASAGRANDE entre IP et LL
		II - 21	Représentation granulométrique triangulaire
		II - 31	{ Types de courbes expérimentale de cisaillement
		II - 32	
		II - 33	Machine de cisaillement à vitesse constante
		II - 45	Oedomètre avec perméamètre
		II - 56	Géophysique
CHAPITRE III		III - 15	Oedomètre sondage A <sub>1</sub>
		III - 22	Cisaillement vase et limon sablo argileux
		III - 24	Oedomètre sondage B 1,20
		III - 25	Oedomètre sondage A 3,10
		III - 26	Oedomètre sondage C1 4,50
		III - 27	Oedomètre sondage B 5,00
		III - 30	Sédimentométrie limon lourd vasard
		III - 31	Sédimentométrie limon sablo argileux vasard
		III - 32	Sédimentométrie gros limon sablo argileux
		III - 33	Sédimentométrie limon lourd sableux
		III - 34	Sédimentométrie craie à silex et limon argileux
		III - 36	Oedomètre sondage B 6,30
		III - 38	Cisaillement tourbe et marne
		III - 39	Oedomètre sondages D et D <sub>1</sub>

./...

CHAPITRE IV	page	IV - 15	Sédimentométrie limon vaseard
		IV - 16	Oedomètre sondage B 1,80
		IV - 18	Sédimentométrie gros limon sablo argileux rougeâtre
		IV - 19	Sédimentométrie gros limon sablo argileux gris verdâtre
		IV - 20	Cisaillement limon sablo argileux
		IV - 22	Oedomètre sondage H
		IV - 24	Cisaillement { limon sablo argileux consolidé tourbe
		IV - 26	Oedomètre sondage C 7,10
		IV - 28	Oedomètre sondage E <sub>1</sub> 4,70
		IV - 29	Oedomètre sondage C <sub>1</sub> 7,40 et 7,50
		IV - 30	Oedomètre sondage B 7,40
CHAPITRE V		V - 8	Cisaillement et sédimentométrie du limon argileux gris
		V - 15	Graphiques scissométriques
CHAPITRE VII		VII - 7	Détermination graphique de l'origine des sols de FEUILLERES
		VII - 10	Relation IP / Sédimentométrie
		VII - 13	Evolution du cisaillement en fonction de la contrainte normale
		VII - 18	Relation ES/ds PM et ES / portance CBR
		VII - 19	Relation IP/ds PM et IP / w PM

ANNEXE III            sondage B<sub>1</sub>

ANNEXE IV            sondage B1

sondage E

ANNEXE GENERALE

{ Lecture d'un graphique oedométrique  
{ abaque pour la détermination de LL

{ 2 coupes géologiques de la vallée de l'AVRE à ST-MARD  
{ 3 feuilles de coupes géotechniques de ST-MARD

{ 2 coupes géologiques de la Vallée de la SOMME à FEUILLERES  
{ 4 feuilles de coupes géotechniques de FEUILLERES

{ 1 coupe géologique de la Vallée de la SOMME à ROUVROY

---

REMERCIEMENTS

---

Je tiens à exprimer ma très vive gratitude à Monsieur le Professeur A. BONTE qui m'a encouragé et orienté dans ce travail. Il a la certitude que l'union du géologue et du géotechnicien est nécessaire, il a foi en une géologie appliquée qui associerait les méthodes de l'un à la formation et à l'esprit d'observation de l'autre. La clairvoyance de cette conception apparait de plus en plus lors de la réalisation des grands travaux actuels.

Que Monsieur le Professeur G. WATERLOT, Président, que j'ai eu l'honneur d'avoir comme maître en Minéralogie - et un maître enthousiaste - trouve ici le témoignage de mon respectueux attachement.

Que Monsieur le Professeur CELET, qui a bien voulu accepter de faire partie du jury, soit assuré de toute ma reconnaissance.

Je remercie Monsieur J.B. REGNIER, Ingénieur en Chef du Département de l'AISNE, qui m'a autorisé à faire état des travaux que j'ai menés pour l'Administration, concernant les vallées tourbeuses régionales.

Je remercie Monsieur R. CLAEYSSEN, Ingénieur des Ponts et Chaussées à SAINT-QUENTIN, pour m'avoir obtenu l'autorisation de l'Ingénieur en Chef.

Je remercie Monsieur S. VALLEMONT, Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat, Directeur du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de SAINT-QUENTIN, qui m'a facilité le travail en me permettant d'employer le matériel pour mener des études particulières, dans la mesure où il n'en résultait aucune gêne pour le service.

Je remercie Monsieur D. PFEFFER, Géologue, Chef de la section "Géologie, sondages et prospection" au Laboratoire Régional, dont l'expérience m'a été utile.

Du personnel du Laboratoire, qu'il ne m'est pas possible de nommer totalement, je citerais néanmoins Mademoiselle M.C. PRUVOST (sédimentométries et essais chimiques), et Messieurs J.C. MASCRET (essais de fondations et tirages de plans) S. MORTREUX (géophysique), B. CASEZ et D. CORNILLE (compactage), ainsi que Monsieur B. CHEVE, élève Ingénieur E.N.S.M. stagiaire qui a assuré la conduite des essais scissométriques aidé de B. DENIZET.

Je n'oublie pas Mademoiselle M. DOLLE qui a eu la tâche ingrate de dactylographier et de tirer l'ensemble de ce travail.

Je tiens à rendre hommage à l'amitié de mes camarades du Laboratoire Central et des autres Laboratoires Régionaux, en particulier Monsieur RASKINE, Chef de groupe au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, dont la compétence et l'honnêteté intellectuelle me servent de modèle, Monsieur F. BOURGES, Ingénieur E.N.S.M., Monsieur G. SIDOROFF, licencié ès Sciences, Chef de Groupe au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, qui m'a permis par ses traductions, de prendre contact avec les méthodes de travail soviétiques, Monsieur C. DEFRETIN, Géologue au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, mon ancien Camarade à ST-QUENTIN, Monsieur J.P. BRU, Ingénieur E.N.I.S. au Laboratoire Régional de ROUEN, et Monsieur SAËO, Assistant au Laboratoire Régional de BORDEAUX.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans la confiance que ma Femme m'a toujours témoignée. Je le lui dédie donc en toute justice - il nous est commun.

I N T R O D U C T I O N



Dès 1960, les études préliminaires de l'Autoroute NORD de la FRANCE, et l'implantation régionale des zones industrielles, ont rendu nécessaires l'investigation d'un certain nombre de vallées tourbeuses. Trois d'entre elles seront examinées ici : la traversée de l'AVRE à ST-MARD, près de ROYE, de la SOMME à FEUILLERES, non loin de PERONNE, et celle de la SOMME à ROUVROY près de SAINT-QUENTIN.

L'étude de ces vallées a montré la grande importance de la dualité géologie - géotechnique pour l'examen des terrains compressibles quaternaires. La stratigraphie, facilitée par les sondages en carottage continu, détermine, avec une bonne précision, la position des couches et leur puissance. D'autre part, les essais géotechniques, basés sur des mesures mécaniques ou physiques, permettent d'avoir une connaissance du comportement des terrains rencontrés.

Notre expérimentation, s'appuyant sur l'interférence de ces deux méthodes d'investigation, a permis de mettre en évidence la très nette similitude des coupes géologiques et géotechniques en ce qui concerne les sols compressibles du quaternaire (tourbes, argiles tourbeuses, vases et limons). C'est là une observation qui nous a paru intéressante et nous a semblé justifier notre étude.

Celle-ci a été menée de la manière suivante. Dans une première partie, qui comprend les chapitres I et II, sont passés en revue le cadre géologique et les méthodes employées. Son objet est de situer les vallées locales étudiées, et de décrire les essais actuellement utilisés en géotechnique. A titre d'information, les caractéristiques générales "moyennes" des divers sols régionaux sont indiquées à la fin de cette partie.

La deuxième partie, qui fait l'objet des chapitres III IV V, est consacrée à l'étude des vallées tourbeuses. Cette étude est menée de deux façons : d'une part, par investigation verticale, analytique, suivant chaque sondage, ce qui permet de dégager la stratigraphie "fine" ; d'autre part, par investigation horizontale, synthétique, basée sur l'étude géotechnique de chaque couche de sol rencontré.

La troisième partie, correspond à des études de relations entre propriétés des sols. Le chapitre VI pose le problème de l'attaque de la craie par la tourbe. Dans le chapitre VII nous avons tenté d'établir l'origine de certains sols d'une vallée tourbeuse à partir des sols voisins et avons fait part d'un certain nombre de correspondances entre leurs caractéristiques physiques apparues lors de l'expérimentation.

CHAPITRE I

---

LE CADRE GEOLOGIQUE

---

11 - TOPOGRAPHIE - HYDROGRAPHIE - PAYSAGE

12 - STRATIGRAPHIE REGIONALE

-----

./...

11 - TOPOGRAPHIE - HYDROGRAPHIE - PAYSAGE -  
=====

Bien que l'altitude de cette région soit toujours inférieure à 200 m., la plaine picarde n'est monotone qu'en apparence. On trouve en effet successivement du NORD au SUD :

- Les collines de l'ARTOIS, butte crayeuse recouverte d'une couche épaisse de limon.

Pays de très grande culture (blé, betteraves) avec des propriétés étendues, rappelant celles de la PICARDIE (souvent plus de 100 ha). Cette région a pour axe BOULOGNE - ARRAS - CAMBRAI.

Le BOULONNAIS est à mettre à part, avec ses paysages verdoyants et ondulés.

- La PICARDIE proprement dite, tantôt recouverte de limon d'épaisseur décroissante vers le SUD, comme dans le SANTERRE (PERONNE), tantôt parsemée de résidus argilosableux tertiaires, comme dans le PONTHEIU (DOULLENS) ou le VERMANDOIS (SAINT-QUENTIN, LA FERRE), ou le VIMEU (ABBEVILLE).

La zone de limons est une région de grandes cultures (blé, betteraves), souvent remembrées, très mécanisées. On retrouve par contre, dans les autres zones, un paysage varié, parsemé de bois et de prairies intercalés entre les champs, le VIMEU paraissent plus accidenté.

La craie réapparaît dans les vallées sèches et surtout dans les vallées actuelles qui l'ont fortement entaillée.

A signaler, à l'extrême EST, la THIERACHE, au paysage verdoyant (argile à silex), région d'élevage et de forêts ; et à l'extrême OUEST, le pays de BRAY, faisant la limite avec la NORMANDIE.

- Le SOISSONNAIS s'étend du VERMANDOIS à l'ILE de FRANCE, allongé NE - SO, suivant l'axe LAON - SOISSONS - COMPIEGNE. C'est un paysage aimable, marqué à la limite par de nombreuses buttes témoins ("montagne" de LAON, par exemple), sablo argileuses, avec forêts.

Région de cultures betteravières et de prairies sur les terrains lourds argileux, de cultures de blé et de lambeaux forestiers sur les terrains plus sableux. Le SOISSONNAIS annonce déjà l'ILE de FRANCE, tant par son paysage que par son climat.

Les fleuves côtiers et les rivières suivent deux axes principaux. L'un est orienté SE - NO, ligne synclinale miocène ou ligne de failles = c'est le cas de la SOMME, la CANCHE, l'AUTHIE, la BÉTHUNE, l'AISNE, la VESLE, l'OURCQ et l'ALLETTE. L'autre est orienté NE - SO : l'OISE, le cours supérieur de la SOMME, la SERRE.

Ce sont des cours d'eau lents, presque tous marqués par une vallée marécageuse qui tranche par sa végétation et ses plans d'eau, sur le reste du paysage. Les hautes vallées, lorsqu'elles coulent entre les massifs tertiaires résiduels, sont souvent pittoresques.

Il semble y avoir eu, en général, une première période de creusement actif qui a été suivie d'un brusque ralentissement, favorisant la formation de tourbe. Ultérieurement, des augmentations de débit ont entraîné une sédimentation vase-sableuse.

Il convient de souligner l'importance locale de ces vallées, à cause des "marais" qui servent à la fois à la pêche et à la chasse au gibier d'eau : la principale spécialité d'AMIENS n'est elle pas le "pâté de canard" !

12 - STRATIGRAPHIE REGIONALE -

=====

121 - C7 - C8 craie blanche sénonienne.

On distingue :

La craie à Micraster (C7) et celle à belemnites (C8). Il est en fait difficile de les différencier, à cause de la rareté de la macrofaune. Il s'agit d'une roche blanche formée par la sédimentation d'une vase calcaire constituée par les tests de coccolithes et de foraminifères. La présence de micro organismes à coquille siliceuse (radiolaires) explique la présence des silex dans la craie. La silice organique amorphe (opale ou calcédoine) soluble s'est concentrée localement pour former les silex noirs et cornus caractéristiques de cette roche.

Dans la région de FEUILLERES, la craie est grise, montrant à la loupe la présence de nombreux granules beige, à aspect porcelané qui sont formés de phosphate de calcium. Il s'agit probablement de faciès littoraux.

Cette craie sénonienne s'enfonce sur les formations tertiaires du bassin parisien au niveau de la côte du SOISSONNAIS. Elle est recouverte partout ailleurs par les lambeaux tertiaires épargnés par l'érosion, (argiles de VAUX, sables de BRACHEUX ...) et par le "limon des plateaux" quaternaire, loess plus ou moins sableux et plus ou moins altéré superficiellement.

La craie blanche est une roche assez résistante quand elle est compacte, mais facilement altérable en surface. Par décalcification, elle donne une "argile de décalcification" brune à noire ( $M_2O_3$ ), tachant les doigts, enrobant les silex de la craie disparue, qui ont été ainsi remaniés sur place. Cette argile est toujours d'épaisseur faible (2 à 30 cm) et suit les inégalités du niveau crayeux.

La zone d'altération est composée de craie friable en morceaux irréguliers, d'argile de décalcification, de sable crayeux, de silex et des fractions du sol de couverture. Si ce dernier est sableux, la zone d'altération sera moins épaisse que si le sol superficiel est limoneux.

Il peut apparaître au niveau supérieur de la craie une zone de "cryoturbation" formée de "grève" crayeuse, fragments de taille variable, émoussés, mélangés à du sable beige ocre crayeux plus ou moins limoneux. Il s'agirait d'une formation quaternaire, provenant de l'alternance des glaciations et des dégels, la craie gélivée se mélangeant aux résidus sableux et argilosableux tertiaires.

122 - e v Thanétien.

e v c Argile à silex.

C'est un conglomérat de silex entiers, enchassés dans une pâte argileuse brun rougeâtre, parfois sableuse.

Les silex ont souvent une patine blanche, due à la désilicification.

Cette argile se rencontre dans la région d'AMIENS, celle de MONDIDIER et dans la THIERACHE.

Elle donne naissance à des paysages d'élevage ou de cultures lourdes (betteraves).

Sa formation a dû intervenir dès l'immersion du bassin parisien, à la fin du Sénonien, et a dû se poursuivre aux périodes de régression tertiaires.

e v b Sables glauconieux et silex verdis (AMIENOIS)

Tuffeau ou argile de VAUX (LAONNOIS)

Cet horizon est directement le "témoin" de la transgression.

./...

e<sub>v</sub> a Sables de BRACHEUX.

---

Au Sud de la SOMME et dans le LAONNOIS, les sables sont très bien représentés. Ils représentent la transgression thanétienne. On trouve de bas en haut :

- sables glauconieux, verts, sans fossiles. Ces sables reposent directement sur la craie, avec assez souvent présence d'un conglomérat de silex roulés et verdis. Ces sables sont sales et argileux.
- sables de couleur vert clair / jaune / roux. Ces sables sont moins glauconieux, ou la glauconie s'est oxydée. Ces sables se transforment parfois en grès, avec ciment de calcite, lorsqu'ils sont en affleurement (DAMERY - BELLOY).
- sable blanc - cette couche supérieure, peu épaisse, fait la transition entre les sables marins et les argiles plastiques lacustres. Il semble être d'origine continentale.

123 - e IV Sparnacien.

---

La sédimentation fluviolacustre due à la régression sparnacienne donne naissance à l'argile plastique, aux argiles à lignites du SOISSONNAIS, au grès de BELLEU.

L'argile plastique e IV b affleure dans la région sud de ROYE,

dans la région de CHAUNES et celle de COUCY le CHATEAU ainsi que dans tout le SOISSONNAIS. Elle repose directement sur les sables de BRACHEUX. Les zones sont reconnaissables, par leurs paturages contrastant avec les champs et les forêts.

./...

On trouve à la base de nombreux lits d'argile ligniteuse alternant avec des lits sableux, puis au dessus, des argiles brun marron pyriteuses, avec des strates d'argile gypseuse gris blanchâtre. Entre ces argiles s'intercalent irrégulièrement des lits sableux. Le faciès indique une origine lacustre.

L'épaisseur de cette formation varie de 3 à 6 m.

Les sables à galets de SINCENY e IV a

---

sont formés de sables très argileux enrobant des petits galets roulés de 1 à 2 cm de diamètre. Cette formation repose sur les argiles plastiques, et représente le cordon littoral de la transgression cuisienne.

On les rencontre dans la région de LIHONS, où ils paraissent avoir été remaniés.

124 - e III Yprésien

---

A partir de cet étage, il n'y a que des lambeaux résiduels très localisés de chaque formation. Cette seconde transgression est marquée par la présence de nummulites.

Sables de CUISE, souvent micacés, nummulitiques. Ces sables constituent des carrières exploitées dans la région de LAON. Ils apparaissent aussi au Sud de ROYE.

Ce sont des sables fins, doux au toucher, et contenant parfois du grès (FOURDRAIN).

Argile de LAON.

Argile grise épaisse, très compacte et un peu sableuse, située à la partie supérieure de l'assise.

./...

125 - e<sub>II</sub> Lutétien inférieur et e<sub>I</sub> Lutétien continental.

---

Cette troisième transgression éocène semble être descendue très au SUD. Les dépôts paraissent en effet correspondre à un faciès de mer plus profonde.

Calcaire grossier à nummulites.

Cet étage constitue la charpente des formations tertiaires du SOISSONNAIS, avec alternance de calcaire grossier et de sables à nummulites. Il est aussi à l'origine des buttes résiduelles du LAONNOIS (montagne de LAON, par exemple).

Caillasses calcaires, en plaquettes et argiles vertes calcarifères e<sub>I</sub><sup>6</sup> riches en cérithes, limées et planorbis.

Le calcaire tendre marneux est très facilement altérable.

Argile de ST-GOBAIN e<sub>I</sub> a verte très plastique.

Sables et grès de BEAUCHAMP avec silex roulés.

Ces formations paraissent être à l'origine de l'enrichissement en éléments grossiers des limons de couverture, formant des zones sablo limoneuses. Le sable est presque partout déblayé, seuls les grès témoignent de cette assise. On retrouve cet étage dans le LAONNOIS et le SOISSONNAIS, mais très localement.

./...

126 - Formations quaternaires.

Ces formations recouvrent le sous sol de façon continue.  
Elles reposent indifféremment sur tous les dépôts antérieurs.

a II 1 Sable de SCISSONNE.

Il s'agit du remaniement éolien des sables thanétiens redéposés au quaternaire sur un niveau crayeux fortement cryoturbé. Région de LAON. Cette formation serait contemporaine de la glaciation ELSTER.

a I b Limon des plateaux.

Les limons rencontrés ne sont pas tous du même âge, et il est très difficile, en général, de les distinguer.

Il semble que ce soit pendant les périodes interglaciaires que se soient formés les dépôts de limons loessiques. Ceux ci, d'origine éolienne, formés à partir des déserts de sables et de limons fluvioglaciaires bordant les glaciers (faciès steppiques - toundras), recouvrent progressivement la craie secondaire et les formations tertiaires, suivant une direction NE - SO. Ils représentent les grandes étendues culturelles picardes.

Le loess très ancien aurait suivi la glaciation Elster, le loess ancien la Riss, le loess récent la Würm, chaque adoucissement interglaciaire altérant et transformant ces dépôts successifs.

Le loess (ou ergeron) est une poussière jaune clair, très perméable, ni argileuse ni plastique, cohérente néanmoins aux affleurements (parois verticales de plusieurs dizaines de mètres), pas ou peu stratifié.

La surface supérieure, altérée par l'érosion et l'oxydation, présente une coloration rougeâtre ou brunâtre, et un enrichissement en argile par dissolution des carbonates, d'où une diminution de la perméabilité : c'est le lehm (ou terre à briques). Cette altération correspondrait aux climats doux et humides des périodes interglaciaires.

En fait, on distingue à la partie inférieure, un limon ancien gras, très fin et sableux, renfermant des silex altérés à patine blanche (désilicification superficielle) et plus ou moins mélangé à la zone d'altération de la craie sous jacente.

A la partie supérieure, le limon est plus foncé, plus argileux et plus compact.

L'épaisseur décroît du NORD au SUD, passant de 10 / 12 m à 1 - 2 mètres.

#### A - Dépôt meuble des vallées.

Il occupe le flanc des vallées et aussi le fond des vallons secs. Il provient du remaniement des limons, sables, silex et craie se trouvant sur les pentes ou affleurant.

##### a 1 a alluvions anciennes.

On les rencontre le long des rivières de la région : AVRE, SOMME, OISE, AISNE, SERRE, MARNE ...

Ce sont des dépôts caillouteux exploitables dans les portions abandonnées des vallées et paraissant remaniés dans les alluvions modernes (OISE, par exemple).

##### a 2 alluvions modernes.

Ce sont des dépôts meubles récents et compressibles, argilo sableux, tourbeux et vaseux. Leur étude fait plus précisément l'objet du présent travail.

./...

3 cambrien	18 crétacé super.
6 dévonien inf.	19 éocène inf.
7 dévonien sup.	20 éocène moy. super.
9 carbonifère	21 oligocène
14 jurassique moy.	Vallees caennaises
16 jur. sup.	24 pleistocène
17 crétacé inférieur	Bassin houiller



BUS  
LILLE

CHAPITRE II

---

METHODES GEOTECHNIQUES D'ETUDE

---

METHODES GEOTECHNIQUES D'ETUDE

---

- 21 - GLOSSAIRE
  
  - 22 - ESSAIS GEOTECHNIQUES SIMPLES
    - 221 Teneur en eau
    - 222 Densité apparente
    - 223 Limites d'ATTERBERG
    - 224 Equivalent de sable
    - 225 Compactage
    - 226 Sédimentométrie
    - 227 Pénétromètre et indice de consistance
  
  - 23 - ESSAIS GEOTECHNIQUES SPECIALISES
    - 231 Cisaillement
    - 232 Essai oedométrique
  
  - 24 - ESSAIS CHIMIQUES
    - 241 Dosage des carbonates
    - 242 Dosage des matières organiques
  
  - 25 - ESSAIS "IN SITU"
    - 251 Essai de battage
    - 252 Géophysique
    - 253 Scissomètre
  
  - 26 - QUALITES GEOTECHNIQUES MOYENNES DES SOLS REGIONAUX
    - 261 Sols secondaires
    - 262 Sols tertiaires
    - 263 Sols quaternaires
-

## 21 - GLOSSAIRE -

=====

Suivant les normes de la SOCIÉTÉ INTERNATIONALE de MÉCANIQUE des SOLS (JUILLET 61) nous avons employé les symboles suivants (anciens symboles entre parenthèses) :

$w_L$ (LL)	Limite de liquidité
$w_P$ (LP)	Limite de plasticité
IP	Indice de plasticité
IC	Indice de consistance du sol
$w$ ( $\alpha$ )	Teneur en eau (par rapport sol sec)
$\gamma$ (DAH)	Densité Apparente Humide
$\gamma_d$ (DAS)	Densité Apparente Sèche
HRB	Classification HRB <i>Highway Research Board</i>
$\% 2$	Passent à 2 mm tamis
$\% 0.5$	Passent à 0.5 mm tamis
$\% 0.08$	Passent à 0.08 mm tamis
pen.	Valeurs obtenues au pénétromètre SOILTEST
M.O.	$\%$ matières organiques du mortier ( $< 0.42$ )

$\text{CO}_3^-$	Teneur qualitative en carbonates (par effervescence à HCl) :
0	nulle
0+	faible
+	moyenne
++	forte
+++	très forte
n ou $\sigma$	contraintes normales en kg/cm <sup>2</sup>
t ou $\tau$	contraintes tangentielles en kg/cm <sup>2</sup>
$\varphi$	angle de frottement interne
c	cohésion en kg/cm <sup>2</sup>
tass.	tassement apparent du sol sous la contrainte normale, avant cisaillement (en 1/100 mm)
T %	% tassement (essai oedométrique)
$k_v$	coefficient de perméabilité (en cm/sec.) vertical
durée	durée cumulée de l'essai <u>en Laboratoire</u> (en heures)
$w_f$ ( $\alpha_f$ )	teneur en eau finale après essai
SPT	nombre de coups de battage (BACHY) pour un enfoncement de 60 cm du carottier APM 78

22 - ESSAIS GEOTECHNIQUES SIMPLES -  
=====

221 - Teneur en eau.

La teneur en eau d'un sol est le % d'eau rapporté au poids de sol sec.

$$w = 100 \frac{\text{eau}}{\text{poids sec}}$$

Le séchage des sols se fait en étuve électrique ventilée, réglée à  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ , jusqu'à poids constant.

Les teneurs en eau ainsi déterminées sont valables dans le cas des graves, sables et limons, mais deviennent conventionnelles pour les argiles et surtout les tourbes, pour lesquelles le séchage doit modifier la structure organique.

On admettra donc ne pouvoir que déterminer l'ordre de grandeur de la teneur en eau d'une tourbe.

222 - Densité sèche apparente.

On détermine la densité apparente humide  $\gamma$  soit par mesure du volume (il s'agit pratiquement toujours de cylindres, forme des carottiers), soit par pesée hydrostatique, d'une part (éventuellement après paraffinage) et par pesée de l'échantillon de sol humide d'autre part. On passe à la densité apparente sèche par détermination de la teneur en eau.

$$\gamma_d = 100 \frac{\gamma}{100 + w}$$

Les sols tourbeux étant en général saturés, la densité sèche est alors reliée à la teneur en eau par une relation du type

$$w = 100 \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s - \gamma_d}$$

$\gamma_s$  masse volumique des grains solides

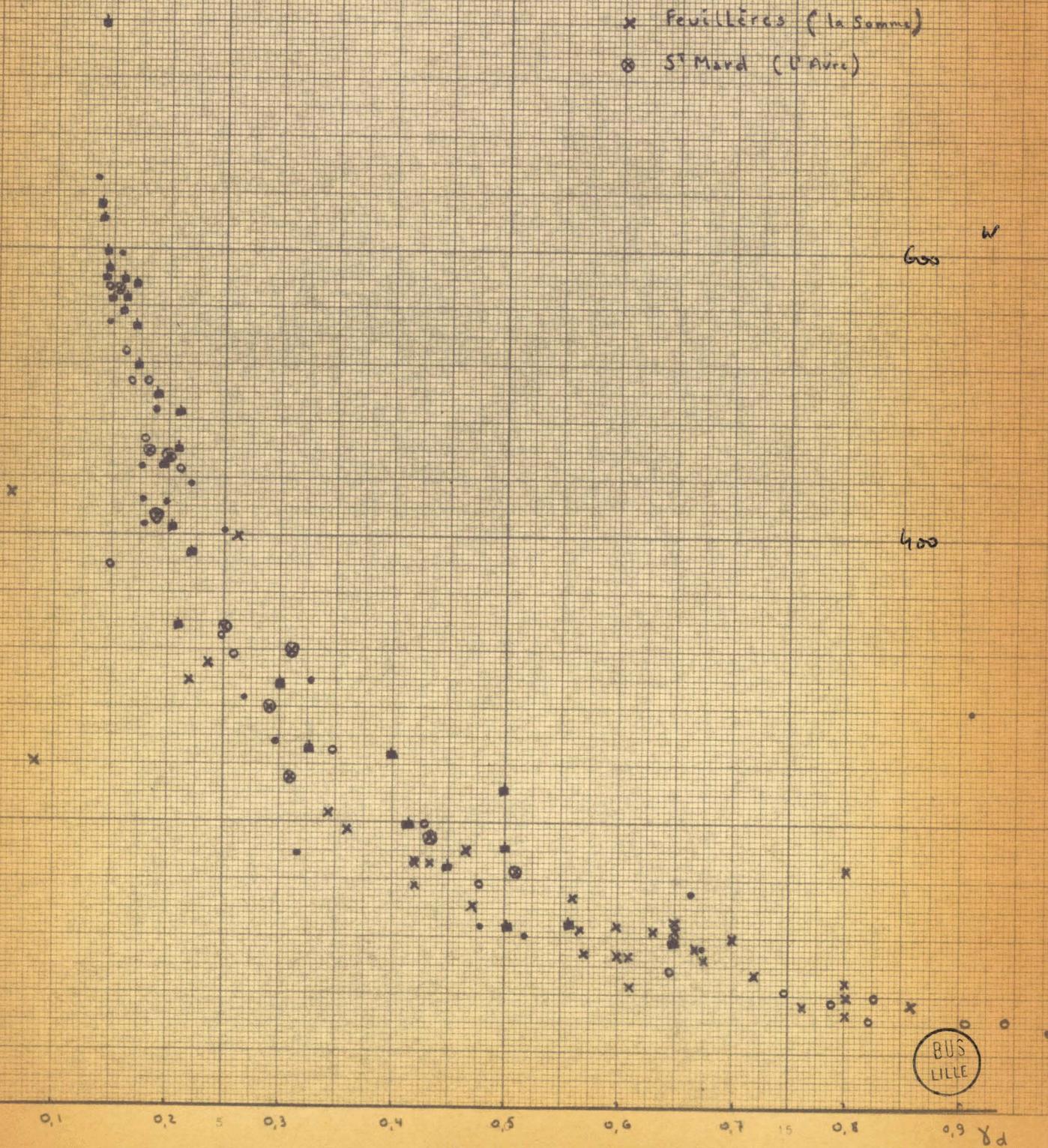
Il semble exister une relation directe entre  $w$  et  $\gamma_d$  pour les tourbes, ainsi que le montre le graphique joint. Cette relation paraît indépendante de l'origine de la tourbe. Il semble donc possible d'admettre que la tourbe est pratiquement toujours saturée.

./...

- Bassin Parisien Nord
- " " Sud
- ▲ autres lieux

} d'après  
F. Bourges

- x Feuillères (la Somme)
- ⊗ St Mard (l'Avre)



600 W

400

BUS  
LILLE

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9  $\gamma_d$

223 - Limites d'ATTERBERG.

Principe et définitions.

Pour permettre de définir l'état d'un sol, ATTERBERG, Agronome américain a eu l'idée d'introduire la notion de "limites", c'est-à-dire de teneurs en eau auxquelles le sol passait d'un état à un autre.

Il y a ainsi la limite de liquidité LL, teneur en eau à laquelle le sol passe de l'état liquide à l'état plastique, la limite de plasticité IP, marquant le passage de l'état plastique à l'état solide avec retrait, la limite de retrait IR, définissant la zone solide avec ou sans retrait ...

En géotechnique, seules les notations LL et IP sont employées actuellement. On définit le domaine de plasticité ou "indice de plasticité" par l'intervalle des teneurs en eau des limites précédentes.

$$IP = LL - IP$$

Pratiquement, le sol est étalé dans une coupelle et séparé en deux parties par un couteau à rainurer normalisé, et soumis à des chocs (chutes de 1 cm sur une plaque de bois dur) à raison de 2 par seconde. Il est admis que la limite de liquidité est la teneur en eau de ce sol pour laquelle les deux lèvres se rapprochent sur environ 1 cm, à 25 chocs. En fait, un certain nombre d'essais sont faits à des teneurs en eau différentes, amenant la fermeture pour un nombre de chocs différents, et on interpole la teneur en eau correspondant à 25 chocs.

De même, on admet que la limite de plasticité est la teneur en eau à laquelle le sol roulé en boudin de 3 mm environ de diamètre, se rompt spontanément en tronçons d'à peu près 1 cm de long.

Appareillage.

- appareil de liquidité CASAGRANDE comprenant : coupelle et support de coupelle, outil à rainurer, gabarit de réglage de chute.
- plaque de bois dur pour la LP.
- balance sensible au mg si possible (à la rigueur au ctg).
- étuve  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ .
- tamis de 0,40 mm.
- plats ronds, spatules, verres de montre, pissette .....

Mode opératoire.

1 Préparation du sol.

Le sol vierge est placé sur un tamis de 0,40, dans un plat rond de diamètre supérieur, qui est rempli d'eau à moitié.

Le sol se désagrège progressivement et passe à travers le tamis. Il est recommandé d'agiter ce dernier de temps en temps pour accélérer l'opération.

Quand il ne reste plus sur le tamis que les éléments du sol supérieurs à 0,40, on enlève le tamis, et on laisse reposer.

Après 24 heures, si la décantation est suffisante, on siphonne une partie du liquide surnageant incolore, et on porte le plat contenant la boue sur l'étuve pour évaporer l'excès d'eau progressivement.

2 Préparation de la pâte.

Si la pâte ainsi préparée est trop sèche, on l'humidifie en l'arrosant d'eau à la pissette, et on la malaxe à la spatule pour l'homogénéiser. Si la pâte est encore trop humide, on la malaxe directement pour activer son séchage. Il est commode d'opérer sur une paillasse en "granito" qui absorbe l'eau du sol peu à peu.

./...

### 3 Essai de liquidité.

Une fois la pâte amenée à bonne consistance, on l'étale dans la coupelle, la divise à l'aide du couteau à rainurer, on compte le nombre de chocs nécessaires pour obtenir la fermeture sur 1 cm environ. On prélève aussitôt du sol pour la teneur en eau.

On recommence l'opération après avoir laissé sécher la pâte, ce qui donne un autre nombre de chocs, et on détermine la nouvelle teneur en eau.

A l'aide de l'abaque ci-contre, on obtient directement LL à partir du nombre de coups et de la teneur en eau. Les deux résultats doivent concorder à une unité LL près jusque 60, à 2 unités près ensuite jusque 100.

### 4 Essai de plasticité.

La pâte, provenant de l'essai précédent, est abandonnée, à l'air, pour la laisser se sécher davantage.

On en prélève de temps en temps une boule que l'on roule sur la pailleasse à l'aide d'une petite plaque de chêne. Quand le rouleau atteint 3 mm de diamètre (il est commode de prendre un clou de ce diamètre comme étalon visuel), on vérifie qu'il y a ou non rupture du boudin. Dans l'affirmative, on refait une teneur en eau sur les morceaux.

### Résultats.

Les calculs sont très faciles, puisque LL et IP sont directement déterminées par pesées. On en tire IP.

Statistiquement, il y a une relation entre LL et IP. Divers Auteurs l'ont exprimée ; PELTIER, en FRANCE, a donné :

$$IP = (LL - 15) 0,7$$

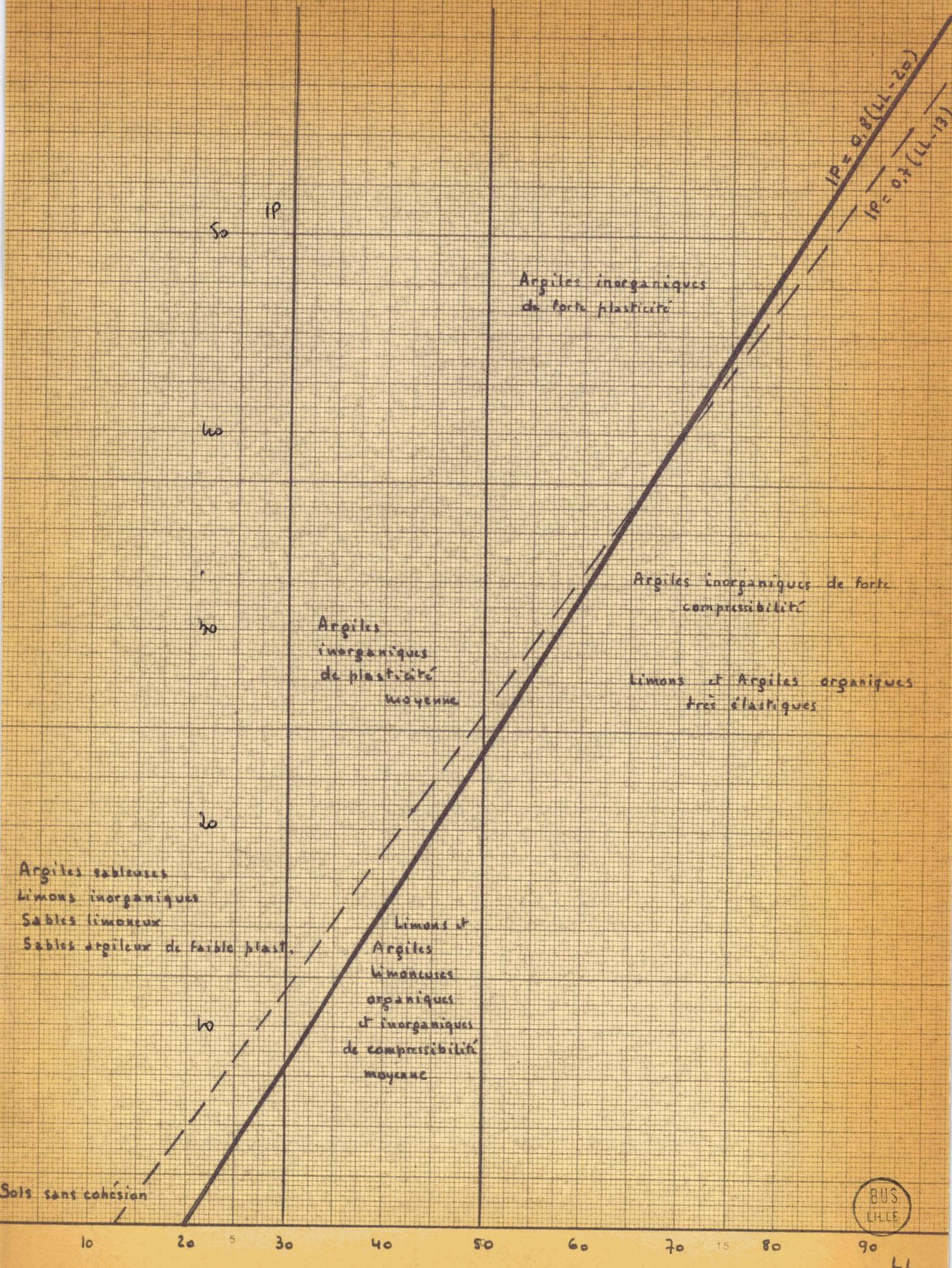
./...

Cette formule n'a qu'une valeur indicative.

Par contre, la connaissance des termes LL et IP expérimentaux permet de classer les sols. CASAGRANDE a proposé à ce sujet le tableau donné ci-contre.

./...

(d'après Casagrande)



50 IP

40

30

20

10

Argiles inorganiques de forte plasticité

Argiles inorganiques de forte compressibilité

Limons et Argiles organiques très élastiques

Argiles inorganiques de plasticité moyenne

Limons et Argiles limoneuses organiques et inorganiques de compressibilité moyenne

Argiles sableuses  
Limons inorganiques  
Sables limoneux  
Sables argileux de faible plast.

$IP = 0.8(LL - 20)$   
 $IP = 0.7(LL - 13)$

Sols sans cohésion

10 20 30 40 50 60 70 80 90 LL

BUS LILLE

LL

=====

Principé.

Pour déterminer la pollution d'un sable ou de la fraction sableuse d'un sol, on procède à une sédimentation normalisée et on détermine les niveaux du sable et du floculat argileux dans un tube de calibre standard. L'essai est d'origine californienne.

Appareillage.

- éprouvette cylindrique diam. 31,7 mm, hauteur 430 mm, en plexiglass, avec deux repères à 102 mm et 381 mm.
- solution lavante à base de  $\text{CaCl}_2$  : 2 g 8, glycérine : 11 g 8 et formol : 0 g 3 dans l'eau distillée (pour 1 l de solution).
- tube laveur en laiton diam. 6,35 mm, percé de trous à sa base et relié au réservoir de solution lavante par un tuyau simple. Hauteur de cette solution : 1 mètre au dessus du niveau de base du tube.
- piston constitué par une tige de 450 mm de hauteur, diam. 6 mm, lesté d'un poids de 1 kg, muni d'une butée réglable se fixant à la partie supérieure du tube de plexiglass. La base du piston - qui repose sur le sable - est élargie et à un diam. de 25 mm.

Mode opératoire.

On prépare le sol en le passant sur le tamis de 4,76 mm, soit à sec, soit, s'il est très argileux, par voie humide.

On pèse 120 gr. de sol sec, ou un poids de sol légèrement humide correspondant à 120 gr. de sol sec. On le verse dans le tube rempli de solution jusqu'au trait inférieur. On laisse reposer 10 minutes.

On agite ensuite, manuellement ou mécaniquement, l'éprouvette bouchée, horizontalement, à raison de 90 allers et retours en 30 secondes, avec une course d'environ 20 cm. On retire le bouchon, on introduit le tube laveur et on lave le sol par la base du tube jusqu'à ce que le niveau de liquide atteigne le 2° repère. On laisse reposer pendant 20 minutes exactement et on lit la hauteur de la suspension argileuse.

On mesure la hauteur du sable en faisant descendre le piston doucement jusqu'à ce qu'il repose de lui même. Connaissant la longueur de la tige introduite dans le tube, on en détermine la hauteur du sable.

Calcul.

La tige du piston faisant normalement 430 mm, on obtient la hauteur de sable H2 en retranchant la longueur introduite l

$$H2 = 430 - l$$

H1 hauteur du floculat est mesurée directement :

$ES = \frac{100 \cdot H2}{H1}$
--------------------------------

L'essai se fait sur les sables naturels, de concassage et sur les fractions sableuses des graves naturelles ou reconstituées. La sensibilité de l'essai provient de l'importance relative par rapport au sable, des fines floculées, mais solvatées.

L'E.S. complète les limites d'ATTERBERG dans leur domaine de faible sensibilité.  
(I.P. < 8).

E.S. < 10	sol plastique, limites d'ATTERBERG valables.
10 < E.S. < 20	sable pollué, limites d'ATTERBERG difficiles à faire. Sol à n'employer qu'après examen complémentaire
20 < E.S. < 30	Sable de qualité géotechnique médiocre, pouvant être employé avec certaines précautions.
30 < E.S.	Sable valable pour les travaux routiers.
50 < E.S.	Sable valable pour les fabrications d'enrobés hydrocarbonés.
80 < E.S.	Sable valable pour les fabrications de bétons hydrauliques.

25 - COMPACTAGE -  
=====

Principe . En tassant dans un moule standard, avec une énergie de compactage normalisée (poids de la dame, hauteur de chute et nombre de coups) un sol à des teneurs en eau croissantes, on observe une augmentation de la densité sèche jusqu'à un maximum puis une diminution.

L'eau favorise en effet le serrage des grains dans un 1° stade, puis, trop abondante, les écarte dans un 2° stade.

Suivant les conditions de l'essai, on réalise le "Proctor normal" compactage modéré valable pour les sols naturels et les remblais, et le "Proctor modifié", compactage plus énergique valable pour les couches de chaussée (sables de couches profondes et graves de couches médianes).

Les caractéristiques de compactage d'un sol sont donc sa teneur en eau optimale correspondant à sa densité sèche maxima, pour le type de "Proctor" choisi.

Mode opératoire sommaire. On utilise deux moules standardisés : le moule Proctor, pour les sols fins (< 4,76 mm) hauteur 117 mm, diamètre 102 mm, et le moule CHR pour les sols grenus (< 20 mm) hauteur 150 mm, diamètre 152 mm.

Proctor normal PN

dame de 2 kg 490 , hauteur de chute 30,4 cm  
compactage en 3 couches de 4 cm environ  
nombre de coups - 25 par couche dans le moule PROCTOR  
55 par couche dans le moule C.B.R.

Proctor modifié PM

dame de 4 kg 530, hauteur de chute 45,7 cm  
compactage en 5 couches de 2,5 cm environ  
nombre de coups - 25 par couche dans le moule PROCTOR  
55 par couche dans le moule C.B.R.

Calcul. On obtient la densité sèche simplement en connaissant le volume du moule - déterminé au préalable, le poids de sol humide et sa teneur en eau.

226 - Sédimentométrie.

Principe.

Lorsqu'un sol constitué de "grains" est mis en suspension dans l'eau, la densité du liquide obtenu varie en fonction de la sédimentation, c'est-à-dire en fonction de la grosseur des grains et du temps de repos.

Pour un grain de dimension donnée, la vitesse de chute croît rapidement par action de la pesanteur, puis se stabilise, quand le poids du grain est équilibré par la résistance opposée par le liquide. STOKES a établi que cette vitesse limite était exprimée par :

$$v = g \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \eta} D^2$$

- v vitesse de chute (cm/sec)
- g accélération de la pesanteur (CGS)
- $\gamma_s$  poids spécifique du sol (g/cm<sup>3</sup>)
- $\gamma_w$  poids spécifique du liquide (g/cm<sup>3</sup>)
- $\eta$  viscosité du liquide (en poises)
- D diamètre de la particule (en cm)

Cette relation permet de connaître la relation entre v et D, les particules étant admises sphériques. On n'obtiendra donc pour les sols que des "diamètres équivalents", sans préjuger de la forme exacte des grains.

./...

Au prix d'un certain nombre d'hypothèses, on peut alors connaître, en mesurant la densité du liquide à des temps choisis, la répartition en poids (donc le %) des grains de dimensions décroissantes.

Les hypothèses faites sont les suivantes : notion de "diamètre équivalent" pour les sols, volume immergé de la tige négligé, gradient de densité supposé constant de part et d'autre du centre de poussée du densimètre, poids spécifique moyen des sols égal à 2,65. L'exposé de la théorie densimétrique complète par PELTIER permet le cas échéant de s'affranchir de certaines de ces hypothèses.

### Théorie sommaire.

A un instant  $t$ , correspondant à un diamètre équivalent  $D$ , le densimètre indique une profondeur  $H_t$  à laquelle il n'y a plus de grains de dimensions supérieures à  $D$ , la concentration des grains de dimensions égales ou inférieures à  $D$  n'ayant pas varié depuis le temps origine.

En effet 
$$v = \frac{H_t}{t} = g \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 h} D^2 \quad \text{ou} \quad D = k \sqrt{\frac{H_t}{t}}$$

Si nous posons :

$V$  volume de la suspension (en ml = ici 200 ml)

$\gamma_s$  poids spécifique du sol (gr/ml)

$\gamma_w$  poids spécifique de l'eau

$P$  % de particules inférieures à  $D$  (en poids de sol sec)

$r$  lecture du densimètre =  $1 + R/1000$   $R$  = nombre de divisions entre la division 1000 et l'affleurement.

./...

- $\sqrt{x}$  poids spécifique de la suspension à la profondeur  $H_z$
- $w$  poids du sol sec (en grammes)
- $w_1$  poids des particules solides de "diamètre équivalent"  $\leq D$ , par unité de volume.
- $w_2$  poids de l'eau de la suspension, par unité de volume.

nous avons :

$$\sqrt{x} = r \gamma_w = w_1 + w_2$$

Or  $w_1 = \frac{w P}{100 V}$

et  $w_2 = \left[ 1 - \frac{P w}{100 V \gamma_s} \right] \gamma_w$

car les grains solides occupent un volume =  $\frac{w P}{100 V} \times \frac{1}{\gamma_s}$

donc le volume de l'eau =  $1 - \frac{w P}{100 V \gamma_s}$ , d'où le poids par unité de volume.

nous pouvons déduire :

$$\sqrt{x} = \frac{w P}{100 V} + \left[ 1 - \frac{w P}{100 V \gamma_s} \right] \gamma_w = r \gamma_w$$

d'où on tire P

$$P = 100 \frac{V}{w} \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_w} \gamma_w (r - 1)$$

Cette expression se simplifie si on pose  $\gamma_w = 1$  g/ml

$V = 2000$  ml

$w = 40$  g

$\gamma_s = 2,65$  gr/ml

poids spécifique moyen des sols français.

./...

et devient

P // 8 R
----------

R représente ici la division lue après correction.

R corrigée = R lue + correction température + correction de ménisque - correction due au défloculant.

### Appareillage.

- Densimètre forme torpille, gradué de 0,995 à 1,030 par 0,0005
- thermomètre gradué au 1/10 de + 10° à + 35°.
- éprouvettes de 2000 ml graduées, hauteur 500 mm, diamètre 80/90 mm
- chronomètre
- tamis de 0,100 mm
- balance (300 gr) sensible au dg
- agitateur mécanique (genre TURMIX) tournant à 10.000 t/mn.
- mortier et pilon de caoutchouc
- agitateur manuel (disque de caoutchouc monté perpendiculairement à l'extrémité d'une tige d'agitateur)
- défloculant (40 ml d'une solution à 5 % d'hexamitaphosphate de Na, pour une éprouvette de 2000 ml).
- papier à pH.

### Mode opératoire.

#### 1 Préparation de l'échantillon.

On recueille dans un bac le tamisat à 0,100 mm. On évapore à sec d'abord dans une étuve à 60° jusqu'à consistance de bouillie, puis sur l'étuve.

./...

On broie le sol sec au pilon de caoutchouc , et on homogénéise.

On prélève 40 gr qui sont versés dans une éprouvette de 2000 ml, et on ajoute environ 500 ml d'eau distillée + 40 ml de la solution de défloculant. Cette dernière ne doit pas avoir plus d'un mois d'âge.

On laisse en contact 12 à 15 heures.

On verse l'ensemble dans un bol d'agitateur, en rinçant avec de l'eau distillée, et on agite pendant 3 minutes à raison de 10.000 à 12.000 t/mm, afin de défloculer les particules du sol.

On transvase dans l'éprouvette graduée, et on rince le bol plusieurs fois. On complète à 2000 et on homogénéise à l'aide de l'agitateur manuel.

On contrôle alors le pH qui doit être compris entre 7 et 9, et on laisse reposer 2 heures pour être certain d'être à la température ambiante.

## 2 Mesures densimétriques.

On agite 30 secondes à l'aide de l'agitateur manuel, afin d'homogénéiser la solution et d'obtenir une concentration identique du haut en bas de l'éprouvette.

À l'instant où on retire l'agitateur, on déclanche le chronomètre et on introduit lentement le densimètre propre, puis on fait les lectures à 30", 1', 2' sans toucher au densimètre, puis on l'ôte lentement et on contrôle la température de la solution.

Entre chaque lecture, le densimètre est gardé dans une éprouvette de mêmes dimensions, contenant de l'eau distillée à même température.

Les lectures se font au sommet du ménisque. On lit R = nombre de divisions à partir de 1000, avec le signe + si R est au dessus et - s'il est en dessous. L'étalonnage préalable du densimètre permet de connaître les termes correctifs de température, ménisque, et défculant.

Les lectures se font à = 30"  
1'  
2'  
5'  
10'  
20'  
40'  
80'  
240'  
1440'

Résultats et discussion.

Dans le cas général, on prendra la formule approchée, donnant le % des grains de dimension D =

$$p \neq 8 R$$

Pour se ramener au sol entier, on multiplie p par le % de la fraction < 0,100.

La connaissance des "diamètres équivalents" est donnée par le tableau suivant, tiré de la loi de STOKES.

./...

Temps	" diamètre équivalent "	" diamètre équivalent "
	calculé	adopté
30"	79,7 microns	80 microns
1'	56,6	55
2'	40,4	40
5'	24,9	25
10'	17,8	18
20'	12,5	12
40'	8,9	9
80'	6,3	6
240'	3,65	3,5
1440'	1,5	1,5

De nombreux facteurs influencent la précision de l'analyse sédimentométrique, ainsi :

- mode de préparation de l'échantillon
- nature et concentration du défloculant
- poids spécifique du sol ...

l'expérience montre par ailleurs qu'en retenant les diamètres équivalents moyens du tableau précédent, on obtenait des résultats très satisfaisants et comparables entre eux.

Les corrections d'étalonnage sont par contre indispensables.

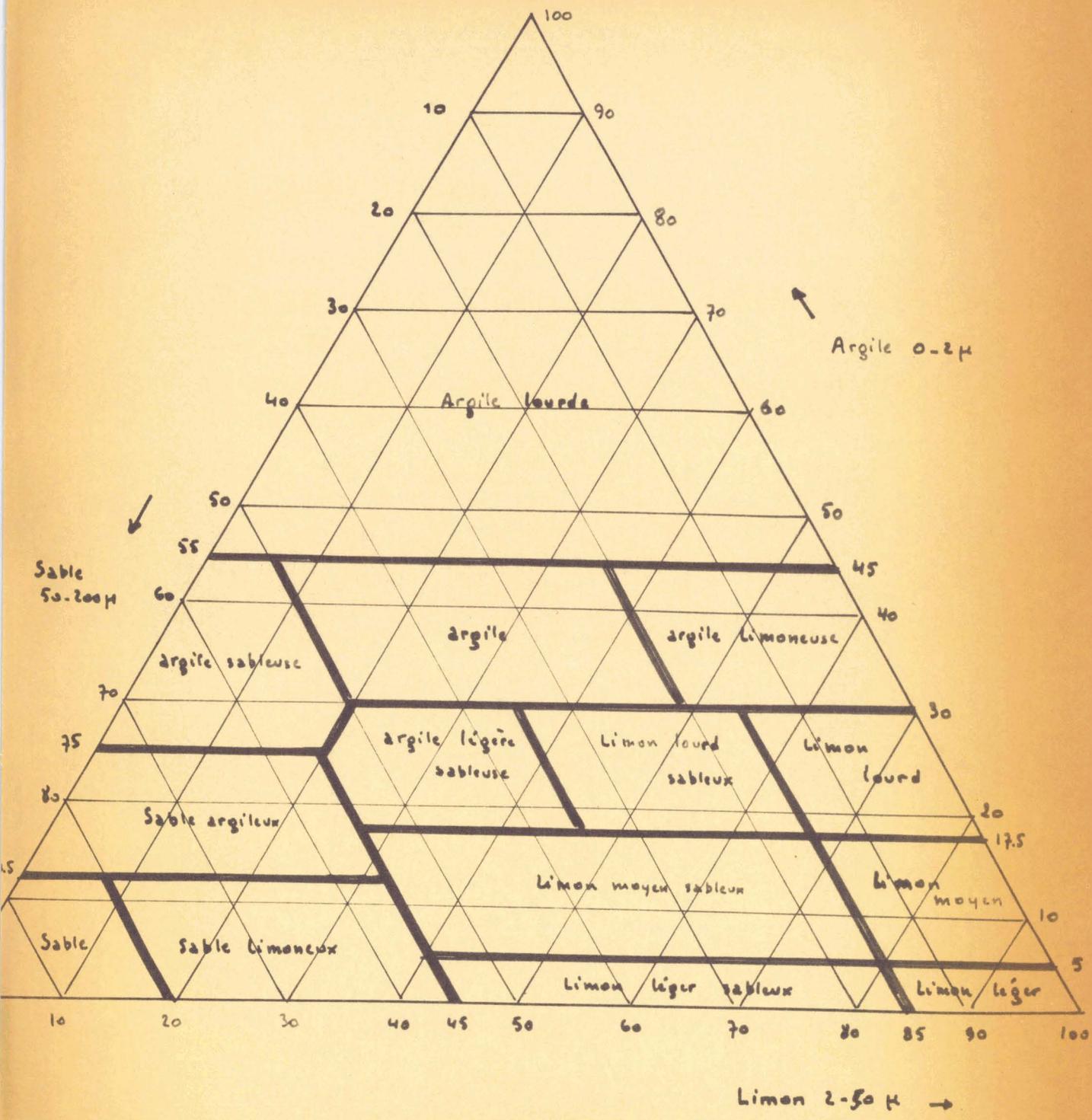
./...

La représentation graphique des sols permet leur classement granulométrique. En portant sur un diagramme triangulaire

sable	50 microns à 200 microns
{ gros limon	20 microns à 50 microns
{ limon	2 microns à 20 microns
argile	< 2 microns

on peut classer le sol dans l'un des 14 groupes types reportés sur le graphique joint.

./...



227 - Pénétrömètre de poche.

L'appareil employé est celui de SOILTEST (modèle CL - 700). Il se compose d'un piston gradué maintenu dans une certaine position dans un cylindre, sous l'action d'un ressort taré. Ce piston est terminé à sa partie inférieure par une tige de 22 mm de haut, et de 6 mm de diamètre, destiné à être enfoncée de 6 mm dans le sol à examiner (profondeur marquée par un repère rouge).

Cet enfoncement nécessite une force + grande, variable avec la consistance du sol, et oblige donc l'opérateur qui tient le cylindre dans la main à appuyer plus ou moins fort, modifiant ainsi la position relative piston - cylindre. Ce dernier étant solidaire d'un index fou, et le piston étant gradué en kg/cm<sup>2</sup>, on peut donc connaître d'emblée la résistance du sol à la compression.

L'appareil est simple, de maniement très facile, mais il n'est strictement valable que pour les sols non frottants et cohérents. Il traduit davantage la consistance que la résistance à la compression simple. Il intervient comme un élément complémentaire dans l'identification d'un sol.

D'après TERZAGHI et ALIBERTI, on peut admettre les équivalences suivantes entre l'indice de consistance des argiles (en consistance relative), l'appréciation tactile et la résistance à la compression simple (en kg/cm<sup>2</sup>) :

$$IC = \frac{w_1 - w}{IP}$$

IC        indice de consistance  
w<sub>1</sub>      limite de liquidité  
w        teneur en eau naturelle  
IP        indice de plasticité

IC	Appréciation tactile de l'argile	Résistance compression simple (kg/cm <sup>2</sup> )
0	très molle	≠ 0
0 à 0,25	pateuse	< 0,25
0,25 à 0,50	molle	0,25 à 0,5
0,50 à 0,75	ferme	0,5 à 1,0
0,75 à 1,00	consistante	1,0 à 2,0
> 1,00	très consistante	2,0 à 4,0
-	dure	> 4,0

Ces équivalences n'ont évidemment qu'une valeur indicative.

./...

23 - ESSAIS GEOTECHNIQUES SPECIALISES -

=====

231 - Essai de cisaillement direct.

But et principe de l'essai.

L'essai a pour but de déterminer les valeurs de la cohésion et de l'angle de frottement d'un sol dans un état déterminé de teneur en eau et de densité sèche, donc de consolidation.

Il repose sur la formule de COULOMB :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

- |           |                             |                         |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|
| $\tau$    | contrainte tangentielle     | } en kg/cm <sup>2</sup> |
| c         | cohésion                    |                         |
| $\sigma$  | contrainte normale          |                         |
| $\varphi$ | angle de frottement interne |                         |

Les termes c et  $\varphi$  pouvant être considérés comme constants pour un sol donné, dans un état donné, il suffit de faire varier  $\sigma$  en déterminant  $\tau$  à chaque fois pour définir les deux termes constants.

Appareillage.

L'appareillage décrit est celui employé au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de SAINT-QUENTIN, et fabriqué par M. et O. à MONTROUGE.

./...

### Boîtes de cisaillement.

Elles sont formées par deux moules rendus solidaires par 2 goupilles pour la mise en place des éprouvettes. L'expérience montre que dans le montage en traction adopté, le guidage entre les deux demi - boîtes n'était pas nécessaire, les frottements étant négligeables.

La queue filetée de la boîte supérieure s'adapte à l'anneau dynamométrique de la machine de cisaillement. La boîte inférieure a un socle pouvant s'encastrier dans le chariot mobile de la machine.

Le sol est placé dans la boîte entre deux pierres poreuses dentées, l'une, inférieure, communique avec une cavité pouvant servir de réserve d'eau ; l'autre, supérieure, est solidaire du piston.

### Machine de cisaillement.

Un jeu de pignons dentés permet de choisir la vitesse désirée. La boîte de vitesse commande la glissière sur laquelle est fixée la partie inférieure de la boîte de cisaillement. Un anneau dynamométrique est monté entre le bâti de la machine et la partie supérieure de la boîte, et mesure l'effort par réaction.

La suspension de l'anneau à un ressort souple, élimine tout frottement.

La charge verticale est appliquée sur le piston de la boîte par un ensemble étrier - levier - plateau à poids.

### Batis de consolidation.

Ils sont destinés au chargement vertical d'échantillons de sols en cours de consolidation dans les boîtes de cisaillement.

### Appareillage courant.

Balance sensible au grammé, balance au ctg, étuve  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ , boîtes à prélèvements, plats, spatules, couteaux ...

./...

Mode opératoire.

Préparation de l'éprouvette.

Si le sol est cohérent, on pose le piston carré sur la carotte prélevée, et on découpe légèrement en biseau sur une hauteur d'environ 50 mm. On introduit alors l'éprouvette dans la boîte de cisaillement par sa partie la plus étroite, et on la fait pénétrer par douce pression en la taillant au plus juste. On place ensuite le piston dans la boîte.

Si le sol n'est pas consistant, on place la carotte sur la boîte, et on dégrossit au fur et à mesure de l'enfoncement.

Si le sol est pulvérulent, on le verse à la teneur en eau choisie, et on le comprime par le piston pour obtenir la densité sèche désirée.

Essai de cisaillement (rapide - non drainé)

Après avoir mis en place l'étrier, le comparateur réglé sur la tête de ce dernier, on charge le plateau pour obtenir la pression verticale  $\sigma$  cherchée. On relève l'indication de tassement du comparateur et on attend pour commencer l'essai qu'il y ait stabilisation.

Puis on dégoupille les deux parties de la boîte, on met en route le moteur, et on note de 15 en 15" les indications du comparateur. On construit la courbe correspondante. On détermine ainsi le moment du cisaillement  $\theta$  correspondant à une valeur  $x$  du comparateur, pour une charge verticale  $\sigma$ . Le temps  $\theta$  permet, connaissant la vitesse, de connaître la surface cisailée, la valeur  $x$  du comparateur permet de déduire la force effectivement nécessaire.

On peut en tirer la contrainte tangentielle  $\tau$  (- kg/cm<sup>2</sup>) (~~voir annexes~~)  
Il est souvent souhaitable de suivre pendant le cisaillement, l'évolution du volume du sol.

Essai après cisaillement.

On détermine la teneur en eau du sol cisailé. Il est souhaitable de s'assurer de l'homogénéité de l'éprouvette, la présence de petits morceaux crayeux ou de racines peuvent rendre certaines mesures aberrantes.

Résultats et discussion de l'essai.

Comme indiqué plus haut, on dispose, comme éléments, de la contrainte normale  $\sigma$ , et de la courbe "charge - surface de cisaillement", dont on doit tirer la contrainte tangentielle. Or l'allure de cette courbe est différente suivant la nature du sol et se résume, pour les échantillons examinés, à trois types principaux. La similitude de ces courbes avec celles de traction des métaux est frappante.

- 1 Type A - Courbe rapidement ascendante, puis passent par un maximum ou se stabilisent à une valeur maximale. C'est le cas habituel des sables et aussi des argiles franches sèches. Paradoxalement, ce cas est donc aussi bien celui des sols franchement frottants que celui des sols franchement cohérents.

Ainsi = FEUILLERES D2 à 3.50, sable très fin argileux compact (après consol.).

- 2 Type B - Courbe sans point d'inflexion défini, et progressivement croissante, sans qu'il apparaisse une stabilisation. C'est le cas presque exclusif des tourbes et vases tourbeuses.

L'appréciation de la contrainte tangentielle en devient délicate. Il semble donc que l'essai, mené dans ces conditions ne puisse donner de résultats pour ces sols qu'avec incertitude. Remarquons par ailleurs que dans le cas des tourbes, avec un cisaillement rapide, la teneur en eau est telle le plus souvent que c'est l'eau qui encaisse une partie des contraintes normales, ce qui conduit à négliger  $\varphi$  même s'il existe, et à ne considérer que  $c$ , habituellement très faible.

Pour des raisons de sécurité, l'influence de  $\varphi$  étant très grande dans les calculs de portance, il sera conseillé de n'en tenir compte qu'avec la plus grande prudence.

Ainsi FEUILLERES, D à 6.20, tourbe noire compacte, cu D 5.80 argile tourbeuse brune.

ST-MARD, A à 4.30, tourbe sableuse légère et molle,  
cu B à 5.00 limon vaseux tourbeux.

./...

3 Type C - Courbe intermédiaire entre les deux précédentes, et présentant une partie Oa initiale courte très rapidement ascendante, une seconde partie a.b ascendante mais plus lente et assez longue, enfin la partie b.c correspondant à la stabilisation, cisaillement terminé et les deux parties de sol glissent l'une sur l'autre.

Ce cas correspond en général aux sols vaseux, plus ou moins argilo sableux, aux sols mous des alluvions quaternaires, à l'exception des tourbes franches.

Ainsi ST-MARD, A à 3.10, limon vaseux gris argilo  
tourbeux.

ST-MARD, D<sub>1</sub> à 1.60, sable argileux calcaire.

La présence d'au moins deux cassures + nettes rend ici encore la détermination de la contrainte tangentielle difficile.

On peut admettre que la partie o.a correspond à la déformation élastique, la partie a.b à la déformation non élastique, et le point b à la rupture.

L'expérience de l'Auteur, pour les sols examinés dans le présent travail, tendrait à montrer que le choix de ces points donc de  $\zeta$ , n'entraîne que de faibles variations de  $\varphi$ , seule la cohésion s'en trouvant modifiée. Or il faut remarquer que la valeur des constantes de cisaillement ne dépend pas seulement de la contrainte normale, mais aussi entre autres, de la pression capillaire du sol, et de la vitesse d'application. (1)

Il semble admis que l'angle de frottement interne apparent des essais rapides aurait tendance à être plus faible qu'il ne l'est réellement. Par contre, l'effort de cisaillement, transmis par les parois de la boîte, correspond en fait à un couple qui augmente la résistance apparente du sol au cisaillement. Ces facteurs jouent en sens inverse.

(1) L'influence de la vitesse d'essai sur les constantes de cisaillement fera l'objet d'une autre étude actuellement en début de réalisation.

Nous avons donc considéré que la partie O.a traduisait la mise en tension de l'échantillon de sol et le début réel du cisaillement, la partie a.b représentant le cisaillement proprement dit, et la partie b.c correspondant à la rupture. Ceci n'est qu'une hypothèse commode d'interprétation, nous amenant à choisir de préférence comme valeur prudente de cisaillement la zone "ab" (limite élastique).

Signalons pour terminer qu'il faut veiller, dans la mesure du possible, à ne pas dépasser en contrainte normale, la pression éventuelle de préconsolidation. On se trouverait en effet en présence du même sol, sur deux états différents, ce qui conduirait à des points expérimentaux appartenant à deux droites différentes. Ceci paraît être le cas des sables limono argileux très mouillés (vases sablo limoneuses).

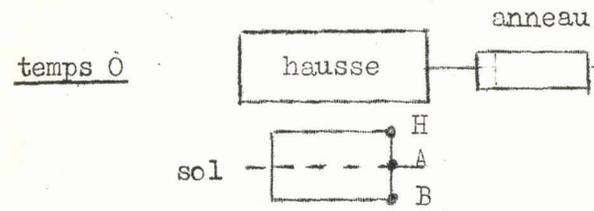
type D

ANNEXE - Calcul de la surface réelle de cisaillement.

Dans la machine employée, le point fixe de l'anneau dynamométrique est celui opposé à la boîte de cisaillement. L'anneau se déformant en cours d'essai, la valeur de cette déformation intervient dans le calcul de la surface réelle de cisaillement.

Décomposons l'appareillage en base (ou partie inférieure), hausse (ou partie supérieure), la première reliée au moteur d'entraînement, la deuxième au dynamomètre.

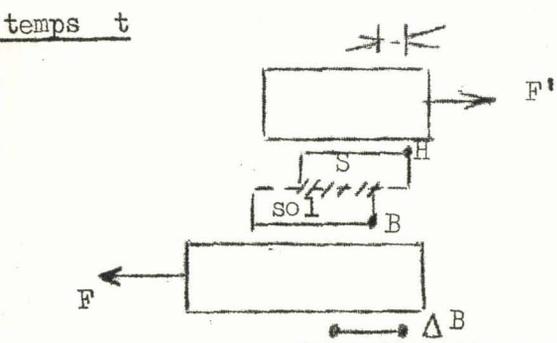
./...



Au temps 0, les points H du sol dans la hausse, A du sol en place futur de cisaillement, et B du sol dans la base, sont dans un même plan vertical.



Au temps t, le point B s'est déplacé à la vitesse de 1 mm/minute, et le point H, soumis à l'action de cette vitesse, suit une certaine loi de déformation que l'on mesure sur le comparateur de l'anneau dynamométrique.



En fait, en A, le plan de cisaillement s'est effectivement déplacé de  $\Delta B - \Delta H$ . La surface réelle cisailée, dans le cas d'une boîte carrée 6 x 6, sera donc :

$$S = 60 ( 60 - \Delta B + \Delta H )$$

(mm<sup>2</sup>)

$\Delta B$  est déterminé par le temps t, la vitesse étant constante, et  $\Delta H$  par la déformation du dynamomètre, lue directement sur le comparateur.

Les forces mises en présence sont d'ailleurs, d'une part l'action de la base sur le plan de cisaillement (F), d'autre part l'action de la hausse sur le plan de cisaillement (réaction de l'anneau F') constamment égales et opposées.

./...

ESSAI DE CISAILLEMENT

Type A

Feuilles de  $D_2$  à 3.50

$\sigma = 0.83$

$\sigma = 0.56$

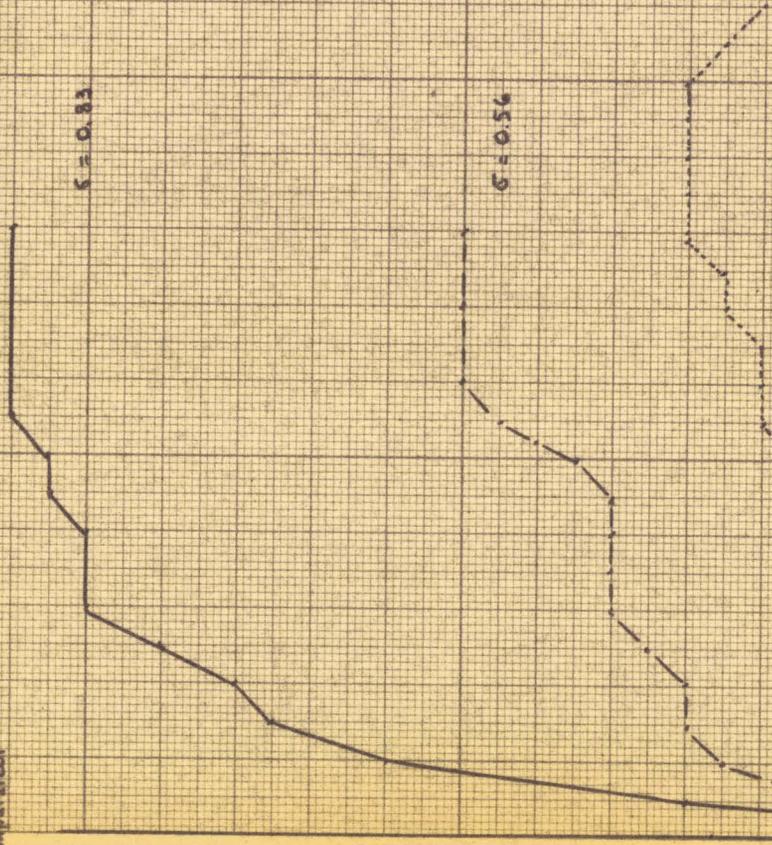
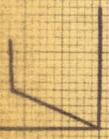
$\sigma = 0.18$

lectures du comparateur

15

10

5



Type B

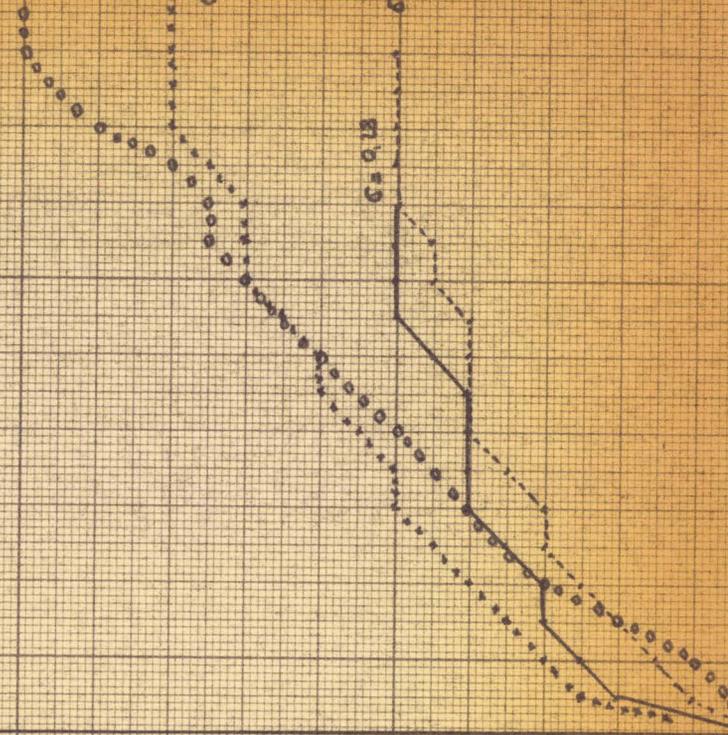
SiHard A à 4.30

$\sigma = 0.56$

$\sigma = 0.18$

$\sigma = 0.18$

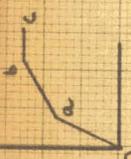
$\sigma = 0.14$



Trumps



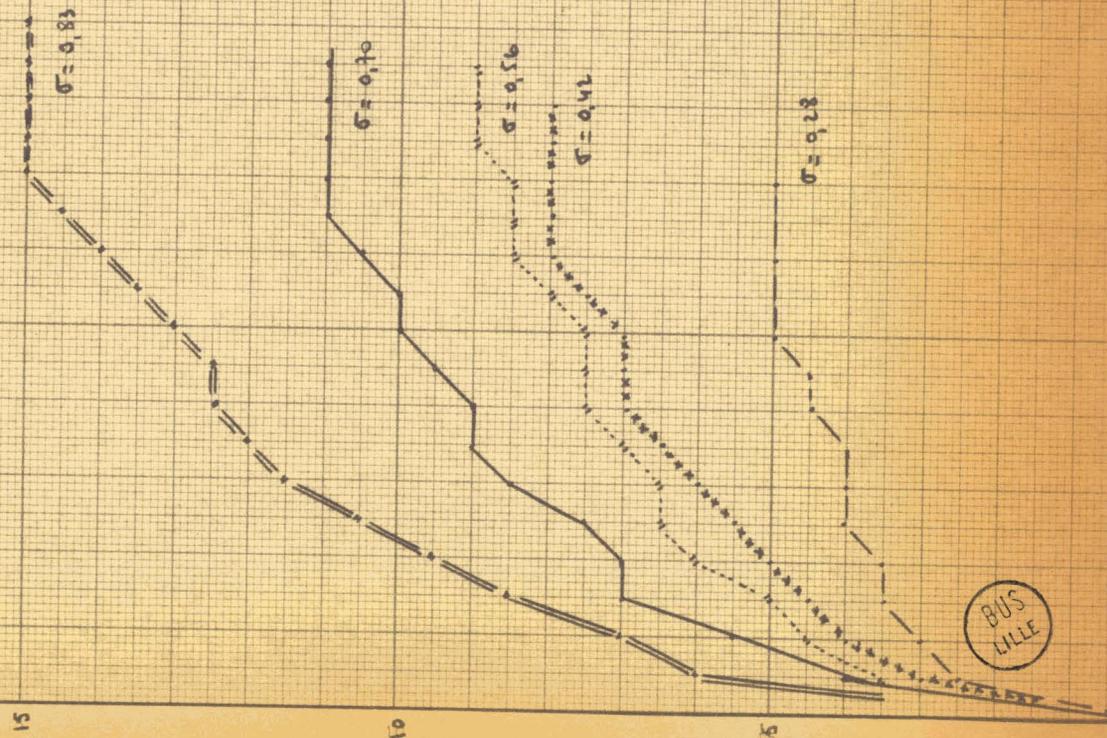
# ESSAI DE CISAILLEMENT



## Type C

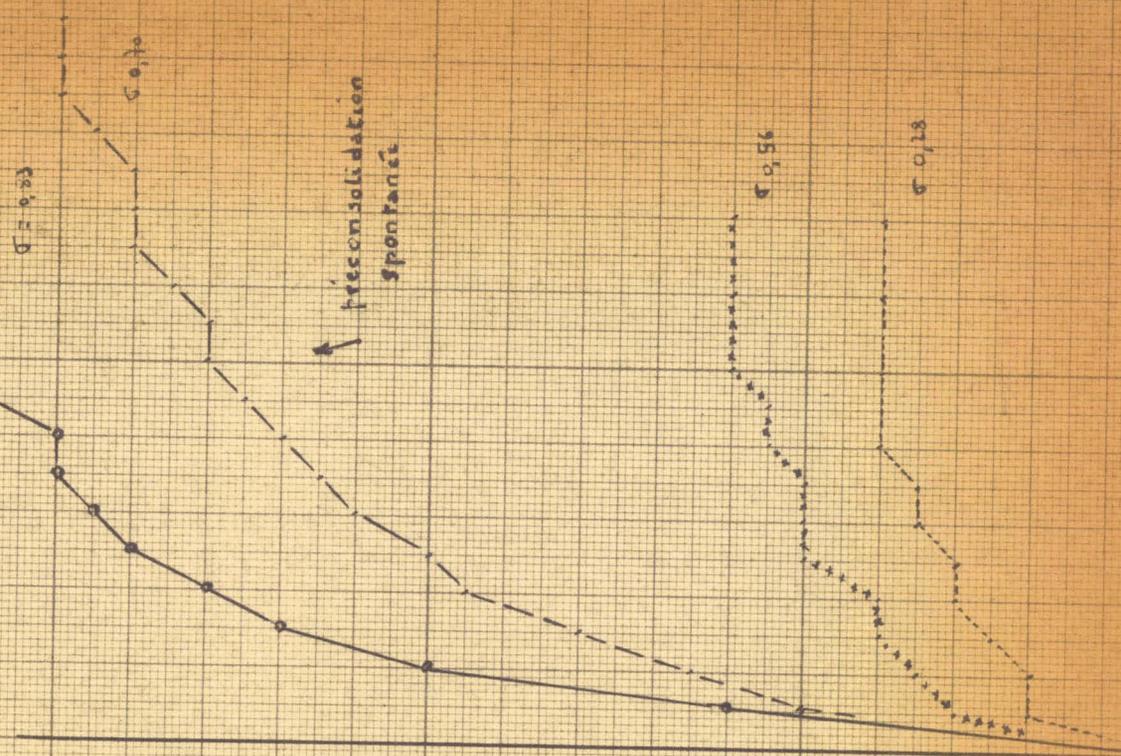
S'Imard A 3, 10

Lechures  
du  
comparateur

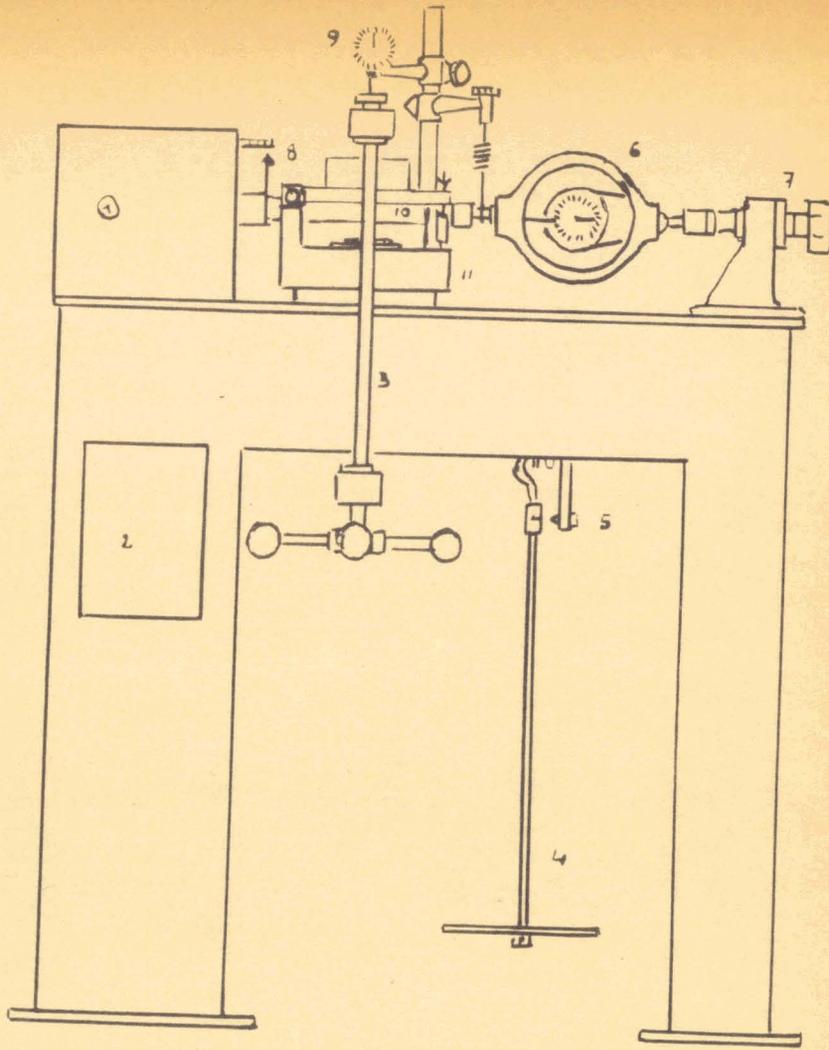


## Type D

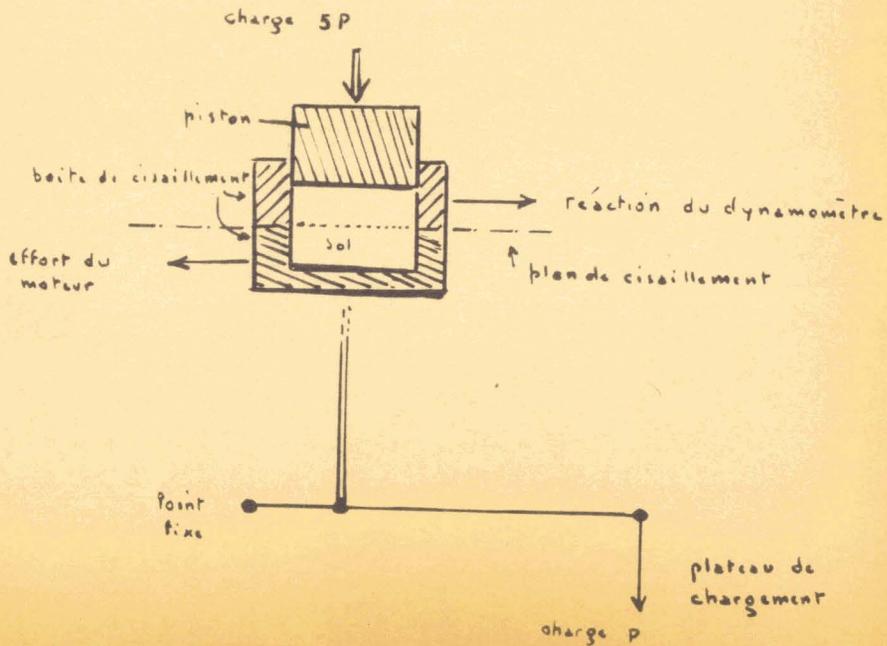
Fevilliers Ø 5, 10



# MACHINE DE CISAILLEMENT A VITESSE CONSTANTE M. et O.



- 1 moteur électrique
- 2 tableau de commande
- 3 étrier de chargement
- 4 plateau de chargement
- 5 repère d'horizontalité
- 6 anneau dynamométrique
- 7 réglage de l'anneau
- 8 index de course
- 9 comparateur de
- 10 boîte de cisaillement
- 11 chariot support de boîte



232 - Essai oedométrique ou de compressibilité - perméabilité.

But de l'essai.

Lorsqu'un sol saturé est soumis à une charge, celle-ci est en général supportée initialement par l'eau des pores, qui est incompressible. La surpression de l'eau des pores au voisinage du point d'application de la charge entraîne une circulation d'eau vers les zones de moindre pression, en fonction de la perméabilité du sol. Il y a donc progressivement transfert de la charge de l'eau sur le squelette solide, avec élimination de l'eau, et modifications éventuelles de la structure du squelette solide : ce phénomène s'appelle consolidation.

L'objet de l'essai est d'une part d'étudier la consolidation d'un sol intact (ou remanié), soumis à des charges verticales, drainé suivant cette direction et maintenu latéralement par une enceinte rigide, et d'autre part, de suivre l'évolution de la perméabilité de ce sol.

Il permet de prévoir l'importance de la durée des tassements de terrains, sous réserve de nombreuses hypothèses à vérifier dans chaque cas particulier.

Appareillage.

- Oedomètre - Appareil de consolidation en laiton nickelé constitué par :
  - un cylindre de 38,5 cm<sup>2</sup> de section, muni d'un piston creux dont la base est constituée par une plaque poreuse, et la tête munie d'une plaque devant supporter la charge.
  - une base munie également d'une pierre poreuse, avec une arrivée d'eau et un purgeur, pouvant se fixer au cylindre par une bague vissée, l'étanchéité étant obtenue par un joint torique.
  - une groupille pouvant traverser diamétralement le piston et le cylindre en deux positions différentes et permettant ainsi d'obtenir deux hauteurs différentes entre pierres poreuses. (12 ou 24 mm).

./...

- une bague porte comparateurs, solidaire du cylindre, avec deux comparateurs au 1/100 mm.
- une barre horizontale solidaire du piston et servant de point d'appui aux palpeurs des comparateurs.
- Perméamètre - Tube de verre gradué d'environ 5 mm<sup>2</sup> de section et 60 à 80 cm de haut, muni d'un réservoir pouvant être relié à l'oedomètre par un tube de caoutchouc.
- Bati de consolidation - Bati servant de support à l'oedomètre et permettant d'appliquer les charges sur le piston par l'intermédiaire d'un étrier chargé par un levier de rapport 5, chargé lui même par un plateau à poids.
- petit appareillage courant = couteaux, balance, étuve, verrerie ...

#### Mode opératoire.

- tarages préalables.

Le tarage de l'oedomètre consiste à mesurer la hauteur exacte de l'échantillon A qui correspond à la distance exacte entre les pierres poreuses. Il doit être refait à chaque remplacement de ces dernières.

Le tarage du perméamètre se fait en déterminant par pesée d'eau (ou de mercure de préférence), le volume d'une série de graduations du tube. Il est fait une fois pour toutes.

- préparation des échantillons.

Les éprouvettes à confectionner doivent avoir au moins 70 mm de diamètre. Elles peuvent être de 2 hauteurs différentes : 12 ou 24 mm. On préfère prendre 12 mm habituellement, car on diminue la durée de la consolidation (proportionnelle au carré de l'épaisseur) et l'importance des frottements latéraux. Si le sol est granuleux il est préférable de prendre 24 mm, les grains ne devant pas, dans ce cas, dépasser 5 mm.

./...

Les carottes sont extraites avec précaution des conteneurs, fendus au préalable suivant une ou plusieurs génératrices, comme indiqué plus haut. Un cylindre du sol intact est posé sur le cylindre retourné muni du piston goupillé à la hauteur désirée, et taillé au couteau jusqu'à ce qu'il puisse se loger exactement dans le cylindre légèrement vaseliné. Il est ensuite arasé.

- mise en place du perméamètre.

Le perméamètre est gradué de 10 à 60, en cm. La côte 10 doit se trouver exactement à 10 cm au dessus du niveau supérieur de l'eau dans l'oedomètre, niveau réglé par le trou de goupille du piston, variable donc avec la hauteur de l'échantillon. Il convient de régler la position du perméamètre en conséquence.

L'alimentation en eau se fait par un réservoir latéral muni d'un robinet. Le tube gradué est relié à l'oedomètre par un tuyau de caoutchouc muni d'un bouchon traversé par un petit tube de verre. Ce bouchon est placé sur son support en haut du perméamètre.

On remplit le réservoir d'eau distillée, et on laisse déborder les tubes, en ouvrant le robinet, pour chasser les bulles d'air. On referme ensuite le robinet.

- mise en place de l'oedomètre.

La base de l'oedomètre est munie d'un tube de verre coudé. On verse de l'eau distillée dans le tube, la vis de purge étant ouverte, jusqu'à ce que l'écoulement se fasse sans bulles d'air. On referme alors le purgeur et on verse de l'eau dans le tube jusqu'à ce qu'elle apparaisse à la face supérieure de la pierre poreuse.

On visse alors le cylindre contenant l'échantillon sur la base, à l'aide des broches de l'écrou, le joint torique assurant l'étanchéité. Le piston étant arrêté par la goupille, on place ensuite les deux comparateurs de telle sorte que les palpeurs s'appuient sur la barette solidaire du piston.

On place l'oedomètre sur le bâti, on complète le remplissage du tube coudé, on verse de l'eau dans le piston jusqu'au niveau de la goupille, on place la tête du piston puis l'étrier de chargement. Les vis de ce dernier sont réglées pour obtenir une bonne horizontalité du fléau.

- Détermination de la hauteur initiale de l'échantillon.

Les comparateurs étant réglés au zéro, on retire la goupille qui fixe le piston au cylindre.

L'étrier étant équilibré avec le levier du bâti, seul le piston exerce une charge (0,047 kg/cm<sup>2</sup>). Si les comparateurs restent au zéro, ou marquent un tassement progressif lent, on peut conclure que le piston était bien en contact avec l'éprouvette, et que la hauteur initiale de cette dernière est celle obtenue par tarage préalable :

$$H_0 = L$$

Si les comparateurs marquent un affaissement brusque suivi ou non d'un tassement lent progressif, on conclut que cet affaissement est dû à la mise en place du piston sur l'éprouvette. Si les lectures des comparateurs, correspondant à l'affaissement brusque sont  $m$  et  $m'$ , on a :

$$H_0 = L - \frac{m + m'}{2}$$

- Saturation de l'échantillon.

Le tube coudé de l'oedomètre étant plein d'eau, on branche le caoutchouc du perméamètre en ayant soin de ne pas introduire de bulles d'air. L'éprouvette est ainsi soumise à une charge d'eau égale à la différence des niveaux entre le perméamètre et le trou de goupille du piston.

./...

La rapidité de la saturation dépend de la perméabilité. Il peut y avoir gonflement ou tassement pendant cette opération qui est considérée comme terminée quand les comparateurs ne varient pas de plus de 5/1000 mm. On commence alors le chargement.

- chargement du sol.

La charge totale à appliquer dépend du terrain et des charges réelles devant s'exercer in situ. Or les terrains tassent de façon inégale suivant les cadences de chargement. Les charges étant appliquées progressivement dans la réalité, on adopte en général le cycle suivant :

piston	1	-	2	-	3	-	5	-	10	-	20	-	40	-	80	kgs
soit	0,047	-	0,177	-	0,310	-	0,440	-	0,700	-		-		-		
	1,350	-	2,650	-	5,250	-	10,450	-		-		-		-		kg/cm <sup>2</sup> .

La saturation étant obtenue, on débrenche le perméamètre et on place sans choc un poids de 1 kg sur le plateau, et on déclanche le chronomètre.

On lit, sur les comparateurs, les tassements à 15" 30" 1' 2' puis ensuite matin et soir, jusqu'à ce que les lectures successives ne diffèrent pas de plus de 1/100 mm. On applique alors la charge suivante, sans jamais décharger le plateau, même pour un temps très court.

- essai de perméabilité.

La perméabilité aux divers états d'équilibre est indispensable si l'on veut connaître l'allure de la consolidation en fonction du temps, et donc les durées de tassement.

Le logarithme du coefficient de perméabilité varie en général linéairement en fonction de l'indice de vides, donc du tassement. On peut donc réduire le nombre de ces essais.

Dès que la consolidation sous une charge est terminée, on rebranche le tube du perméamètre, on ramène si possible le niveau à 60, et on mesure le temps nécessaire pour que ce niveau passe d'une valeur  $Z_0$  à une valeur  $Z_1$  (ce temps peut varier de quelques minutes à plusieurs heures suivant la nature du sol).

La charge hydraulique est donc  $Z_0 - Z_1$ , car le zéro de l'échelle correspond au niveau d'eau dans le piston, niveau défini par le trou de goupille servant de trop plein.

On débranche ensuite et on procède à un nouveau chargement.

- Déchargement de l'éprouvette.

Après consolidation sous la charge maximale prévue, on procède au déchargement en laissant l'éprouvette se stabiliser sous chaque charge. Il faut veiller à ce qu'il ne manque pas d'eau dans le tube coudé pendant l'opération.

- Mesures après essai.

Après démontage, on détermine la teneur en eau finale de l'échantillon.

Calculs et résultats.

Notre intention n'est pas d'aborder ici la théorie de la consolidation, faite par TERZAGHI. Nous indiquerons simplement très rapidement les calculs habituellement effectués.

- teneurs en eau et densités sèches avant et après essai.

- calcul du tassement T

./...

- calcul du tassement T

- soit  $H_0$  la hauteur initiale de l'éprouvette connue par le tarage de l'oedomètre
- $M$  la moyenne des deux comparateurs correspondant à une pression donnée  $p$
- $M_0$  moyenne des affaissements de deux comparateurs en début d'essai
- $H$  la hauteur de l'éprouvette après consolidation à une pression  $p$

$$H = H_0 - M \quad \text{si} \quad M_0 = 0$$

$$H = H_0 - (M - M_0) \quad \text{si} \quad M_0 \neq 0$$

$T \ \% \quad = \quad 100 \quad \frac{H_0 - H}{H_0}$
--

Ceci permet de construire la courbe des tassements en fonction des pressions exercées. Cette courbe est tracée sur papier semi logarithmique. On peut obtenir soit une droite plus ou moins inclinée : cas des sols non consolidés ou avec pression de préconsolidation inférieure à la charge du piston ; soit une courbe présentant un point d'inflexion : cas des sols ayant subi une certaine préconsolidation.

Le calcul peut se faire en fonction de l'indice des vides, mais la représentation directe du tassement est plus " parlante ".

- calcul du coefficient de perméabilité  $k$ .

soit  $s$  la section du tube du perméamètre

$S$  la section de l'éprouvette de sol

./...

Z la charge hydraulique à l'instant t

dZ la variation du niveau de l'eau dans le tube pendant le temps dt

le débit d'eau q qui traverse le sol à l'instant t est :

$$q = - s \frac{dZ}{dt}$$

Or, d'après la loi de DARCY :

$$q = KS \frac{Z}{H} = - s \frac{dZ}{dt}$$

$$\text{ou } K dt = - \frac{s}{S} H \frac{dZ}{Z}$$

$$\text{qui donne, par intégration } K t = - \frac{s}{S} H \log Z$$

$$\text{soit, de } t_0 \text{ à } t_1 = K (t_1 - t_0) =$$

$$\frac{s}{S} H \frac{1}{M} \log \frac{Z_0}{Z_1}$$

$$\text{en posant } M = \log 10^e = 0,43 \text{ soit } \frac{1}{M} = 2,3$$

on obtient finalement :

$$K = 2,3 \frac{s}{S} \frac{H}{t_1 - t_0} \log. \frac{Z_0}{Z_1}$$

On résoud habituellement l'ensemble de la formule par logarithmes, et on calcule à l'avance les termes constants pour un appareil donné = 2,3  $\frac{s}{S}$

./...

Il est à remarquer que K varie avec la température, la viscosité  $\eta$  de l'eau pouvant être différente. On ramène en général à 20°.

$$K_{20} = K_{\theta} \frac{\eta_{\theta}}{\eta_{20}}$$

La courbe représentative de la variation de K en fonction de la charge appliquée est tracée sur papier semi logarithmique.

Elle est en général une droite, ce qui permet de limiter les essais de perméabilité.

On peut aussi faire la représentation de K en fonction de l'indice des vides.

#### Examen

##### critique de l'essai.

Au prix de l'acquisition d'un certain nombre de tours de main, l'essai est représentatif et fidèle. Des essais menés sur des échantillons provenant du même sol donnent en effet des résultats concordants, même si on fait varier la hauteur de l'éprouvette.

Quelques résultats ainsi obtenus lors de l'examen de la Vallée de l'AVRE ont été portés dans le tableau ci-après.

Par contre, les perméabilités paraissent dépendre dans une certaine mesure de la hauteur, car les valeurs les plus faibles correspondent systématiquement aux épaisseurs les plus fortes.

./...

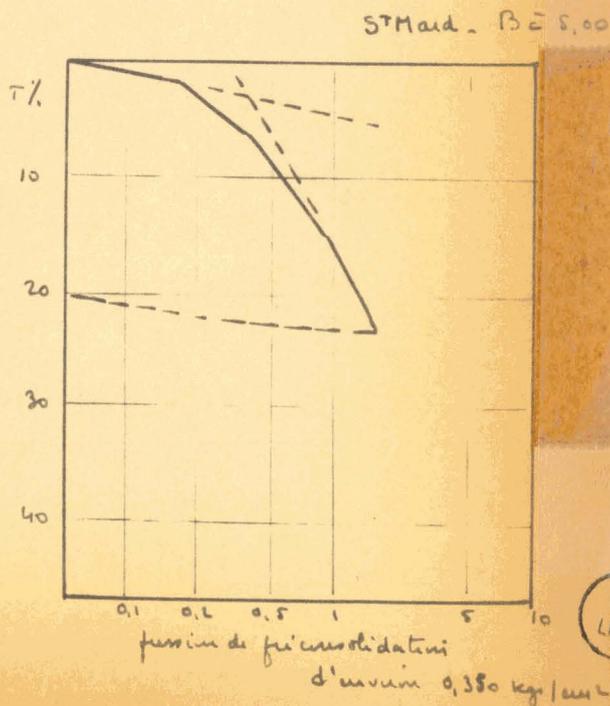
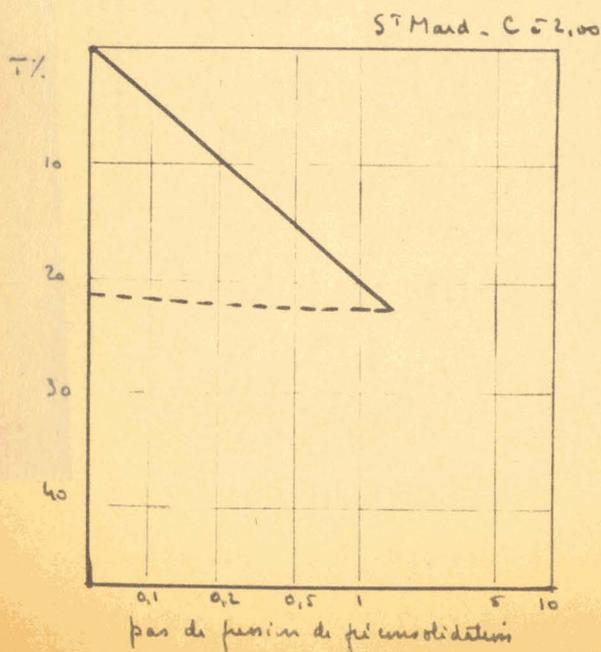
SONDAGE	B	B	C	C1	C1
PROFONDEUR	2.60	5.00	2.00	3.40	5.70
EPAIS. ECHANTILLON	11,00	22,74	10,70	22,91	22,60
Tassement %					
0.047	0	0	0	0	0
0.177	6,4	3,3	8,1	5,8	3,6
0.310	11,6	10,8		15,4	15,2
0.440		15,7	14,4	18,3	19,5
0.570			19,2	21,9	21,8
0.700		26,0	25,5	27,5	28,9
1.210			23,7	30,7	46,2
1.350			30,2	52,5	52,5
2.000					
1.350		28,0	30,2	27,4	28,7
0.700		27,5	29,9	30,7	51,4
0.570	25,7	25,2	23,6	27,3	28,6
0.440		27,3	23,5	30,5	50,5
0.310	25,4	24,7			
0.177	25,0	24,4	23,0	27,0	28,3
0.047	24,1	23,2	22,1	25,6	28,1
w finale	68,5	65,0	70,0	68,5	93
K moyen (en 10 - 6)	2	0,3	2	1	0,2
sol	limon vasard gris noir.	limon vasard gris.	vase grise.	limon vasard gris.	tourbe noire

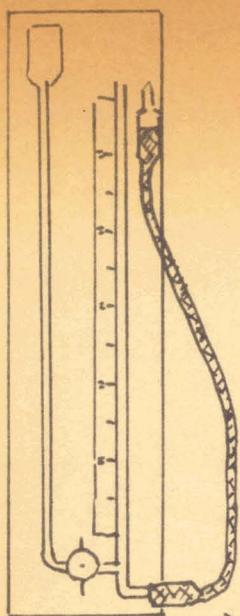
Les graphiques B - 5,00 et C - 2,00 sont annexés, à titre d'exemple de sols avec ou sans pression de préconsolidation.

Si la courbe oedométrique est celle d'un sol compressible devant supporter un remblai, et surmonté d'une épaisseur  $h$  de sol de couverture, de densité apparente  $\gamma_c$ , admis très peu ou non compressible, et, si la courbe présente une cassure, donc met en évidence une pression de préconsolidation  $p.c$ , cette dernière peut être égale ou inférieure à la charge du sol sain.

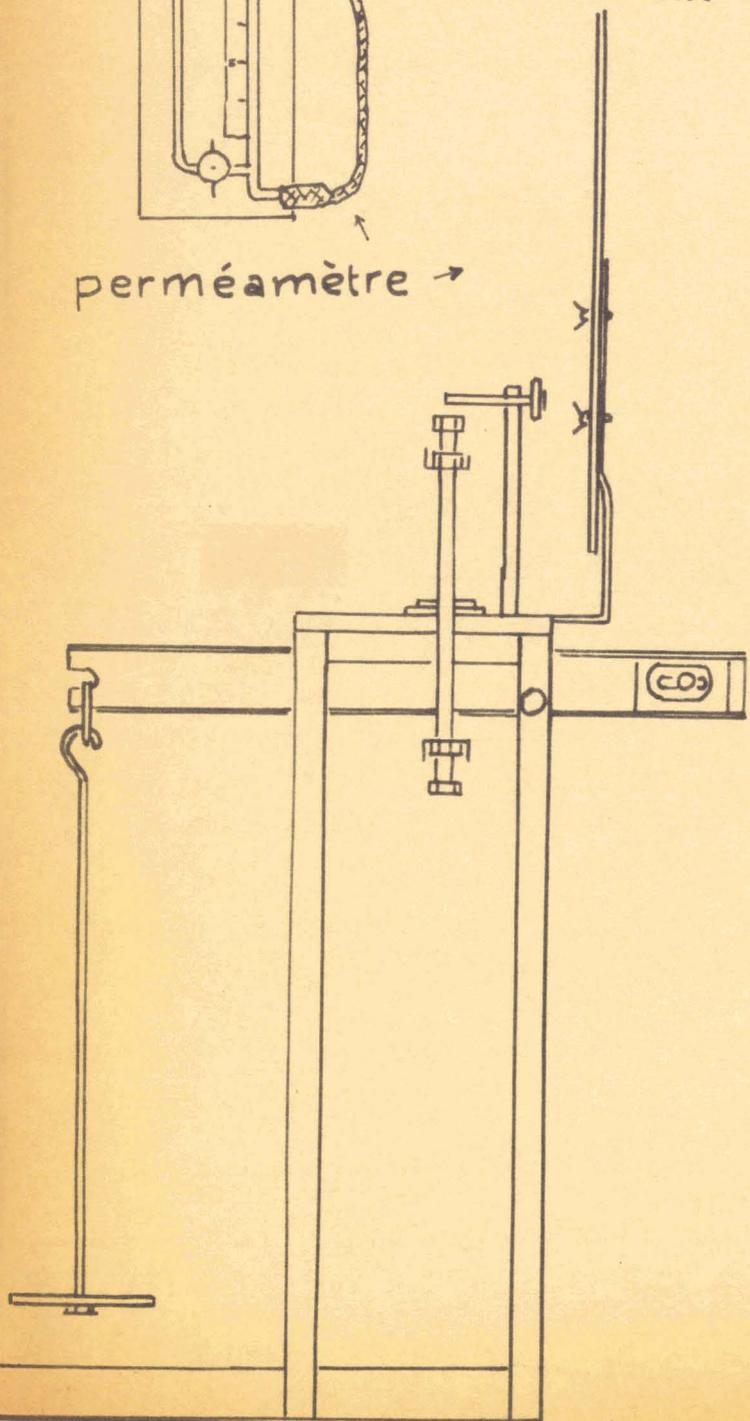
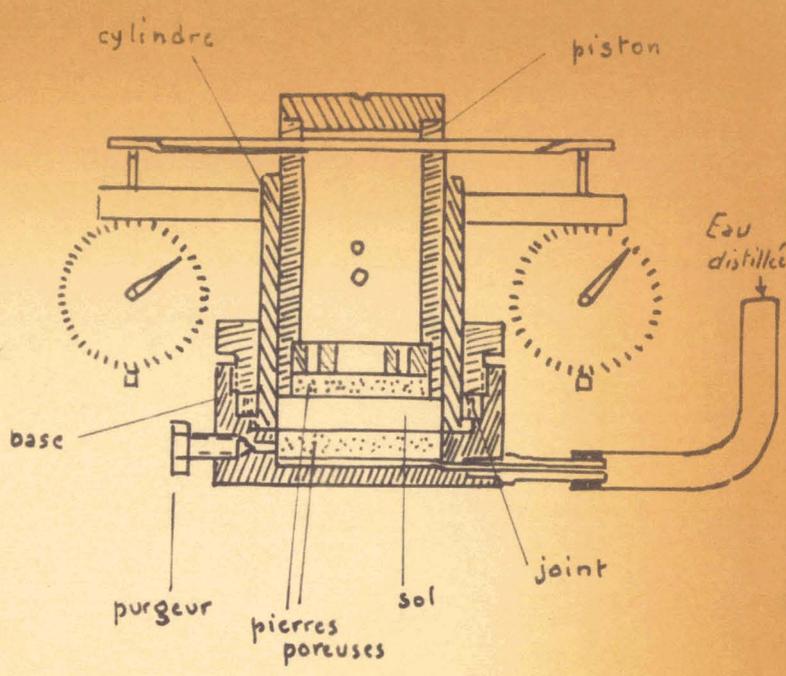
Dans le premier cas, on prend comme nouvelle origine le point de cassure, et on ne tient compte que de la surcharge apportée par le remblai. Dans le second cas, on garde l'origine initiale, et on tient compte du remblai et de la pression effective du sol de couverture (diminué de  $p.c$ ). Si la courbe ne présente pas de brisure, c'est qu'il n'y a pas eu de préconsolidation, pour une raison ou une autre, et on prendra en compte le poids du remblai + celui du bon sol.

Bien que les essais actuellement entrepris soient encore insuffisants, il semble se dégager une loi générale de correspondance entre densité sèche et tassement.





perméamètre →



OEDOMETRE

d'après M&O



24 - ESSAIS CHIMIQUES -

=====

241 - Dosage des carbonates.

Principe.

On dose le carbonate de calcium d'un sol ou d'une roche, en mesurant le volume de gaz carbonique dégagé par l'attaque de ce sol ou de cette roche par de l'acide chlorhydrique froid.

L'appareil employé est le calcimètre DIETRICH - FRUHLING.

Mode opératoire.

- Appareillage.

Sur le même support, sont placés :

- un flacon à réaction (ballon PYREX de 100 ml par exemple) destiné à recevoir l'échantillon, puis un petit tube gradué contenant 10 ml HCl pur froid, d 1,19.

Ce flacon est fermé par un bouchon de caoutchouc percé d'un tube de verre relié par un caoutchouc à un réfrigérant en spirale immergé dans un bécher.

- une burette à gaz, fixe, graduée en ml, reliée par son sommet au réfrigérant, et par sa base à un flacon de niveau pouvant être rempli d'eau distillée colorée en bleu par le bleu de méthylène, (et si possible saturée au CO<sub>2</sub>).

On égalise les niveaux pour être au zéro de la burette.

Il faut disposer en outre d'une balance sensible au 1/10 mg, d'un mortier de porcelaine ou d'agate, d'un baromètre de FORTIN et d'un thermomètre.

./...

- Préparation de l'échantillon.

Après quartage, on prélève environ 10 g de sol sec que l'on pulvérise au mortier. On prélève sur cette poudre les 3 échantillons destinés à l'essai et dont le poids est déterminé en fonction de la température et de la pression atmosphérique ambiantes par des tables, afin de simplifier les calculs (poids  $\neq$  0,8 gr).

- Réaction et lecture.

On place le sol dans le ballon à réaction. On place délicatement le tube contenant l'acide. On bouche. On renverse le ballon ce qui entraîne la réaction, et on abaisse le flacon de niveau au fur et à mesure que le gaz exerce une pression sur l'eau de la burette, pour équilibrer la pression de dégagement à la pression atmosphérique.

Quand le niveau ne varie plus, on place le ballon à réaction dans le béccher contenant le réfrigérant pendant quelques minutes, pour égaliser les températures, on établit la concordance des niveaux "burette" et "flacon de niveau", et on lit le volume gazeux dégagé V.

Calcul.

Soit V le volume de CO<sub>2</sub> lu, on cherche dans la table de DIETRICH FRUHLING le <sup>2</sup> volume v de gaz absorbé par l'acide chlorhydrique en fonction du volume V dégagé.

Le pourcentage de carbonate est :

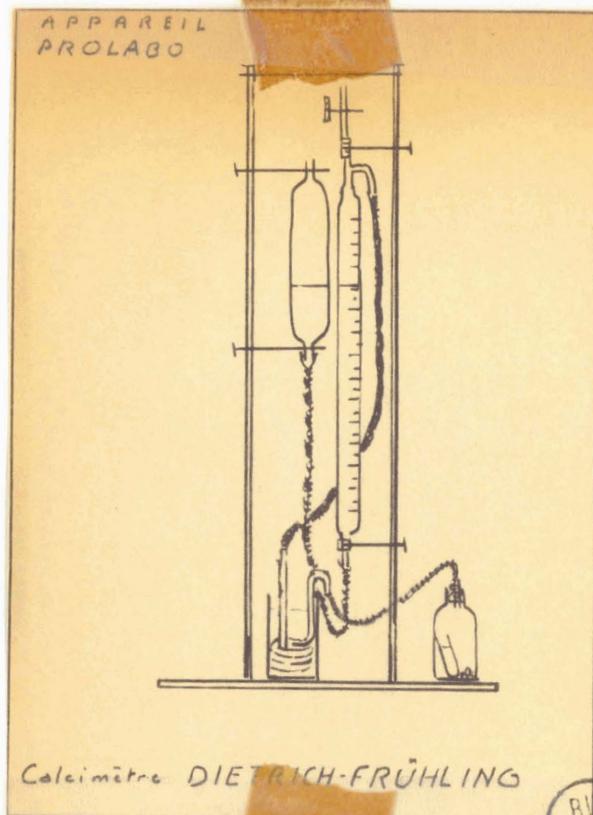
$$\text{CO}_3\text{Ca} \quad \% \quad = \quad \frac{V + v}{2}$$

On prend la moyenne de trois essais.

./...

APPAREIL  
PROLABO

- II - 48 -



242 - Dosage des matières organiques.

On dose le carbone des matières organiques par oxydation par le mélange sulfo chromique chaud et titrage de l'excès de bichromate par le sulfate ferreux, suivant la méthode ANNE.

Mode opératoire.

- Appareillage.

Ballon PYREX de 250 ml  
réfrigérant ascendant à air  
burette de 50 ml  
balance au 1/10 mg  
étuve à 100 - 110°

- Solutions.

$\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$  à 4 %.

Sel de MOHR ( $\text{SO}_4\text{Fe. SO}_4 \text{Am}_2 - 7 \text{H}_2\text{O}$ ) 0,2 M  
on dissout 78,5 gr du sel dans 500 ml eau distillée bouillie  
contenant 20 ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  concentré, puis compléter au litre.

$\text{SO}_4\text{H}_2$  ( d = 1,83 )

$\text{PO}_4\text{H}_3$  ( d = 1,71 )

solution de diphenyl amine sulfonate de baryum 0,5 %.

- Préparation des prises d'essai.

On recueille sous tamis la fraction inférieure à 0,5 mm, par voie humide. On sèche à l'étuve à 100°. Sur 50 gr. environ, obtenus par échantillonnage (quartage ou mieux, échantillonneur diviseur.), et broyés au mortier de porcelaine, on prélève trois prises d'environ 0,7 gr., ou 1/10 mg, telles qu'elles ne contiennent pas plus de 16 mg de carbone. En cas d'excès de carbone, il y a réduction du bichromate, et l'essai doit être recommencé avec une prise plus faible.

- Titrage.

Dans le ballon, on place la prise d'essai, puis 10 ml solution de bichromate, puis 15 ml d'acide sulfurique concentré. Bouillie 5 minutes sous réfrigérant = le mélange orangé vif passe au marron verdâtre par formation de sulfate de chrome.

./...

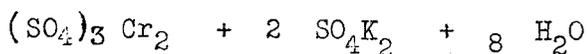
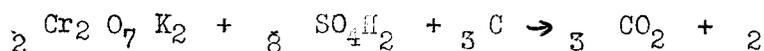
On refroidit sous courant d'air et on dilue avec de l'eau distillée jusqu'à 150 ml environ. On tamponne par  $\text{PO}_4\text{H}_3$ , 5 à 10 ml, pour empêcher la formation de  $\text{Fe}^{+++}$  qui gêneraient la coloration, et on dose par la solution de Mohr, en présence de DPAS Baryum.

Le liquide passe du marron au violet puis au vert très clair puis au vert émeraude. On arrête au vert très clair. Il est recommandé d'ajouter à nouveau 2 ou 3 gouttes de réactif quand la teinte violette apparaît. Soient V le nombre de ml ajoutés.

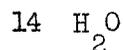
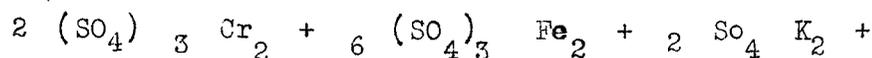
On effectue un titrage témoin, dans les mêmes conditions, en présence de sable calciné. Soient V' les ml de solution de Mohr.

Calculs.

La méthode de dosage revient en fait à établir une correspondance entre  $\text{SO}_4\text{Fe}$  et C.



soit 2  $\text{Cr}_2 \text{O}_7 \text{K}_2$  correspondant à 3 C



./...

soit 2  $\text{Cr}_2 \text{O}_7 \text{K}_2$  correspondent à 12  $\text{SO}_4\text{Fe}$

donc 12  $\text{SO}_4\text{Fe}$  correspondent à 3 C

ou 1 ml de solution de Mohr 0,2 M correspond à 0,61 mg de C.

Les essais de mise au point de la méthode ont montré que le rapport "Carbone déterminé par voie sèche d'après DENNSTEDT" / "Carbone par attaque sulfo chromique" était voisin de 0,976. On peut donc admettre l'équivalence :

1 ml sol. Mohr 0,2 M  $\neq$  0,625 mg de C

ce qui donne  $\% \text{ C} = \frac{62 (V' - V)}{P}$  p étant le poids de la prise d'essai (en mg)

$$\text{et } \% \text{ M.O.} = \frac{107 (V' - V)}{P}$$

On prend comme valeur, la moyenne arithmétique de 3 résultats. Le taux de M.O. est celui de la fraction du sol < 0,5 mm.

Nous avons vérifié expérimentalement que le C total, organique ou minéral, pouvait être aussi dosé, et que les carbonates ne modifiaient pas les résultats.

./...

25 - ESSAIS "IN SITU" -

=====

251 - Essai de battage.

Dans certains cas de sondages, au lieu de prélever l'échantillon par carottage rotatif, on a procédé à un carottage par pénétration, en employant le carottier par la chute d'une hauteur donnée d'un mouton de poids donné .

Le nombre de chocs nécessaires pour obtenir un enfoncement de 60 cm permet de caractériser la résistance du sol au poinçonnement, le carottier étant toujours le même (A.P.M. 78) et les conditions de battage restant constantes.

Ont été indiqués le nombre de chocs sous le vocable SPT.

252 - Prospection géophysique.

Principe.

La **pro**spection géophysique par sondages électriques a pour objet la mesure de la résistivité moyenne d'une certaine masse de terrain.

Elle consiste à faire passer un courant I entre deux points A et B, et à mesurer la différence de potentiel entre deux points M et N, situés entre A et B, et symétriques par rapport au centre O de A B.

Dans un sol homogène, on a

$$p = K \frac{\Delta V}{I}$$

p      résistivité ohms - cm

K      constante dépendant des points AM N B

$\Delta V = E$     différence de potentiel MN en volts

I      intensité courant en ampères .

Si théoriquement, le champ électrique intéresse un espace illimité, l'expérience montre que les lignes de courant efficaces, c'est à dire la profondeur de mesure, ne dépassent pas le  $1/3$  de la distance des électrodes génératrices, c'est-à-dire AB. En d'autres termes, si on dilate A M N B et si le terrain est homogène, on garde la même valeur de résistivité.

Dans le cas d'un milieu hétérogène, on mesure ainsi une résistivité apparente. En dilatant A M N B, on observe des variations de cette résistivité, qui correspondent aux changements de terrains. La "géophysique" permet donc d'obtenir un véritable sondage électrique, assimilable à un sondage mécanique.

En fait le courant électrique est surtout conduit par l'eau contenue dans le sol, et la résistivité dépend donc du nombre de canaux du sol et de la salinité de cette eau.

Mode opératoire.

L'appareil employé est un appareil USA à courant continu le "GEOMETER".

Les électrodes A et B sont des piquets de cuivre, les électrodes M et N des pots de porcelaine poreuse contenant une solution de  $SO_4Cu$ .

La source de courant est une batterie de piles sèches (100 à 150 volts).

La méthode d'investigation est celle de WENNER. Les quatre points A M N B sont équidistants, tels que =

$$A M = M N = N B = l$$

nous avons alors =

$\rho = \frac{2\pi l E}{I}$
-----------------------------

### 1° Cas - Sondage en profondeur -

En écartant les quatre poles progressivement, (ou en augmentant la distance  $l$ ), on augmente la profondeur d'investigation qui est sensiblement égale à  $l$  (tiers de la longueur A B).

Si l'on porte sur un graphique, d'une part les profondeurs ( $l$ ), d'autre part les résistivités mesurées, on obtient deux courbes. La première, correspondant aux résistivités individuelles, n'est pas vraiment exploitable. La seconde, correspondant aux résistivités cumulées, soit en somme l'intégrale de la courbe précédente, présente autant de brisures qu'il y a de changements de terrains. On peut donc facilement, déterminer par le graphique la profondeur de la couche. La résistivité moyenne de celle ci permet par ailleurs de prévoir la nature de ce sol.

En complétant une campagne de sondages électriques par quelques sondages mécaniques, on peut "étalonner" les valeurs locales de la résistivité.

### 2° Cas - Sondages en " trainé "

On mesure la résistivité du sol, en déplaçant le quadripole le long de lignes (quadrillage du terrain) sans changer la valeur de  $l$  - il y a donc une investigation à profondeur constante. En traçant sur une carte les lignes d'équirésistivités, on peut mettre en évidence les gisements intéressants. Quelques sondages en profondeur, électriques et mécaniques, permettent de compléter les renseignements.

Il est souvent avantageux de procéder à deux profondeurs distinctes, ce qui permet d'écarter l'influence perturbatrice du sol de couverture.

### Résultats .

L'avantage de la méthode est sa simplicité, la possibilité pour un opérateur de calculer sur le terrain même les épaisseurs et éventuellement la nature des diverses couches. L'exploitation de la formule est en effet immédiate.

Par contre, l'emploi de la méthode ne repose que sur l'empirisme, car ce n'est que l'observation qui a permis d'affirmer que la profondeur d'investigation était sensiblement le tiers de l'écartement total des électrodes. Il semble par ailleurs qu'il soit illusoire de chercher à déterminer de cette façon la présence des couches de faible épaisseur (inférieure à égale à  $\Delta l$ ) ou de préciser les limites entre des sols de constitution voisine (vase ou tourbe).

Le fait qu'elle demande un étalonnage par sondeuse mécanique ne constitue pas un handicap, les essais de Laboratoire exigeant de toutes façons un échantillonnage des sols.

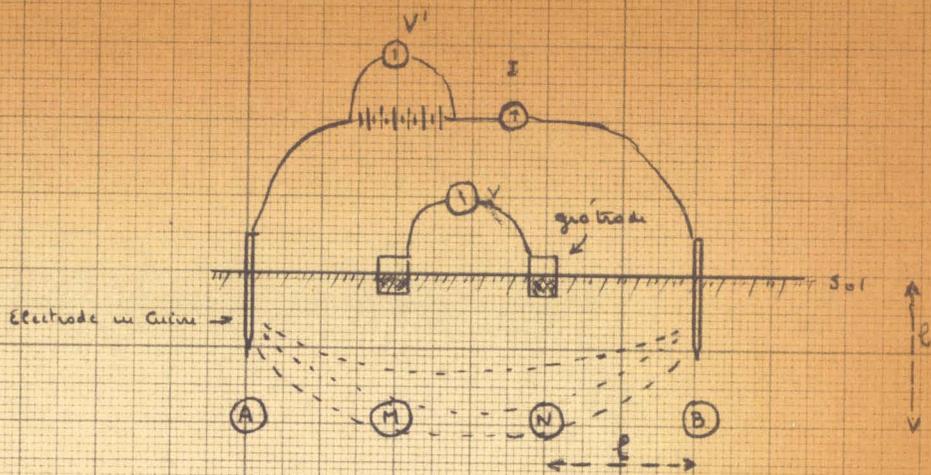
A titre indicatif, les valeurs des résistivités les plus fréquemment rencontrées sont :

de l'ordre de	30 à 50	$\omega/m$	découverte argileuse
	50 à 100		découverte sableuse ou sable sale
	70 à 600		sable <u>+</u> propre
	> 100		craie et silex.

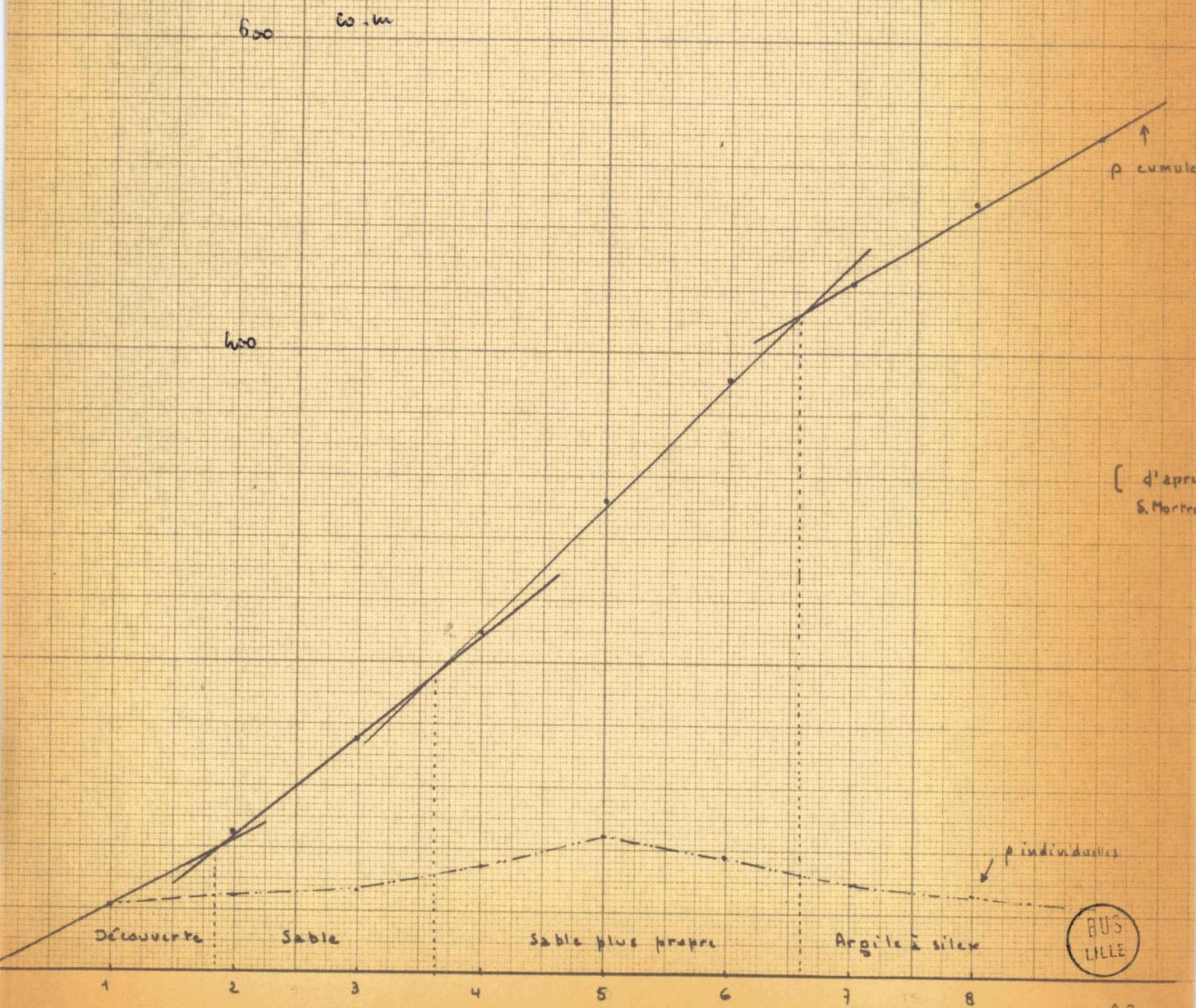
./...

# Géophysique

## Appareillage



## Courbe des résistivités cumulées



BUS LILLE

$AB = e$

253 - Scissomètre.

Principe.

Le scissomètre est un appareil ayant pour but de déterminer la cohésion en place de sols ~~peu~~ compacts (vases ou tourbes) ayant un angle de frottement négligeable.

Un système d'ailettes verticales et radiales, portées par un train de tiges à rallonges et enfoncé dans le sol à la profondeur à étudier. Un couple de torsion progressivement croissant est exercé sur le système à ailettes par l'intermédiaire du train de tiges. Ce couple de torsion est équilibré par le couple résistant dû, en première approximation, aux contraintes de cisaillement qui se développent à la surface suivant laquelle le système d'ailettes tend à découper le sol en place.

L'essai est effectué lentement pour éviter le plus possible les surpressions de l'eau interstitielle.

Lorsque le couple résistant limite est atteint, il y a cisaillement effectif du sol et le couple résistant se stabilise ou diminue légèrement. En admettant que le sol en place soit caractérisé par sa cohésion seulement, et en admettant que cette cohésion soit totalement mobilisée au moment de la rupture sur la surface latérale et sur la base inférieure du cylindre de sol que le système d'ailettes tend à découper, le couple limite est =

$$M = K C$$

M moment de torsion maximum

C cohésion

K constante

./...

Cette formule ne permet évidemment que d'obtenir une valeur approchée de la cohésion, permettant ainsi un recouplement avec les essais de Laboratoire.

Le couple de torsion exercé en tête du train de tiges est mesuré par le déplacement angulaire relatif de deux sections différentes d'un système auquel est appliqué ce couple, déplacement repéré par un index mobile se déplaçant sur une graduation horizontale, étalonné au préalable.

### Appareillage.

#### 1 Scissomètre de BORDEAUX (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées).

Un bâti en profilés, démontable, est ancré dans le sol grâce à 4 pieux munis d'une hélice et enfoncés à environ 1 m. dans le sol.

Ce bâti est surmonté d'un portique mobile, au centre duquel une tige filetée à grand pas permet d'enfoncer et d'arracher le train de tiges du scissomètre grâce à un système de liaison adéquat.

L'appareil est monté et manœuvré par 4 hommes, transportable par véhicule léger (camionnette, jeep, tub CITROEN) et pèse environ 250 kgs.

Le scissomètre proprement dit est composé de 6 ailettes rectangulaires de 10 cm de côté et 30 cm de haut, disposées à 60° les unes des autres.

#### 2 Appareil ACKER (U.S.A.)

Un sondage tubé est réalisé sans prélèvement d'échantillons intacts. A l'intérieur de ce tubage est descendu un train de tiges, maintenu dans le tubage par des bagues munies de roulements à bille, assurant ainsi un excellent centrage.

./...

Le scissomètre est monté à l'extrémité du train de tiges descendu dans le tubage et enfoncé d'environ cinq fois le diamètre des ailettes dans le sol vierge. L'essai de cisaillement est alors réalisé en tournant le train de tiges par l'intermédiaire d'engrenages démultipliés, afin d'avoir une rotation aussi lente que possible ( $6^\circ/\text{minute}$ ), et en mesurant le moment de torsion sur un petit dynamomètre fixé à un support indépendant du scissomètre.

Les ailettes ont une forme hexagonale allongée.

#### Facteurs influençant les mesures.

Les Suédois, inventeurs de l'appareil, ont étudié systématiquement l'influence de =

- la vitesse de rotation
- le nombre de pales
- le rapport hauteur - diamètre des pales
- la longueur de la tige supportant le "vane borer"
- la constance de l'application de la charge.

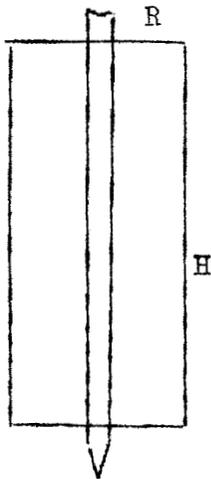
Nous n'avons ni critiqué, ni étudié systématiquement ces facteurs et avons adopté dans nos essais, les caractéristiques de l'appareil ACKER (presqu'exclusivement employé), basées sur les études suédoises et nord - américaines.

#### Calcul.

On postule au préalable que la surface de rupture est celle définie par les ailettes, et que la répartition des contraintes est uniforme sur toute la hauteur. On peut tenir compte, le cas échéant, du frottement de la tige supportant l'appareil, mais on néglige le remaniement provoqué par la pénétration des ailettes dans le sol à cisailier.

1° Cas - Pales rectangulaires (appareil de BORDEAUX) -

- On pose :
- M moment de torsion
  - C contrainte de cisaillement
  - R rayon du cylindre cisailé (ou largeur des pales)
  - H hauteur des pales



- Moment de torsion relatif à la surface latérale du cylindre :

$$M_1 = C \cdot 2\pi R H \cdot R = C \cdot 2\pi R^2 H$$

- Moment de torsion relatif aux surfaces de base du cylindre :

Soit un élément de surface  $d\sigma$  limité par deux rayons faisant un angle  $d\theta$  et par 2 arcs de cercle  $r$  et  $r + dr$  ; on peut assimiler la surface de cet élément à un rectangle , soit

$$d\sigma = r d\theta \cdot dr$$

La surface globale de tous ces éléments sera donc :

$$dS = d\theta \int r dr$$

et le moment de torsion :

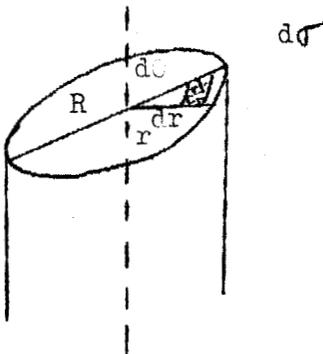
$$dM' = C dS \cdot r = C \cdot d\theta \int r^2 dr$$

$$M' = C \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R r^2 dr$$

$$M' = C \cdot 2\pi \cdot \frac{R^3}{3}$$

et pour les 2 surfaces de base :

$$M_2 = 2 M' = 2 C \cdot 2\pi \cdot \frac{R^3}{3} = 4 C \pi \frac{R^3}{3}$$



- Moment de torsion total :

$$M = M_1 + M_2 = C. 2\pi R^2 H + C. 4\pi \frac{R^3}{3} =$$
$$C. 2\pi R^2 \left( H + \frac{2R}{3} \right)$$

$$M = C. 2\pi R^2 \left( H + \frac{2R}{3} \right) = K C$$

(cas ailettes rectangulaires avec les 2 surfaces de base)

Si on ne tient compte, à cause du remaniement, que de la surface inférieure, on a :

$$M = C. 2\pi R^2 \left( H + \frac{R}{3} \right)$$

Dans le cas particulier de l'appareil de BORDEAUX

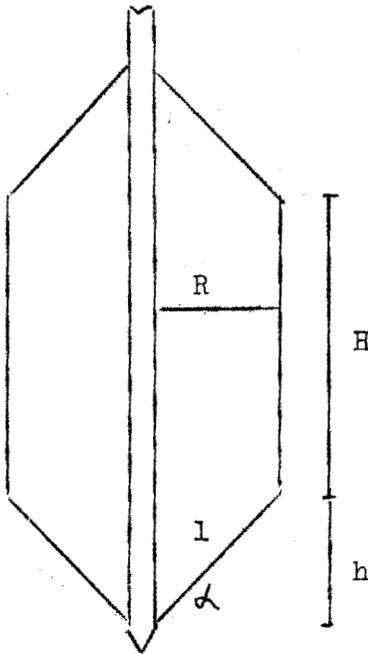
H = 30 cm et R = 10 cm, ce qui donne :

$$M \text{ (Kgm)} \neq 0,21 C \text{ (gr/cm}^2\text{)} \text{ ou}$$

$$C \text{ (gr/cm}^2\text{)} \neq 4,75 M \text{ (Kgm)}$$

./...

2° Cas - Pales hexagonales (appareil ACKER)



- On pose
- M moment de torsion
  - C contrainte de cisaillement
  - R largeur maximale d'une pale (rayon du cylindre)
  - H hauteur de la partie cylindrique
  - l longueur de la partie tronconique (d'angle α avec l'horizontale et de hauteur h)

- Moment de torsion relatif à la surface latérale du cylindre =

$$M_1 = C \cdot 2 \pi R^2 H$$

- Moment de torsion des parties coniques =

soit un élément de surface  $d\sigma$  limité par deux génératrices issues du sommet du cône A et faisant un angle  $d\theta$  et par deux plans parallèles au plan du cercle de rayon R, distants de d.

$$d = \frac{dl}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)} = \frac{dl}{\sin \alpha}$$

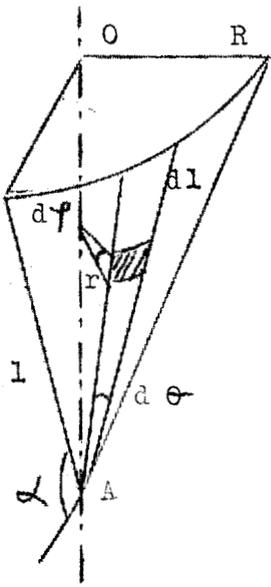
$$d\sigma = r \, d\varphi \, dl$$

$$\text{or } r = l \cos \alpha,$$

$$\text{et } d\varphi = \frac{d\theta}{\cos \alpha}$$

$$\text{donc } d\sigma = r \frac{d\theta}{\cos \alpha} \, dl = l \, d\theta \, dl$$

./...



La surface globale sera donc :

$$dS = d\theta \int_0^1 l \, dl,$$

et le moment de torsion :

$$dM' = C. \, d\theta \int_0^1 l \, dl \, r = C \, d\theta \int_0^1 l^2$$

$$\cos. \alpha \, dl$$

$$= C \int_0^{2\pi} \cos \alpha \, d\theta \int_0^1 l^2 \cos \alpha \, dl$$

(  $\psi$  varie de 0 à  $2\pi$  et  $\theta$  de 0 à  $2\pi \cos \alpha$  )

$$M' = C. \, 2\pi \cos \alpha \frac{l^3}{3} \cos \alpha$$

$$= C. \, 2\pi \cos^2 \alpha \frac{l^3}{3}$$

En considérant les deux surfaces coniques, il vient :

$$M_2 = 2 M' = 2 C. \, 2\pi \cos^2 \alpha \frac{l^3}{3}$$

- Moment de torsion total :

$$M = M_1 + M_2 = C. \, 2\pi R^2 H + C. \, 2\pi$$

$$2 \cos^2 \alpha \frac{l^3}{3}$$

Or  $R = l \cos \alpha$  et  $R^2 = l^2 \cos^2 \alpha$ , donc :

$$M = C. \, 2\pi l^2 \cos^2 \alpha H + C. \, 2\pi \cos^2 \alpha \frac{2 l^3}{3}$$

./...

$$M = C. 2\pi l^2 \cos^2 \alpha \left( H + \frac{2l}{3} \right)$$

(cas des ailettes hexagonales avec les 2 surfaces coniques)

- Pratiquement, on a  $\alpha = 45^\circ$ , donc  $\cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$  et

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{2},$$

ce qui conduit à la formule simplifiée :

$$M = C. \pi l^2 \left( H + \frac{2l}{3} \right)$$

### Résultats.

Les scissomètres permettent d'obtenir une valeur de cisaillement en place, assimilable à la cohésion dans l'hypothèse d'un sol non frottant. Ces appareils peuvent donc très utilement compléter les renseignements obtenus par les sondages classiques, mais ne peuvent les remplacer. Il faut en effet "connaître" le sol en place, et seuls des essais différents et nombreux permettent de "cerner" la réalité du sol réel.

./...

Il importe par ailleurs de remarquer que le scissomètre donne une valeur de cisaillement surtout vertical, alors que l'essai en Laboratoire correspond à un cisaillement horizontal.

Il existe depuis peu des scissomètres de Laboratoire d'origine anglo américaine.

./...

26 - CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES SOLS REGIONAUX -  
=====

Il a paru intéressant d'indiquer, même très sommairement, les caractéristiques géotechniques "moyennes" d'un certain nombre de sols régionaux, même lorsque les déterminations étaient incomplètes.

Les principales indications sont :

Equivalent de sable E.S.

Densité sèche maxima Proctor normal ou Proctor modifié ds PN ds PM

Teneur en eau optima PN ou PM w PN w PM

% passant au tamis de 80 microns. % 0.08

Nous allons suivre l'ordre "surface - profondeur".

261 - Formations quaternaires.

a<sup>2</sup> alluvions modernes.

Leur étude fait l'objet des chapitres 3 - 4 - 5.

a<sup>1 a</sup> alluvions anciennes.

Leur importance géotechnique est considérable, puisque ce sont les matériaux de Ballastières qui servent à la réalisation des "graves" employées en corps de chaussée.

La qualité géotechnique de ces dépôts est très variable suivant leur origine et leur mode de prélèvement.

<u>AISNE</u>	E.S.	≠	50	(40 à 80)
	ds	PM		1.90 à 2.10
	w	PM	7	à 12
	%	0.08	2	à 12

Graves 0/40 silico calcaires tendres (teneur en  $\text{CO}_2\text{Ca}$  60 à 80 %), très sableuses, sensibles au gel, et de résistance moyenne à l'attrition.

Elles conviennent davantage en sous couche de chaussée, qu'en couche de base. Ces graves se compactent bien par écrasement des parties crayeuses tendres qui forment mortier.

Stabilisation au ciment possible avec un dosage de l'ordre de 4 - 5 %.

<u>VESLE</u>	E.S. $\neq$ 50 (30 à 80)
	ds PM 1.90 à 2.00
	w PM 8 à 13
	$\frac{1}{2}$ 0.08 1 à 8

Graves silico calcaires plus dures que celles de l'AISNE. La teneur en  $\text{CO}_2\text{Ca}$  varie de 50 à 70. Faciles à compacter, meilleures d'emploi que celles de l'AISNE, elles restent encore assez fragiles, sensibles au gel et fort sableuses.

<u>MARNE</u>	E.S. 30 à 40 (20 à 80)
	ds PM 2,00 à 2,10
	w PM 6 à 9
	$\frac{1}{2}$ 0.08 2 à 8

Graves silico calcaires 0/60 très sableuses, riches en  $\text{CO}_2\text{Ca}$  (50 à 70), plus résistantes que les précédentes. On ne les emploie habituellement, en 0/60 ou 0/30 qu'après désablage et reconstitution. Facilement compactables.

Stabilisables au ciment au dosage de 3 - 5 %.

Ces graves sont utilisées en couches de base de chaussée (partie "moyenne" entre la fondation et le revêtement).

./...

SOMME E.S.  $\neq$  30  
ds PM 2.05 à 2.20  
w PM 6 à 9  
 $\% 0.08$  1 à 8

Graves silico calcaires 0/60 à 0/80, utilisées pour les couches de base.

OISE E.S.  $\neq$  30 (20 à 60)  
ds PM 2.05 à 2.15  
w PM 5 à 7  
 $\% 0.08$  1 à 7

Graves 0/25 reconstituées à partir du tout venant 0/120 alluvionnaire, par concassage, lavage et addition de sable. Les alluvions d'OISE sont en effet pauvres en sable, et constituées essentiellement de silex noirs ( $CO_3Ca$  10 % sous forme de craie blanche).

Le sable d'apport est habituellement un "sable à lapins" 0/0,2 local genre BRACHEUX.

Excellents matériaux routiers, faciles à mettre en oeuvre, insensibles au gel, résistants à l'attrition. Stabilisables au ciment au dosage de 3 - 4 %.

A - Dépôt meuble des vallées.

L'hétérogénéité de ces dépôts rend leurs qualités géotechniques très variables et nécessite une étude particulière de chaque cas en laboratoire.

./...

a b - Limon des plateaux -  
I

Sol difficile, malgré les apparences, car déterminé fondamentalement par sa teneur en eau naturelle. Peu mouillé, le limon - argileux ou sableux - a une excellente portance qui varie brutalement au delà de 15 % d'eau en général pour devenir presque négligeable (la portance peut varier dans le rapport de 20 à 1 entre 14 et 16 % d'eau par exemple).

Si l'on tient compte par ailleurs que ce sol - relativement peu argileux - absorbe l'eau très facilement et que sa teneur en eau naturelle est souvent très élevée, on admettra que son emploi ne peut se faire qu'après examen détaillé en Laboratoire.

On peut estimer que les caractéristiques moyennes "extrêmes" sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

	Limon "vrai"	Limon sableux argileux	Limon des plateaux très argileux
LL	22 à 26	22 à 30	50 à 55
IP	4 à 8	8 à 12	13 à 18
ds PM	<del>1.80</del>	1.95 à 2.00	1.90 à 1.95
w PM	10 à 14	11 à 13	10 à 12
ds PN	<del>1.70</del>		
w PN	13 à 16		

262 - Formations tertiaires.

e III Argile de LAON.

---

LL 40 à 80

IP 30 à 40

$\gamma_d$  en place 1.40

w en place 32 (entre LL et IP)

perméabilité  $10^{-7}$  cm/sec.

cohésion 100 à 300 gr/cm<sup>2</sup>.

Argile en général faiblement compressible, et qui ne doit être remaniée que le moins possible, et isolée de toute venue d'eau.

Composition moyenne =	sable	> 50 microns	= 10 %
	gros limon	20 - 50	= 20 %
	limon	2 - 20	= 20 %
	argile	< 2	= 50 %

e III Sables de CUISE.

---

ES 25 à 80 (jaune or ou rose noirâtre)

ds PN 1.50 à 1.60

w PN 14 à 18

$\gamma$  0.08 3 à 9

Sables servant à enrichir les graves d'OISE reconstituées, et servant de couches de fondation. Souvent propres et très difficiles à compacter, leur granulométrie étant verticale (0 - 0,2).

Les sables riches en nummulites sont les plus sales, donc les plus facilement stabilisables au ciment (6 %), les sables propres le sont très difficilement (ciment  $\geq 10$  %).

./...

e IV a Sables à galets de SINCENY.

---

LL 25 à 30  
IP 5 à 10  
E.S. 5 à 10  
ds PM 2.00 à 2.20  
w PM 4 à 8

Qualité géotechnique très médiocre à mauvaise, à cause de l'excessive plasticité qui les écarte des emplois routiers. Utilisables comme sol d'assise, de **préférence** après stabilisation au ciment (6 à 8 %).

e IV b Argile du Sparnacien.

---

LL 47 à 84  
IP 24 à 41  
ds PM 1.60  
w PM 18 à 20

Argile plastique, avide d'eau, gonflante, très souvent gypseuse (très défavorable). Qualité géotechnique très mauvaise.

e V c Argile à silex.

---

LL 27 à 39  
IP 12 à 17  
ds PM ~~1.60~~ 2.00  
w PM ~~18~~ 10.0  
w en place 12 à 20

Qualité géotechnique médiocre à mauvaise. Inutilisable en corps de chaussée. Emploi comme sol d'assise si sa teneur en eau est inférieure à 14 %. Sol à garder de toute venue d'eau ultérieure.

Difficilement stabilisable au ciment.

e v a Sables de BRACHEUX.

- Sable blanc supérieur - Bonne qualité géotechnique :

E.S. ~~##~~ 40

$\beta$  0.08 < 10  $\beta$

- Sables vert clair / jaune / roux médians - qualité moyenne :

E.S. ~~##~~ 20

ds PM 1.70 à 1.80

w PM 11 à 14

$\beta$  0.08 ~~##~~ 20

Sables compactables, faciles à stabiliser au ciment (5 à 7 %) ce qui rend leur emploi possible en corps de chaussée.

- Sable vert inférieur - Qualité médiocre :

E.S. 7 à 14

ds PM 1.95 à 2.10

w PM 8 à 14

$\beta$  0.08 20 à 40

Emploi comme remblai.

./...

263 - Formations secondaires.

C<sub>7</sub> - C<sub>8</sub> Craie sénonienne.

La craie non désagrégée a une bonne valeur géotechnique. C'est sur elle que reposent toutes les fondations de la région, battues sur pieux.

Sa résistance à la compression, par l'échelle de dureté EPC, varie de 20 à 100 kgs/cm<sup>2</sup>, pour les couches supérieures, et doit augmenter avec la profondeur.

C'est un excellent matériau de remblai, même en terrain humide, s'il reste en blocs. En effet, par broyage, sa plasticité augmente, ainsi que sa sensibilité à l'eau. C'est ainsi qu'une craie "roche", dont la teneur en eau in situ est de 30 %, devient bouillie par broyage, sa limite de liquidité étant alors de 27, et sa teneur en eau de compactage 20.

C'est un sol gélif, à n'employer qu'à une certaine distance du niveau supérieur de la chaussée, et jamais dans le corps de celle-ci.

A titre indicatif, on a trouvé pour une craie dure non altérée, mais plus ou moins fissurée, les caractéristiques suivantes :

:	:	:	:
:	Densité sèche en place	:	1.63
:	Teneur en eau en place	:	24
:	:	:	:
:	:	:	:
:	Proctor normal sur	ds	1.55 à 1.58
:	fraction 0/25	w	20 à 22.5
:	:	:	:
:	Proctor modifié sur	ds	1.62 à 1.63
:	fraction 0/25	w	20
:	:	:	:
:	:	:	:
:	Limite de liquidité sur	LL	27
:	fraction 0/25	:	:
:	:	:	:
:	Indice de plasticité sur	IP	11
:	fraction 0/25	:	:
:	:	:	:

./...

La portance d'un tel sol varie donc en fonction de sa teneur en eau et de son état granulométrique.

Les zones d'altération, très variables quant à leur composition, ont des qualités géotechniques différentes, demandant à chaque fois une étude particulière précisant les conditions d'emploi.

A titre indicatif, dans le SANTERRE, on a trouvé les caractéristiques suivantes :

Nature du sol	caïe limoneuse (cran)	argile + limon + caïe + silex	sable craeux à silex
LL	23 à 38	22 à 35	27 à 60
IP	8 à 19	7 à 15	10 à 33
ds PM	1.82 à 1.86	1.90 à 2.00	1.90 à 2.00
w PM	14 à 15	10 à 14	10 à 14
w en place	16 à 26	17 à 40	17 à 40

# 15

CHAPITRE III

---

VALLEE DE L'AVRE A ST-MARD

---

- 31 -- CONDITIONS GENERALES d'ETUDE
- 32 -- CONDITIONS PARTICULIERES d'ETUDE et IMPLANTATION des  
SONDAGES
- 33 -- STRUCTURE GENERALE de la VALLEE
- 34 -- CARACTERISTIQUES des SOLS RENCONTRES
- 35 -- METHODES GEOTECHNIQUES de DETERMINATION de la COUPE  
TRANSVERSALE
- 36 -- CONCLUSIONS PARTICULIERES

ANNEXES = 2 coupes transversales

10 coupes géotechniques

Sondage B<sub>1</sub> complet

Indications données par le Chef sondeur sur la nature  
des terrains non compressibles.

---

31 - CONDITIONS GENERALES d'ETUDE -  
=====

Sauf indication contraire, les essais de cisaillement ont été faits sans consolidation préalable, à la vitesse de cisaillement de 1 mm/min., avec un anneau de 250 kg travaillant en traction - Boîtes 6 x 6 au carré.

Les valeurs expérimentales sont indiquées sur les feuilles de sondages. Certaines de celles-ci sont jointes au présent travail, mais l'ensemble représentant un trop grand volume n'a été communiqué qu'aux Membres du Jury.

Le pénétromètre employé est le modèle SOILTEST. Bien qu'il ait été employé systématiquement, il faut considérer ses résultats avec prudence, les indications qu'il donne n'étant valables strictement que pour des sols non frottants, ce qui est assez rare ici. Il traduit assez bien par contre la consistance du matériau. L'indice de consistance a été calculé chaque fois que possible, mais il n'est valable strictement que pour des argiles.

La valeur portée sur la droite de perméabilité des graphiques oedométriques indique l'ordre de grandeur moyen de cette dernière (sous la forme de 10 puissance x).

Les coupes sont disposées de telle sorte que la lecture soit dans le sens du courant (amont derrière, aval devant).

./...

32 - CONDITIONS PARTICULIERES d'ETUDE -  
=====

Les sondages ont été réalisés entièrement par l'Entreprise BACHY, en Juin Juillet 1962, sur des emplacements préalablement définis, de telle sorte que l'axe projeté de l'AUTOROUTE soit encadré par deux lignes de sondages distantes de cet axe d'environ 10 mètres ; les distances entre sondages étant d'environ 65 mètres.

L'Entreprise a prélevé ses échantillons intacts par battage dans les sols mous (APM 78 et APM 86 avec soupape) et par rotation dans les sols crayeux plus durs (KO 116), avec tubage systématique (carottage demi-continu avec prélèvement d'un carottier sur deux).

Les coupes de sondages données dans le présent travail sont basées sur les indications de profondeur données par les Sondeurs et sur l'examen des échantillons intacts en Laboratoire.

./...

IMPLANTATION des SONDAGES

N° du sondage	Coordonnées LAMBERT	
	x	y
A	631,421	221,500
B	631,419	221,563
C	631,419	221,627
D	631,420	221,691
A <sub>1</sub>	631,396	221,510
B <sub>1</sub>	631,396	221,566
C <sub>1</sub>	631,395	221,638
D <sub>1</sub>	631,397	221,700

./...

33 - STRUCTURE GENERALE de la VALLEE -

=====

L'ensemble des résultats de Laboratoire portés dans les fiches de sondages, les observations visuelles faites lors des ouvertures des containers, la connaissance des sols tant expérimentale que tactile, ont conduit à proposer les coupes suivantes de la Vallée de l'AVRE.

331 - Transversale Amont.

Sondages A B C D.

La Vallée de l'AVRE se présente en coupe sous la forme d'une cuvette très nettement marquée entre deux rives relativement abruptes. Il est possible de distinguer trois zones du Sud au Nord : la berge Sud, l'étang, la berge Nord.

331.1 - Berge Sud (sondage A).

Cette berge est constituée au Sud, d'une paroi assez abrupte de craie surmontée de sable argileux et du limon argileux de surface (limon des plateaux et limon de lavage). Au pied de la paroi coule l'AVRE, sous la forme d'un petit ruisseau dont la largeur est d'environ 5 mètres, et dont le cours a été progressivement dévié du marais, et "canalisé" par les indigènes, les boues et vases de curage servant à renforcer la banquettes argileuse séparant l'AVRE du marais.

Le sondage a été fait au pied de cette banquettes, à la limite même du marais, et montre une structure complexe. On trouve, en effet, à partir de la surface et en allant en profondeur, successivement :

- de l'argile grise tourbeuse plastique avec débris de végétaux ;
- vase gris marron avec végétaux et tourbe en formation
- gros limon sablo argileux gris marron noirâtre, avec racines, assez compact devenant progressivement tourbeux et vasard par action de la tourbe sous jacente ;

./...

- tourbe sableuse légère brune devenant noire brunâtre en profondeur, molle et friable, légère, mais irrégulièrement compressible à cause de la présence de petits bancs de marne ou même de morceaux crayeux.
- marne gris verdâtre sableuse et tourbeuse ;
- sable crayeux beige grossier et limon argileux gris marron mou et humide ;
- marne gris verdâtre + morceaux de craie, devenant progressivement une craie marneuse désagrégée blanc beige.

On retrouve donc bien la succession classique : vase ou formations argileuses de surface, puis tourbe et zone tourbeuse, puis marne et craie.

Il apparaît d'une part, que cette rive a été fortement entamée par l'ancien cours d'eau, la paroi crayeuse restant très abrupte, et que, d'autre part, le sable argileux et l'argile de surface ont glissé vers le lit de cet ancien cours d'eau, surmontant plus ou moins la vase du marais central actuel et la tourbe de profondeur.

De par le fait, il y a des variations de nature et d'état, et des chevauchements de sols rendant la structure générale difficile à schématiser. En particulier, on retrouve des inclusions tourbeuses dans plusieurs horizons successifs.

Par contre, la présence d'argile en surface, et de sable argileux en profondeur, sur une tourbe sableuse d'épaisseur réduite, et de teneur en eau relativement faible, constitue un symptôme favorable pour l'établissement d'un remblai. Les zones vasardes sont de plus, d'épaisseur relativement faible.

Les résistances à la pénétration du carottier confirment nettement ce pronostic.

#### 331-2 - Marais Central (sondages B et C)

Ce marais se présente comme une étendue plate, couverte de végétation (roseaux, arbustes) celle-ci masquant complètement l'eau, à l'exception d'un fossé de drainage situé vers le Nord (entre les sondages C et D) et qui ressemble à l'AVRE.

Par ailleurs, il existe à la surface du marais, de place en place, des zones de sol ferme où poussent les arbustes et les arbres, et qui proviennent, soit de lambeaux de couverture argileuse, soit, ce qui paraît plus probable, de la création d'un sol végétal à partir de l'humus des plantes. Dans cette dernière hypothèse, ces zones de sol ferme seraient assez semblables à des îles flottant sur la vase sous jacente. Il est à remarquer, à cet égard, qu'en bordure de ces îlots, on sent nettement la compressibilité du sol sous jacent lorsqu'on marche. Il est possible que l'existence de ces zones soit due aux deux causes sus indiquées.

La structure de cette zone est très régulière. On trouve successivement de haut en bas :

- eau + roseaux en décomposition ;
- vase + eau + débris végétaux + tourbe en formation + coquillages ;
- vase tourbeuse gris noir molle ;
- sols vasards : limon argileux gris noirâtre, gris marron  
limon sablo argileux gris noirâtre, avec  
coquillages et débris végétaux ;
- vase tourbeuse argileuse, sableuse, suivant les zones, avec coquillages et débris végétaux ;
- tourbe brun noir, compacte, "sèche", friable, avec végétaux, légère et compressible (6 m en B, 4 m en C) ;
- sable tourbeux noir assez compact, avec présence de craie et de silex (8 m en B, 5 m en C) ;
- marne sableuse blanc verdâtre ;
- craie tendre blanche + désagrégée (9 m en B - 7 m 50 en C)

Cette succession se trouve aussi bien en B qu'en C, les cotes seules changeant. Le fond de la vallée est en effet nettement marqué en forme de cuvette aux environs de B. La remontée se fait vers le Nord (sondage C) par une pente moins abrupte qu'au Sud, n'excluant pas la présence de paliers. La tourbe suit très fidèlement la forme de la cuvette. Seule l'épaisseur de la zone d'altération de la craie croissant vers le Nord compense un peu la dissymétrie de la vallée.

Une caractéristique essentielle de cette zone est la progressivité des transitions d'un sol à l'autre jusqu'à la tourbe. La vase passe à l'état de limon argileux vasard, ou limon sablo argileux vasard, ou vase tourbeuse argileuse ... par zones de transition très progressives, qu'il a fallu schématiser dans les coupes. Il est significatif à cet égard de constater que les densités sèches, au sondage B par exemple, qui sont de l'ordre de 0,40 en surface, restent voisines de 0,70 jusqu'à la tourbe. Seuls, l'apparence visuelle des sols et des dosages complémentaires, ont permis des divisions plus "fines".

Bien que les débris végétaux, les coquillages, les inclusions tourbeuses se rencontrent dans tous les terrains jusqu'à la craie, il nous a paru possible de schématiser la structure du marais de la façon suivante :

- eau et roseaux - tourbe en formation et vase tourbeuse très molle ;
- vase limone sableuse cù limono argileuse plus compacte, bien que molle encore ;
- vase tourbeuse profonde plus mouillée, en contact avec la tourbe ;
- tourbe brune et noire ;
- sable tourbeux + craie + silex, servant de transition avec la craie ;
- zone d'altération de la craie d'importance et de nature variables : marne, sable, craie et silex ;
- craie tendre désagrégée à silex devenant plus dure en profondeur.

L'épaisseur moyenne de la vase totale varie de 5 m environ (rive Sud) à 6 m (sondage B) puis 4 m (sondage C) et 2 m (rive Nord). Il s'agit de terrains très mous, gorgés d'eau (80 à 200 %), puisque constamment au-delà de leur limite de liquidité, n'ayant aucune portance (résistance à l'enfoncement du carottier nulle), et très compressibles. Leur perméabilité est moyenne (10<sup>-6</sup>), parfois forte (10<sup>-8</sup>).

./...

La tourbe a une épaisseur assez constante, allant de 1 m en rive Sud à 1 m 50 au centre pour se finir en pointe vers la rive Nord. Elle est d'apparence assez "sèche", mais reste très compressible (40 % pour 1,350 kg/cm<sup>2</sup>). Par contre, sa structure fibreuse se traduit par une légère résistance à la pénétration du carottier et un léger angle de frottement.

Le sable tourbeux sous jacent qui sert de transition est d'épaisseur faible mais assez constante (10 - 15 cm), et ne paraît pas présenter de problèmes de compressibilité, même lorsqu'il est remplacé par une argile noire compacte.

La zone d'altération de la craie est très variable : limon gris verdâtre, sable calcaire, sable gris verdâtre, craie, silex, marne grise et marne verdâtre, sable vert ... Il s'agit de sols peu ou pas compressibles, frottants, et dont l'épaisseur varie de 1 m (rive Sud et sondage B) à 2m 50 (sondage C) et 3 m vers la rive Nord.

Sous cette zone, on trouve la craie tendre plus ou moins désagrégée blanc jaunâtre devenant blanche en profondeur, à une profondeur passant de 7 m (rive Sud) à 9 m (sondage B), 7 m 50 (sondage C) et 5 m (rive Nord).

### 331-3 - Berge Nord (sondage D)

Cette berge est beaucoup plus simple que la berge Sud. On trouve en effet de haut en bas :

- la couverture superficielle d'argile s'étendant en languettes sur et dans la vase du marais ;
- zone d'altération de la craie et craie dure en profondeur.

A part la petite zone vasarde, proche de la surface et d'épaisseur réduite, les sols rencontrés sont compacts, frottants et assez peu compressibles.

./...

332 - Transversale Aval.

Sondages A1, B1, C1, D1.

La forme générale de la cuvette reste la même que précédemment, avec le point le plus bas autour du sondage B1, la rive Sud abrupte et la rive Nord plus adoucie bien qu'encore nettement marquée.

La disposition des terrains et la nature des sols sont pratiquement les mêmes que pour la transversale Amont.

332-1 - Berge Sud (sondage A1)

On retrouve ici la paroi abrupte Sud, crayeuse recouverte de sable argileux et de limon argileux de surface. Ceux-ci s'avancent en languettes dans le marais et recouvrent l'extrémité de la couche tourbeuse de la vallée. La banquette argileuse entre l'AVRE et le marais est ici plus large.

On trouve donc successivement de haut en bas :

- argile brune - dépôt des vallées - compacte ;
- limon sablo argileux, compact, tourbeux par endroits, plus coquillages ;
- sable tourbeux (qui représente la fin de la zone tourbeuse du marais) mou et friable, gris noirâtre ;
- sable argileux avec traces tourbeuses, gris marron ;
- limon sableux tourbeux vasard et sable argilo tourbeux marron noir + craie ;
- craie rouillée fragmentée marneuse à silex, devenant blanche en profondeur.

Tout se passe comme s'il y avait insertion de la tourbe dans le limon sablo argileux de rive. Ce dernier a dû recouvrir irrégulièrement les dépôts latéraux tourbeux, les enrichissant en sable, ce qui expliquerait la présence de zones diffuses tourbeuses dans les différents sols, et la présence de limon vasard sous la tourbe.

Il s'agit en fait de sols assez peu compressibles (10 % pour 1,350 kg/cm<sup>2</sup>), présentant une certaine résistance à la pénétration, à l'exception du sable tourbeux et du sol vasard, mous et plus compressibles de densité sèche inférieure à 1,0, mais dont l'épaisseur est réduite (inférieure à 2 mètres).

Les teneurs en eau ne sont pas excessives par ailleurs. Cette rive semble apte à supporter un remblai, même important.

332-2 - Marais Central (sondages B1, C1)

Même apparence que pour la transversale amont : étendue plate, avec îlots de sol ferme, arbustes et roseaux. On retrouve entre C1 et D1 le "coulant", fossé de drainage d'importance comparable à celle de l'AVRE.

La structure est la même qu'en amont. On trouve successivement, de haut en bas :

- eau + roseaux plus ou moins décomposés et vase + coquillages + tourbe en formation ;
- vase tourbeuse molle gris noir + coquillages ;
- sols vasards limono sablo argileux + coquillages + débris végétaux ;
- vase tourbeuse argileuse ou sableuse + coquillages + débris végétaux ;
- tourbe noire, sableuse à la partie supérieure, "sèche", friable, onctueuse par écrasement, avec coquillages et quelques grains de craie et silex à la partie inférieure ;
- sable tourbeux, beige-brun-noirâtre + craie et silex ;
- zone d'altération de la craie : marne verte à silex, puis craie + sable + silex puis craie blanche à silex fragmentée.

La succession est la même en B1 et en C1.

./...

Ici encore, la progressivité du passage d'un sol à un autre, dans la zone vasarde supérieure, est telle que les divisions ont été très difficiles. On trouve en effet, à part le mètre supérieur où la densité sèche est 0,50, une  $\gamma_d$  de l'ordre de 0,60 - 0,70 jusqu'à la tourbe, avec des teneurs en eau supérieures aux L.L. Les résistances à la pénétration sont nulles par ailleurs. On a donc affaire à des terrains mous, très compressibles (30 % sous 1,350 kg/cm<sup>2</sup>), peu perméables ( $10^{-7}$ ), peu frottants et incohérents. L'épaisseur de cette couche de vase passe de 3 m en rive Sud, à 5 m 50 en Bl, 5 m en Cl, et 2 m en rive Nord.

La tourbe avec ses "franges" sableuses supérieure et inférieure, a une épaisseur variant de 1 m 50 (bord Sud du marais) à 2 m 50 en Bl, puis 1 m en Cl et se termine en pointe avant la rive Nord. Elle est très légère, humide, fortement compressible, mais le reste d'une structure fibreuse se traduit par une certaine résistance à la pénétration et un léger angle de frottement. Son épaisseur n'est forte qu'autour de Bl.

Le sable tourbeux, d'épaisseur assez faible (30 cm environ) ne paraît pas présenter de problème, de même que les couches sous jacentes marneuses et crayeuses, peu compressibles, frottants et de densités élevées.

La craie tendre plus ou moins désagrégée, à silex, devenant blanche et dure en profondeur, se trouve à 5 m (rive Sud), puis à 9 m (Bl), 7 m (Cl) et 4 m 50 (rive Nord), ce qui correspond bien à la transversale amont.

### 332-3 - Berge Nord (sondage D1)

Le sondage n'ayant pas été implanté sur la rive même, mais dans le marais près de cette rive, on ne rencontre plus d'argile de couverture. Le sondage s'enfonce donc dans la vase tourbeuse + racines de roseaux pour commencer, puis traverse la vase grise molle avant de rencontrer, à 1 m 70, l'argile sableuse de la berge s'étendant en languette sur la zone d'altération de la craie rencontrée à 2 m 70.

Les sols rencontrés sont portants et peu compressibles exception faite de la vase superficielle, mais nous sommes à la limite même de la vase du marais.

333 - Conclusions.

Les deux transversales sont absolument comparables.

La Vallée de l'EVRE, à ST-MARD, est donc caractérisée par :

- berge crayeuse abrupte au Sud, recouverte de limon argileux et sableux, glissant vers la Vallée ;
- marais central couvert de roseaux, avec quelques îlots de sol ferme portant des arbres.

Cette couche végétale , plus ou moins en décomposition, surmonte une vase molle, fluente et tourbeuse en surface limoneuse et argileuse, et un peu plus compacte en profondeur, redevenant tourbeuse et molle au contact de la tourbe.

La couche de tourbe noire, plus ou moins sableuse et se terminant en pointe sur les bords, et pouvant contenir de la craie et du silex à sa partie inférieure, est incurvée comme la vallée elle-même, le point le plus bas étant la ligne BBl. Elle surmonte la zone d'altération de la craie et la craie.

- berge Nord, moins abrupte, mais assez relevée, crayeuse, recouverte de dépôt argileux se terminant en languette dans le marais.

Le problème pratique de la traversée de la vallée se présente comme suit :

- rives avec sols frottants, compacts, peu compressibles, pouvant fournir du matériau de remblai ;
- marais central avec sols mous, vasards, fortement compressibles, peu ou pas frottants.

./...

34 - CARACTERISTIQUES des SOLS RENCONTRES -  
=====

Les sols rencontrés dans cette coupe de vallée sont, de haut en bas :

- argile brune et sable argileux de rive ;
- vase ;
- tourbe et sable tourbeux ;
- marne et zone d'altération de la craie ;
- craie.

Pour permettre plus facilement les comparaisons entre sols, tous les tassements indiqués ci-dessous correspondent à une charge verticale de 1,350 kg/cm<sup>2</sup>.

34f - Argile brune et limon sablo argileux de rive.

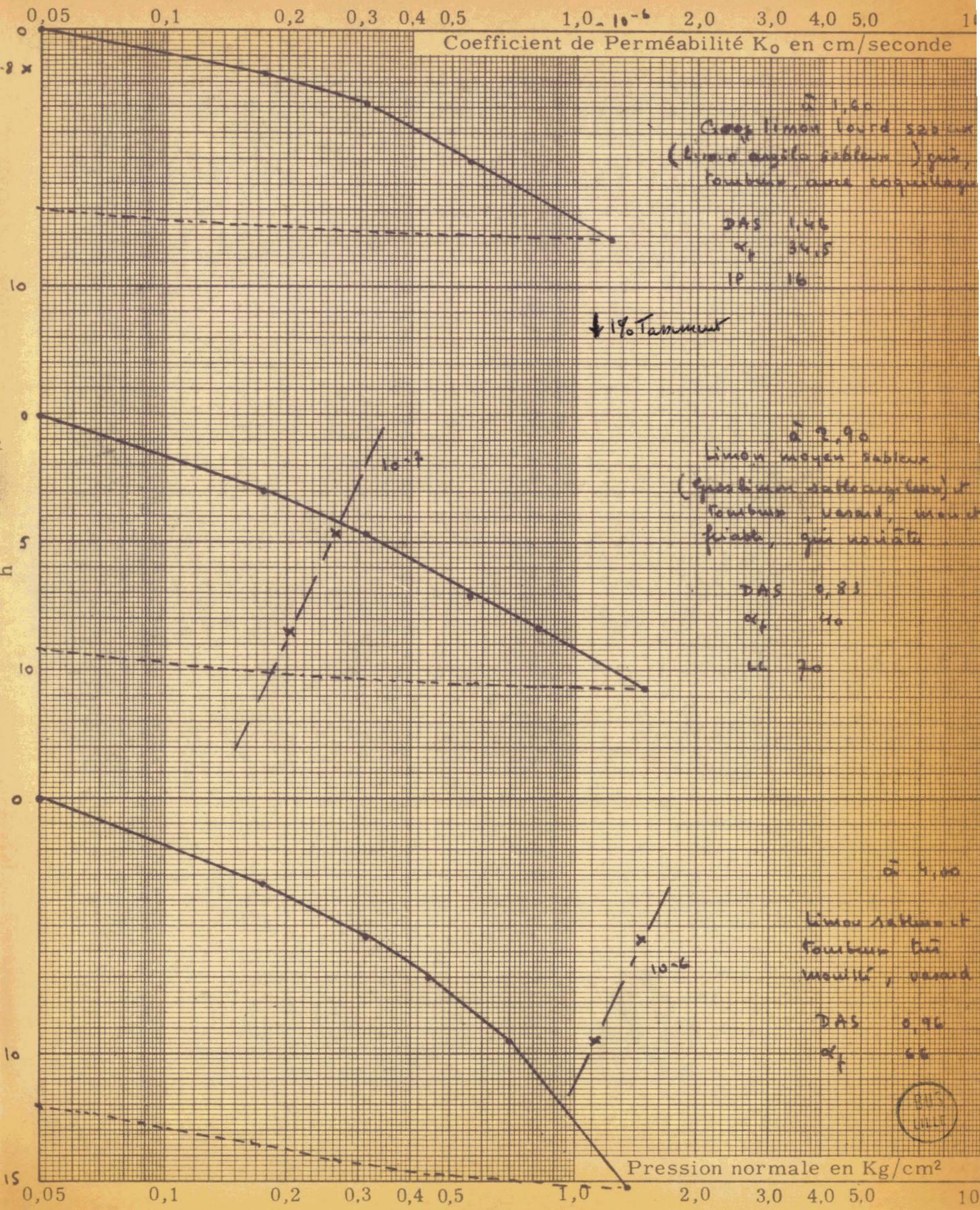
Le sol de surface - pour lequel nous n'avons pas de sédimentométrie - est un limon argileux de lavage. Par contre, la nature du sol sous jacent est certaine : les sédimentométries montrent qu'il s'agit en fait d'un gros limon sablo argileux ("sable" très fin) pouvant contenir d'ailleurs de la craie et des silex. Le tableau des sédimentométries est donné plus loin.

Mise à part la couverture superficielle brune, ces sols sont plutôt de couleur grise plus ou moins marron. Ce sont des sols assez compacts, résistent bien à la pénétration, et assez peu compressibles.

Leur densité apparente sèche varie en effet de 1,12 à 1,48, mais reste le plus souvent voisine de 1,30. Leur teneur en eau reste comprise "en gros" entre 30 et 50. Le seul essai de cisaillement qu'il a été possible de faire (D à 1.50) a conduit aux valeurs  $\varphi \neq 20^\circ$   
C  $\neq 0.050$ , mais il faut signaler qu'il y avait déjà des grains de craie et des petits silex. Il semble néanmoins valable d'admettre un angle probable compris entre 10° et 15° et pouvant augmenter en cas d'inclusions sableuses ou crayeuses.

./...

# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



La résistance à l'enfoncement du carottier varie suivant la proximité ou la présence de la vase centrale. En sol franc, elle dépasse 10 coups et parfois 15 coups, alors qu'en zone vasarde, elle tombe à presque rien.

Les tassements sont modérés, voisins de 10 %, avec des perméabilités assez faibles de l'ordre de  $10^{-6}$  à  $10^{-7}$ . La préconsolidation, à 2 m de profondeur, paraît être de l'ordre de 0,250 kg/cm<sup>2</sup> (A à 2.00 - A1 à 1.60 et 2.90 - D1 à 2.00). Même le limon sablo argileux directement en contact avec la tourbe et mouillé de ce fait ne tasse que modérément (A1 à 4.00 - tassement 15 %).

Ces sols paraissent donc aptes à supporter un remblai.

#### 342 - Vase.

L'épaisseur de vase passe de 3 - 4 m en rive Sud à 5 - 6 m au centre pour finir à 2 m en rive Nord.

Ce sol est caractérisé par une forte teneur en eau, une faible densité sèche, une très grande compressibilité et pratiquement aucune résistance au cisaillement.

La première observation à faire est que, de la surface du marais à la tourbe, les transitions entre les diverses couches sont très progressives, et qu'il est malaisé de trancher en classant un sol dans les vases limono tourbeux ou dans les limons vasards tourbeux, par exemple. En fait, il s'agit d'un même sol dont les états sont localement parfois un peu différents. Il semble néanmoins possible de dégager trois zones principales :

- une zone superficielle, avec végétation et roseaux, où les débris végétaux et les coquillages abondent, et où on peut observer la présence de tourbe en formation ;
- une zone médiane, un peu moins mouillée, et donc un peu plus compacte, de limon sablo argileux vasards, mais où on retrouve quand même débris végétaux et coquilles ;
- une zone inférieure, en contact avec la tourbe noire et brunâtre profonde, qui paraît à nouveau plus molle car plus humide, et plus tourbeuse.

Il n'en reste pas moins que l'ensemble peut être considéré comme un sol incohérent, peu ou pas frottant, très mou et très compressible.

Les sols constitutifs sont des limons sablo argileux, davantage limoneux dans certaines zones (C1 à 2.00 et B à 3.80), progressivement un peu plus sableux et plus argileux (B 1.20 et 5.30) ou plus sableux et moins argileux (C 1.10 ; B 2.50 ; D 3.50).

La zone superficielle, recouverte presque totalement de végétation, est caractérisée par une forte teneur en eau (100 à 200) très au-dessus de la limite de liquidité, une faible densité apparente sèche (0.40 à 0.50), une résistance à la pénétration nulle. Les débris végétaux entrant en décomposition, la vase n'a donc pas encore toujours un taux de matières organiques élevé. La résistance au cisaillement paraît négligeable et la cohésion, faible (0.050 à 0.100) est presque à la limite de nos appareils de mesures.

La compressibilité de tels terrains est considérable, pouvant dépasser 40 % (B 1.20) ce qui rejoint les caractéristiques de certains échantillons de la tourbe profonde (C à 4.60).

Il s'agit de vases limono argileuses d'épaisseur moyenne 1 à 2 mètres.

La zone médiane a une certaine homogénéité de structure.

Les sédimentométries paraissent en effet très voisines.

L'épaisseur de cette zone paraît pouvoir être comprise entre 2 et 3 mètres.

Les teneurs en eau sont moins élevées que précédemment, de l'ordre de 80 à 120, mais restent inférieures à 100 dans les sondages B Bl. Ces teneurs en eau sont voisines ou un peu inférieures aux LL, ce qui se traduit par une consistance légèrement plus ferme. Les densités sèches sont presque toutes comprises entre 0.65 et 0.75.

Il y a donc un "niveau" un peu plus compact, mais les résistances à la pénétration sont toujours négligeables. Les angles de frottement interne sont pratiquement très faibles, avec des cohésions de l'ordre de 0.050 kg/cm<sup>2</sup>. Par contre, après consolidation, les caractéristiques de cisaillement s'améliorent assez sensiblement.

Ces essais ont été réalisés sur les échantillons du sondage Bl et seront examinés en détail plus loin.

La compressibilité, bien que moindre que celle de la couche supérieure, reste assez importante, puisqu'elle est comprise entre 25 et 30 %. Les perméabilités sont faibles (10<sup>-6</sup> à 10<sup>-8</sup>). Les pressions de préconsolidation varient de 0 à 0.400 kg/cm<sup>2</sup>.

La zone inférieure, d'épaisseur moyenne 1 à 2 mètres, assure la transition avec la tourbe sous jacente. Elle est plus tourbeuse, car il semble qu'il y ait une "frange" de sols organiques de couleur noir bleuâtre à la limite de la tourbe noire. La teneur en eau redevient plus élevée, entre 100 et 150 %, c'est-à-dire à nouveau au-delà des LL. Les teneurs en matières organiques augmentent. Les densités sèches de l'ordre de 0.70 diffèrent de celles de la couche intermédiaire, de même que les caractéristiques de cisaillement.

Les résistances à l'enfoncement du carottier restent négligeables.

La compressibilité paraît peu différente de celle de la couche médiane, c'est-à-dire 20 à 25 % avec des perméabilités légèrement plus fortes (10<sup>-6</sup>), et des pressions de préconsolidation de l'ordre de 0.300 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Cisaillement après consolidation et compressibilité -

Des cisaillements après consolidation ont été réalisés sur les échantillons du sondage Bl : leurs résultats sont rassemblés dans le tableau suivant, qui comprend l'essai fait sur la tourbe noire.

Sondage sol et profondeur	Charge de consolidation (kg/cm <sup>2</sup> )	Charges normales (kg/cm <sup>2</sup> )	Charges tangentielles (kg/cm <sup>2</sup> )	Teneur en eau	Tassements avant cisaillement (1/100 mm)	$\varphi$	C
Bl à 2.00	0.700						
Vase limoneuse et tourbeuse:							
gris noir, humide et déformable, sans cohésion et avec végétaux.	tassement absolu moyen de consolidation 100/100	0.28	0.06	89	15		0.050
DAS 0.68		0.42	0.16	81	50	13°	à
w 108	tassement relatif 25 %.	0.56	0.19	79	85		0.100
Bl à 4.70		0.28	0.21	83.5	60		
Vase gris marron + tourbe en formation + coquillages + squelette limono sableux.	tassement absolu moyen de consolidation 1270	0.42	0.25	89	50	20°	0.100
DAS 0.70	tassement relatif 30 %.	0.56	0.36	72	70		
w 78		0.70	0.35	80	90		
Bl à 6.00		0.28	0.30	41.5	60		
Tourbe noire "sèche" friable et "cohérente" avec coquillages, onctueuse par écrasement.	tassement absolu moyen de consolidation 1210	0.56	0.40	35	50	18°	0.250
DAS 0.51	tassement relatif 30 %.	0.70	0.49	26	200		
w 236		0.83	0.49	32	220		

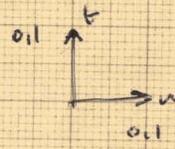
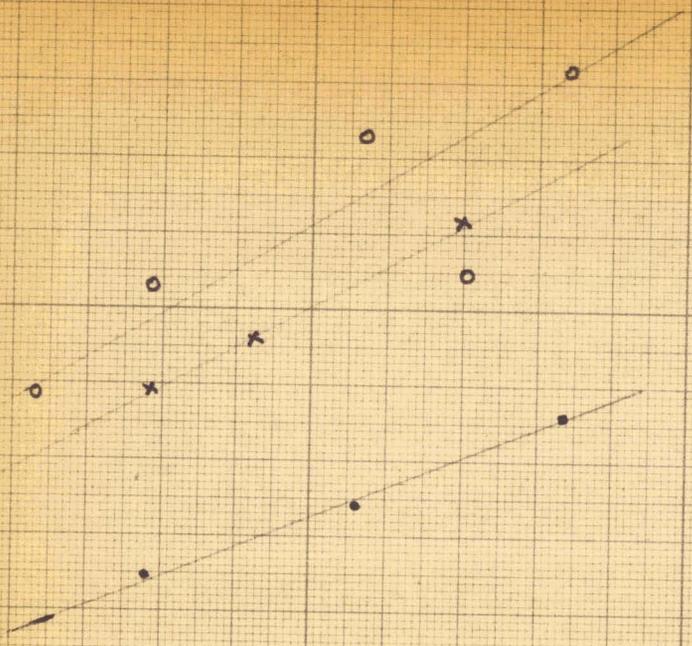
L'examen de ce tableau est très intéressant. En effet, la faible quantité de sol n'ayant pas permis de faire à la fois les cisaillements "rapide-consolidé" et après consolidation, il a fallu regrouper les sols ayant les mêmes caractéristiques pour essayer d'apprécier l'amélioration due à la consolidation. Une comparaison complémentaire peut d'ailleurs être faite entre le tassement obtenu à l'oedomètre et l'ordre de celui de consolidation. Les résultats groupés dans le tableau ci-après paraissent homogènes.

./...

Type de sol	$\gamma_d$	w	$\gamma$	C	tassement oedom. 0.700	tassement oedom. 1,350	w après oedom. 1,350
			avant consolidation				
<u>Bl 2.00</u>	0.68	108	-	-	23	30	67
A 3,10 (+ craie)	0.61	109	12	0	21	28	85
B 5.00	0.68	108	0	0.100	15	24	74
C 2.00 (+ sableux)	0.70	107	10	0	19	24	70
Cl 2.00	0.69	111	0	0.050 / 0.100	26	33	69
Cl 3.30	0.60	131	0	0.100	22	31	92
Cl 4.50	0.67	115	12	$\angle$ 0.050	20	26	81
<u>Bl 4.70</u>	0.70	78	-	-		(25)	
B 2.70	0.70	89	0	$\angle$ 0.100	17	27	68
B 3.90	0.58	78.5	10	0.050 / 0.100	15	23	63
Bl 3.50	0.70	94	0	0.100	18	25	60

Sable argileux et gros limon  
sablo argileux

o	D	1.60	
x	D	2.80	
o	D	4.00	mauve et noir saturés



Cisaillements



0,5

1,390

← Vasc après consolidation

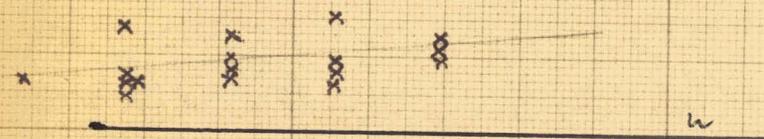
0,700



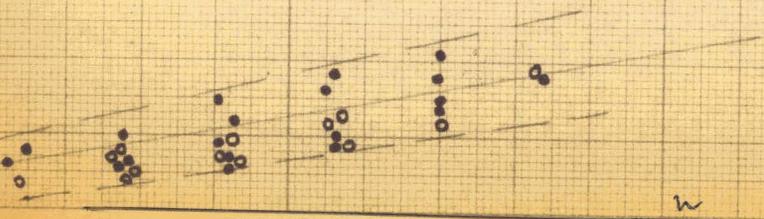
0,5

Vasc

o	Limono fonceuse	B	1.30
		A	3.10
		B	4.00
		A	4.00
o	Sable houbluse	C <sub>1</sub>	4.50
		C	2.00
		A	4.40
x	argilo fonceuse	C <sub>1</sub>	2.00
		C <sub>1</sub>	3.40
		B	2.60
		B	5.00
		B <sub>1</sub>	3.40



0,5



0,5



On peut donc admettre, en première approximation, qu'une consolidation sous une charge de 700 gr/cm<sup>2</sup> modifie assez peu les caractéristiques de cisaillement qui passent de 0 - 10° à 13°, pour l'angle de frottement interne, et de 0.000 - 0.100 kg/cm<sup>2</sup> pour la cohésion. Ici encore, il semble possible d'admettre l'existence de zones plus ou moins sableuses dans la vase. Les tassements au moment du cisaillement consolidé sont faibles.

Pour une charge de consolidation de 1,390 kg/cm<sup>2</sup>, l'amélioration est plus sensible, puisque l'angle de frottement interne augmente, la cohésion étant assez peu modifiée. Les tassements au moment du cisaillement sont, ici encore, faibles.

Ce qui paraît, par contre, plus remarquable, c'est la similitude entre les tassements oedométriques et l'ordre de grandeur de ceux obtenus à la consolidation.

Lors de cette dernière, Bl à 2.00 tasse en effet d'un peu plus de 25 %, et sa teneur en eau se situe alors aux environs de 80 %. De même, Bl à 4.70 tasse d'environ 30 % avec une teneur en eau finale de 80 %.

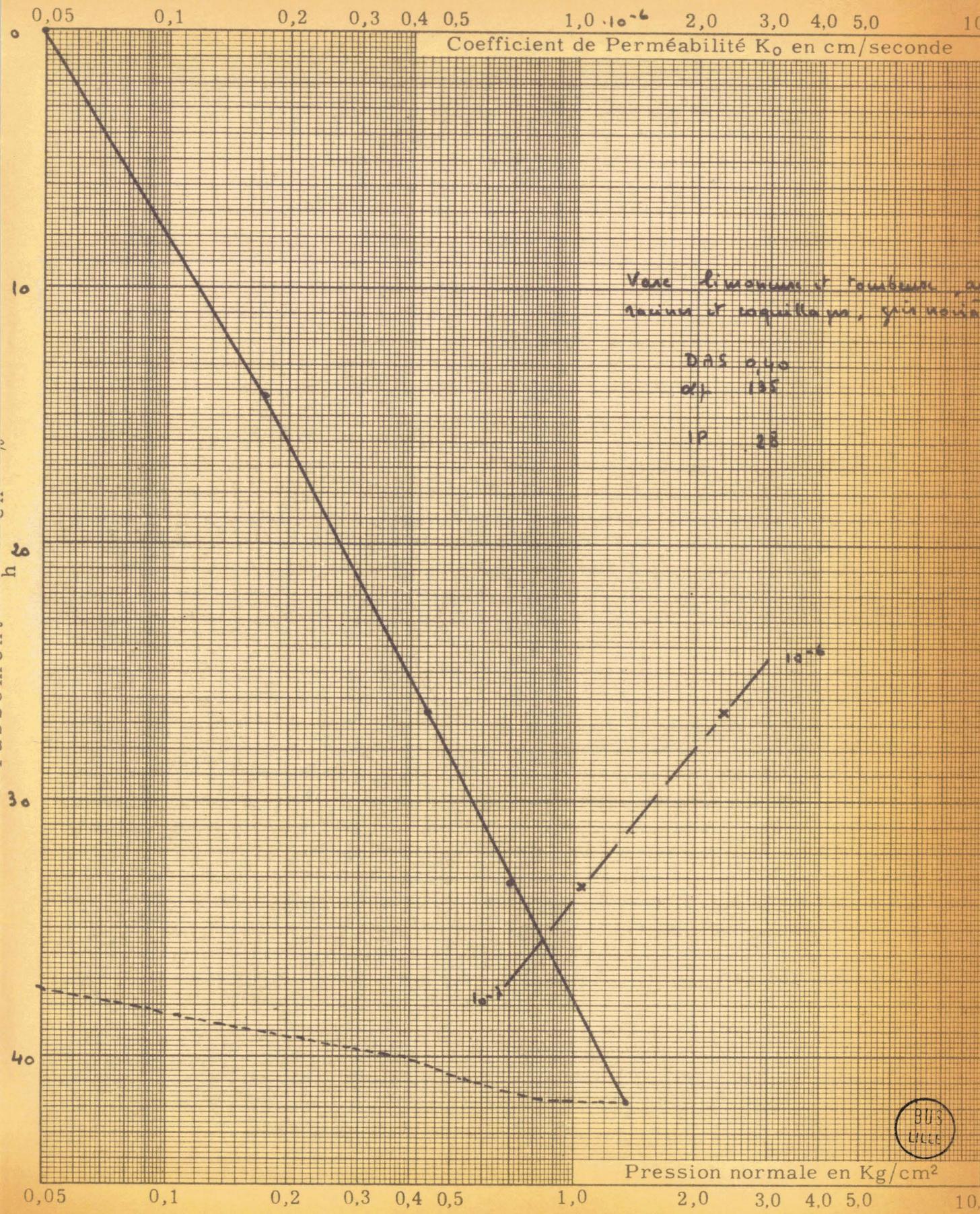
Les concordances, sans être parfaites, sont suffisamment proches pour que l'on puisse admettre l'homogénéité générale de la vase.

En fait, indépendamment des 3 couches plus ou moins tourbeuses précédemment définies, le seul examen des essais oedométriques permet de distinguer trois groupes de vases :

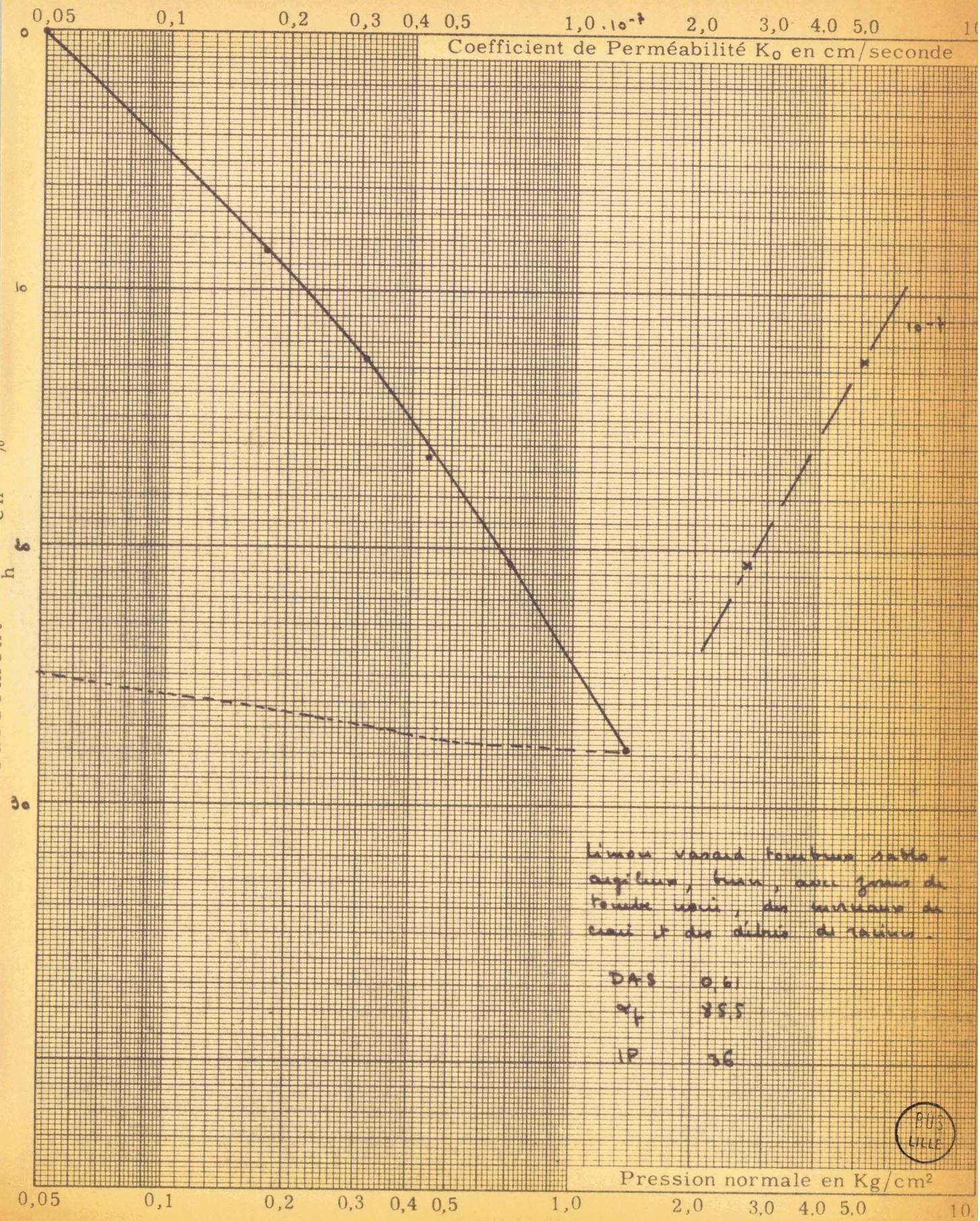
- A - vases très compressibles - Ainsi B 1,20 tassement de l'ordre de 40 %, perméabilités 10<sup>-6</sup> - 10<sup>-7</sup>,  $\gamma_d$  0.40, w 135, préconsolidation nulle - Vases de surface.
- B - Vases compressibles - Bl 200 - Cl 1.90 - A 3.10 qui sert de transition avec le groupe C. tassements de l'ordre de 30 - 35 %, perméabilités 10<sup>-7</sup>,  $\gamma_d$  0.65 à 0.70, w 70 - 80, préconsolidation nulle ou faible. Vases médianes.

./...

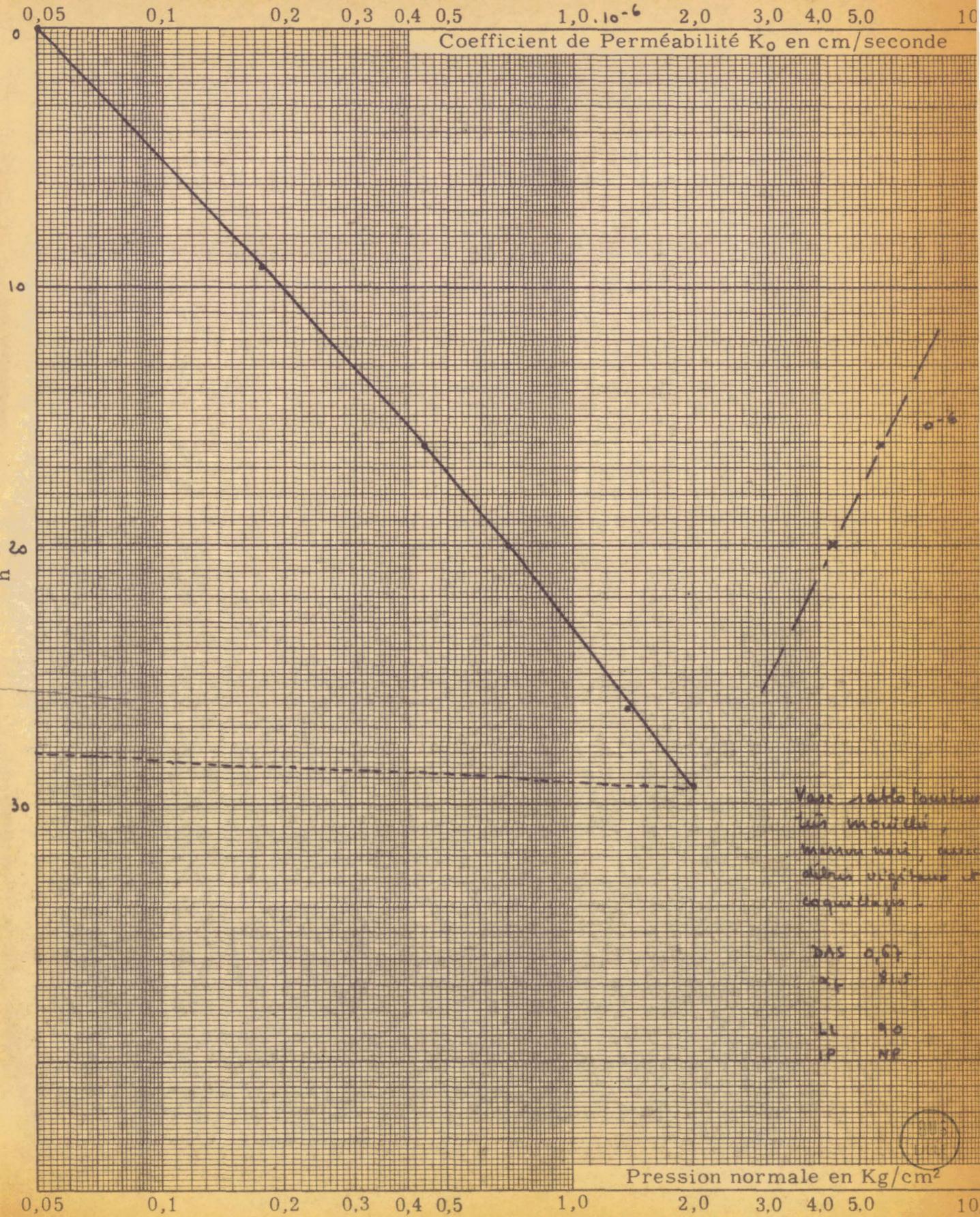
# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ

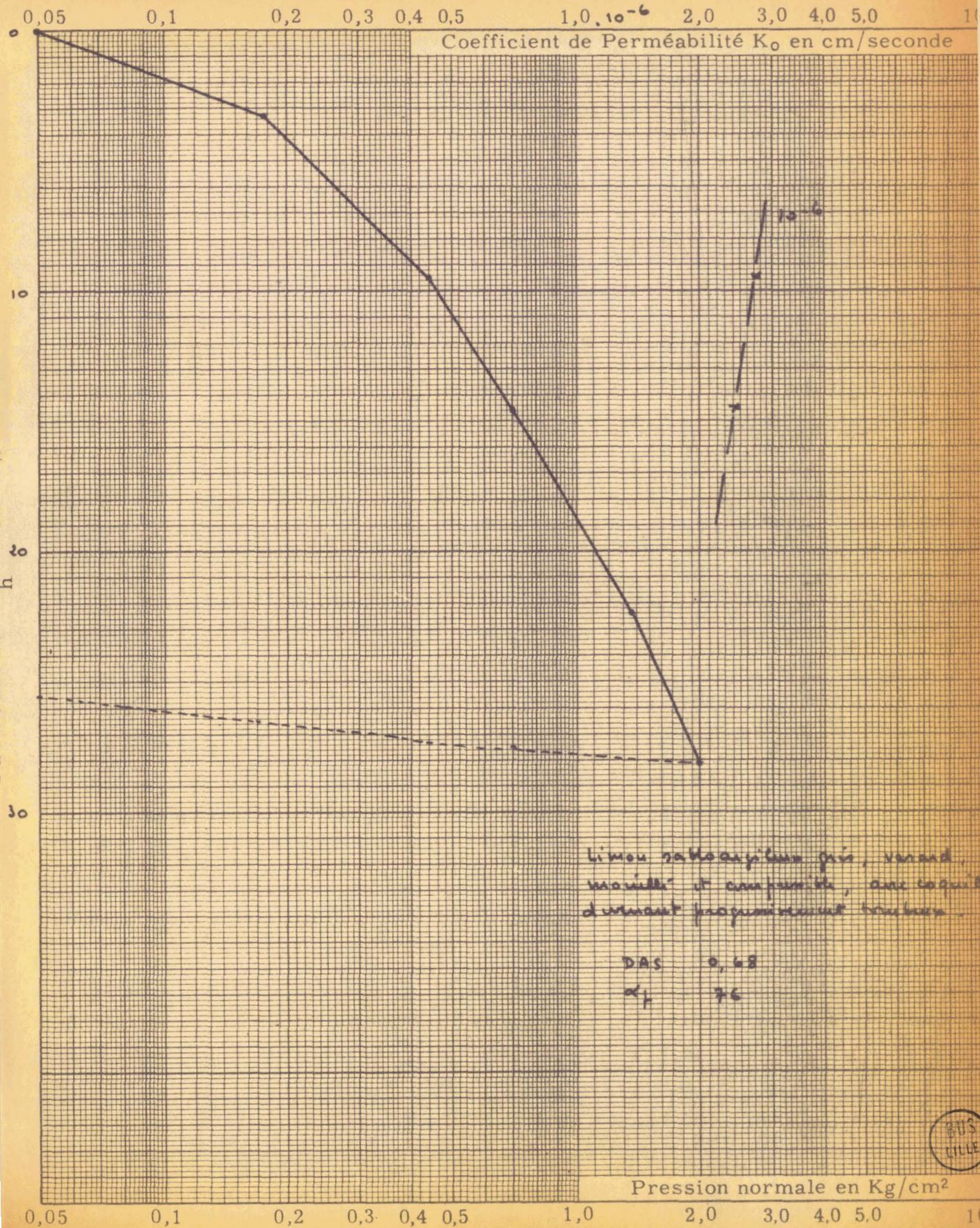


Vase sable tourbeux  
 très meuble,  
 marron noir, avec  
 débris végétaux et  
 coquillages.

WAS 0,57  
 $\alpha_c$  2,15  
 LL 90  
 IP NP



# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



C - Vases moins compressibles -  
tassements de l'ordre de 25 %, perméabilités  $10^{-6}$  à  $10^{-8}$   
 $\gamma_d$  0.70, w 70, vases médianes ou profondes.

- avec préconsolidation faible ou nulle C 2.00 et Cl 4.50 (transition avec le 2° sous-groupe).

- avec préconsolidation de 0.250 à 0.400 kg/cm<sup>2</sup>.  
B 2.60 B 3.70 B 5.00 Bl 3.50 Cl 3.40.

Ces groupes correspondent assez bien avec ceux tirés des résultats de cisaillement et qui sont :

A' Groupe "limono tourbeux" - A 3.10 - Al 4.00 - B 1.30 -  
B 4.00

$\varphi$  5 à 12°, cohésion 0 à 0.100 kg/cm<sup>2</sup>,  $\gamma_d$  0.50.

C' Groupe "sablo tourbeux" - C 2.00 - Cl 4.50 - A 4.40 -  
 $\varphi$  // 10°, cohésion nulle ou faible,  $\gamma_d$  0.70.

B'C" Groupe "argilo tourbeux" - B 2.60 - B 5.00 - Bl 3.40 -  
Cl 2.00 - Cl 3.40

$\varphi$  nul, cohésion 0 à 0.100 kg/cm<sup>2</sup> -  $\gamma_d$  0.70

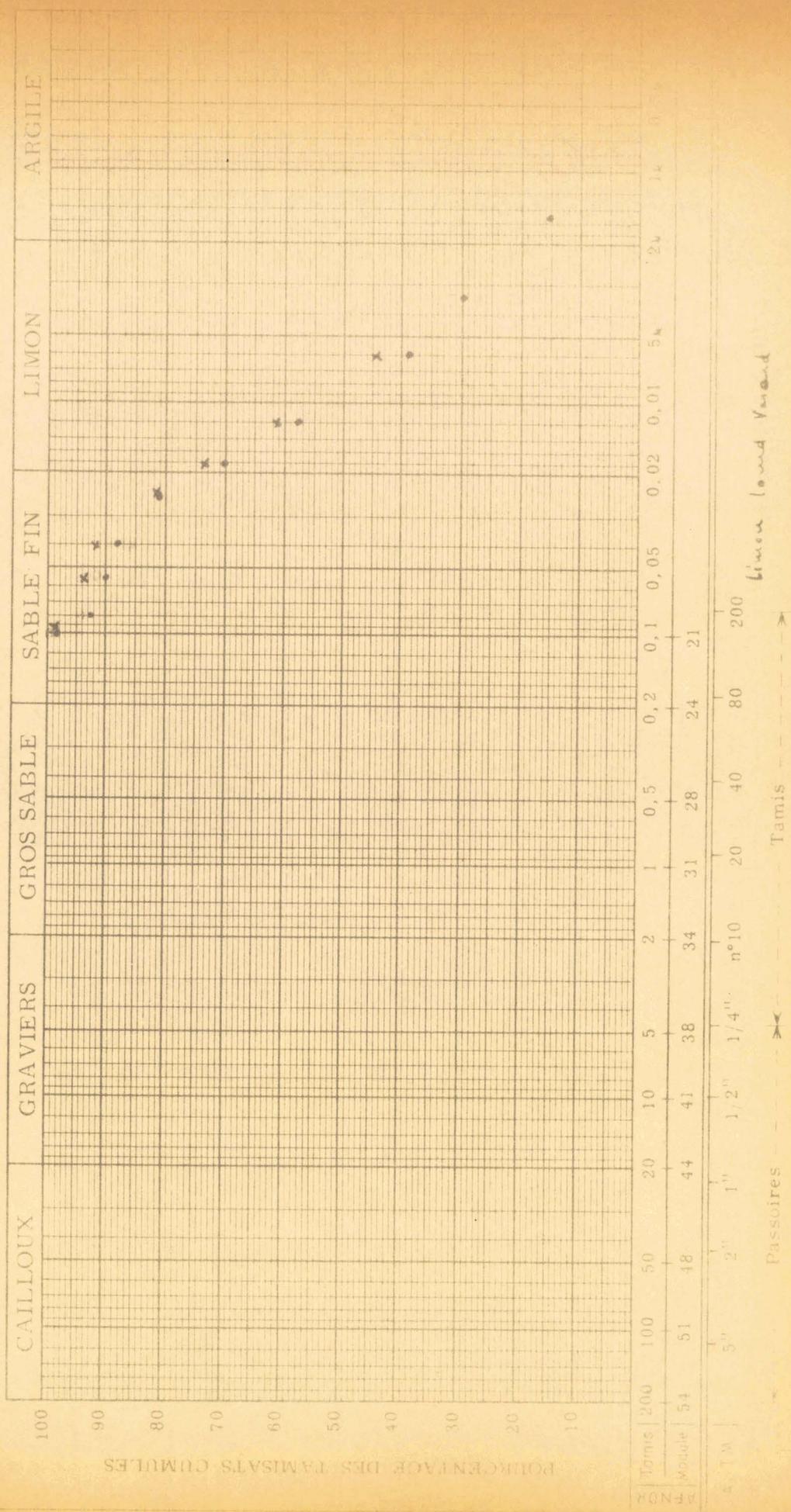
Les sédimentométries sont en fait très homogènes et comparables, comprises entre deux limites extrêmes, allant du "limon argileux et sableux" avec 65 % de limon, 10 % de sable et 25 % d'argile (type Cl 2.00 et B 3.80), au gros limon sableux argileux contenant 20 à 25 % de sable et 15 à 25 % d'argile. Il semble donc que les sols soient assez homogènes, leur comportement géotechnique variant davantage à cause de leur densité apparente sèche.

./...



• 3.86  
x 1.00

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

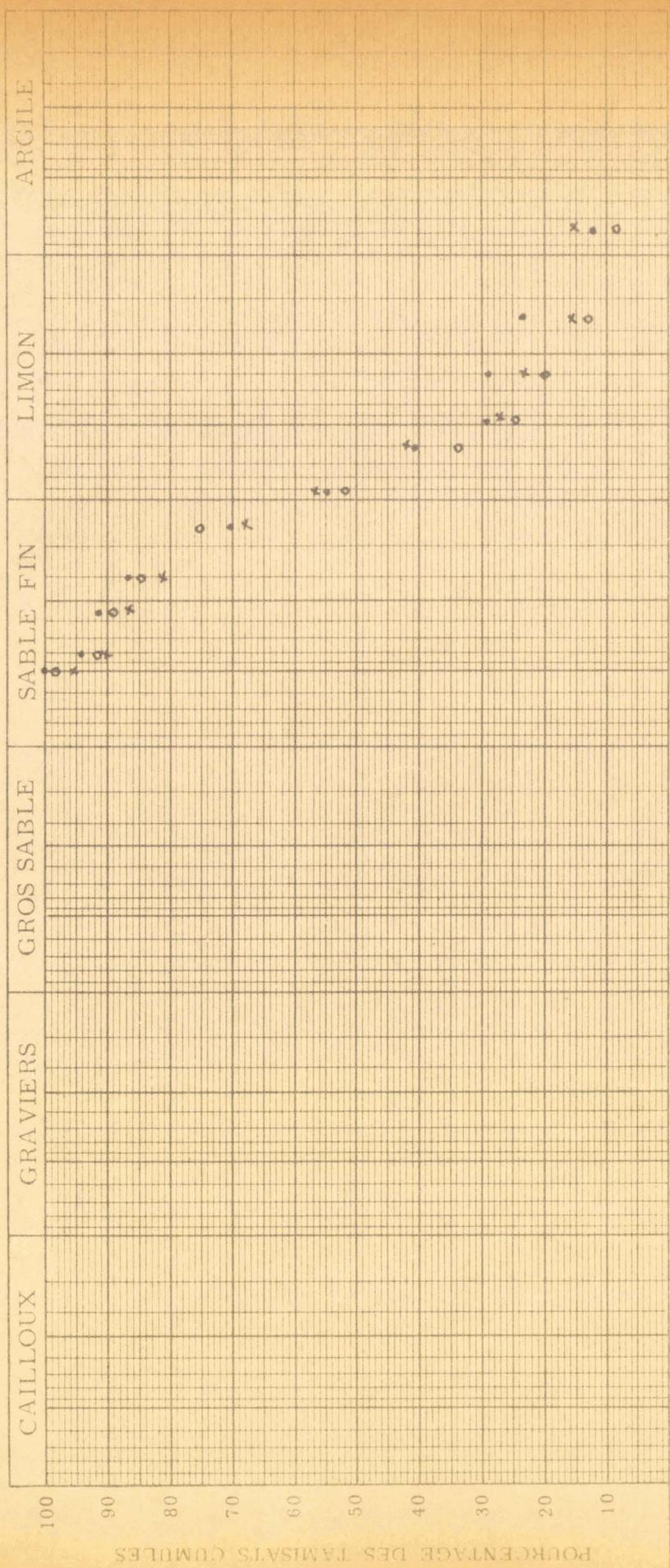


IP =

ES =

# ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

- D 3.50
- x C 1.10
- o B 2.50



POURCENTAGE DES FAIMATS CUMULES

ASTM | 200 | 100 | 50 | 25 | 12.5 | 6.3 | 3.15 | 1.6 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.075 | 0.05 | 0.025 | 0.015 | 0.0075 | 0.5mm | 0.25mm | 0.125mm

Module | 54 | 48 | 44 | 41 | 38 | 34 | 31 | 28 | 24 | 21

ASTM | 5" | 2" | 1" | 1/2" | 1/4" | n°10 | n°20 | n°40 | n°60 | n°80 | n°100 | n°150 | n°200

Passoires | Tamis

LL = *Limou moyen*  
(Limou sable argileux vaseux)

IP =

ES =

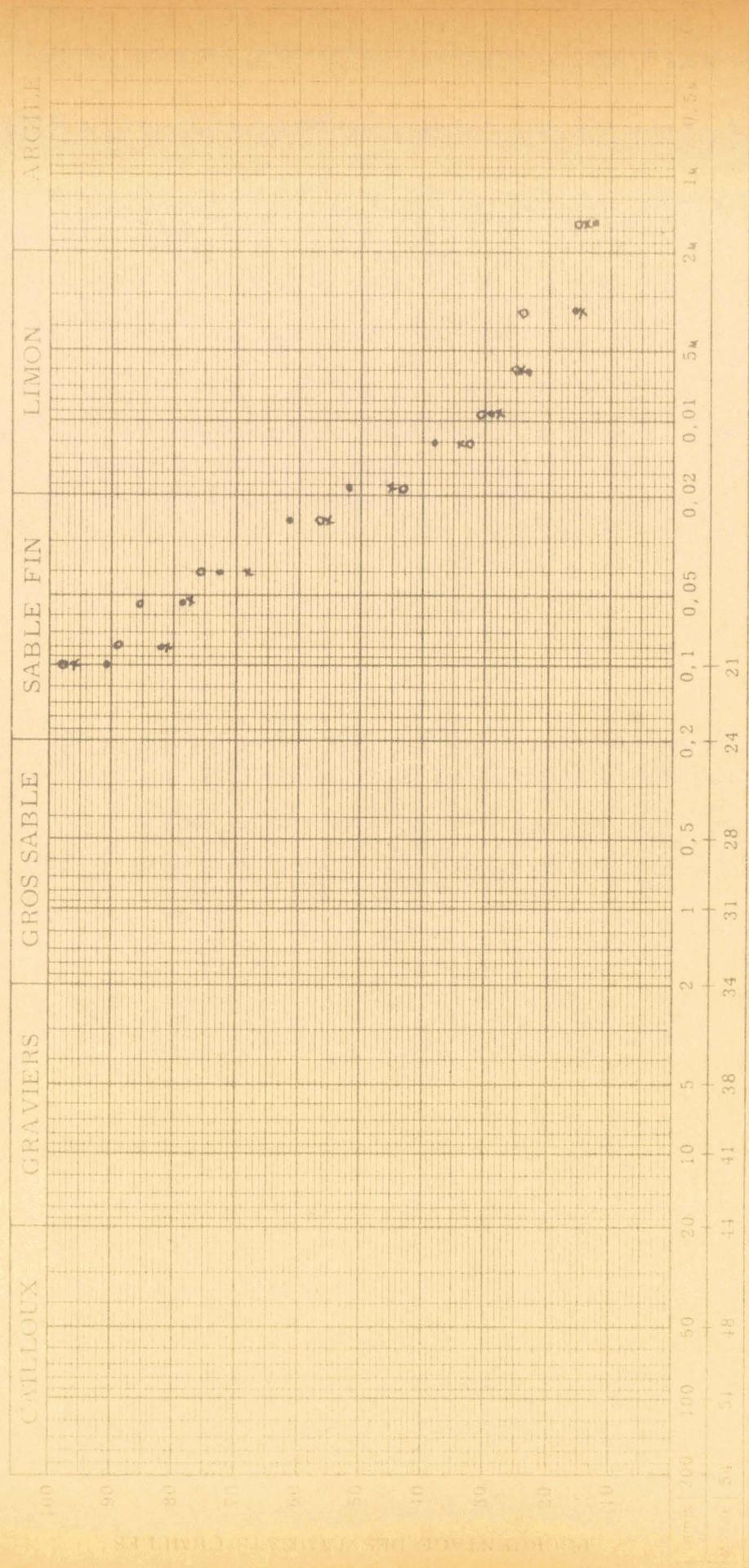
Operator



Saint-Quentin, le

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- A 3.20
- X A 1.80
- o A 2.00

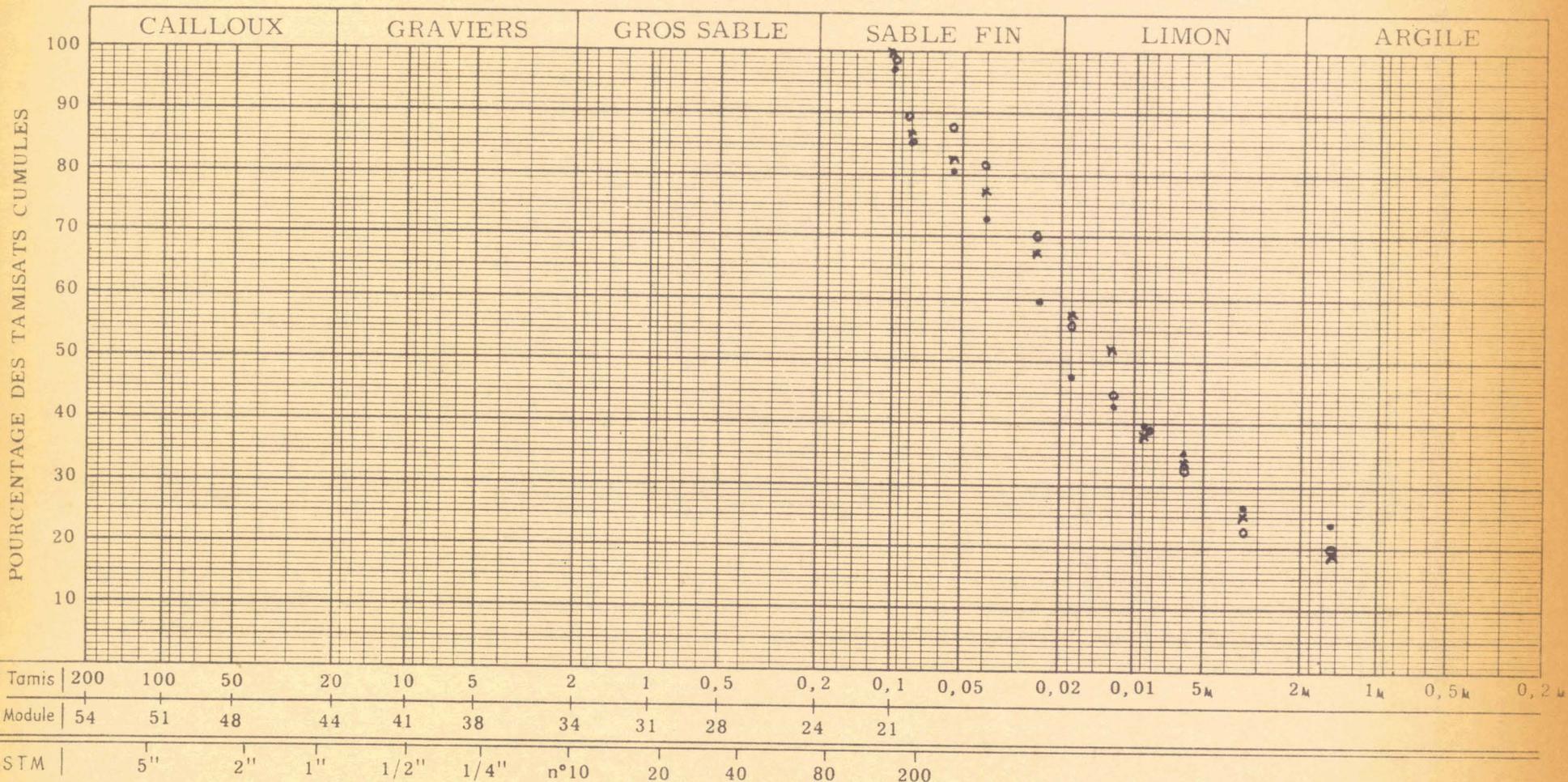


Quas limon sable moyen  
ou limon moyen sableux



# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- A<sub>1</sub> 1.60
- × B 5.30
- o B 1.20



AFNOR	Tamis	200	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	5μ	2μ	1μ	0,5μ	0,2μ	
	Module	54	51	48	44	41	38	34	31	28	24	21									
ASTM		5"	2"	1"	1/2"	1/4"	n°10	20	40	80	200										

← Passoires → Tamis →

Limou lourd sableux

LL = IP = ES =

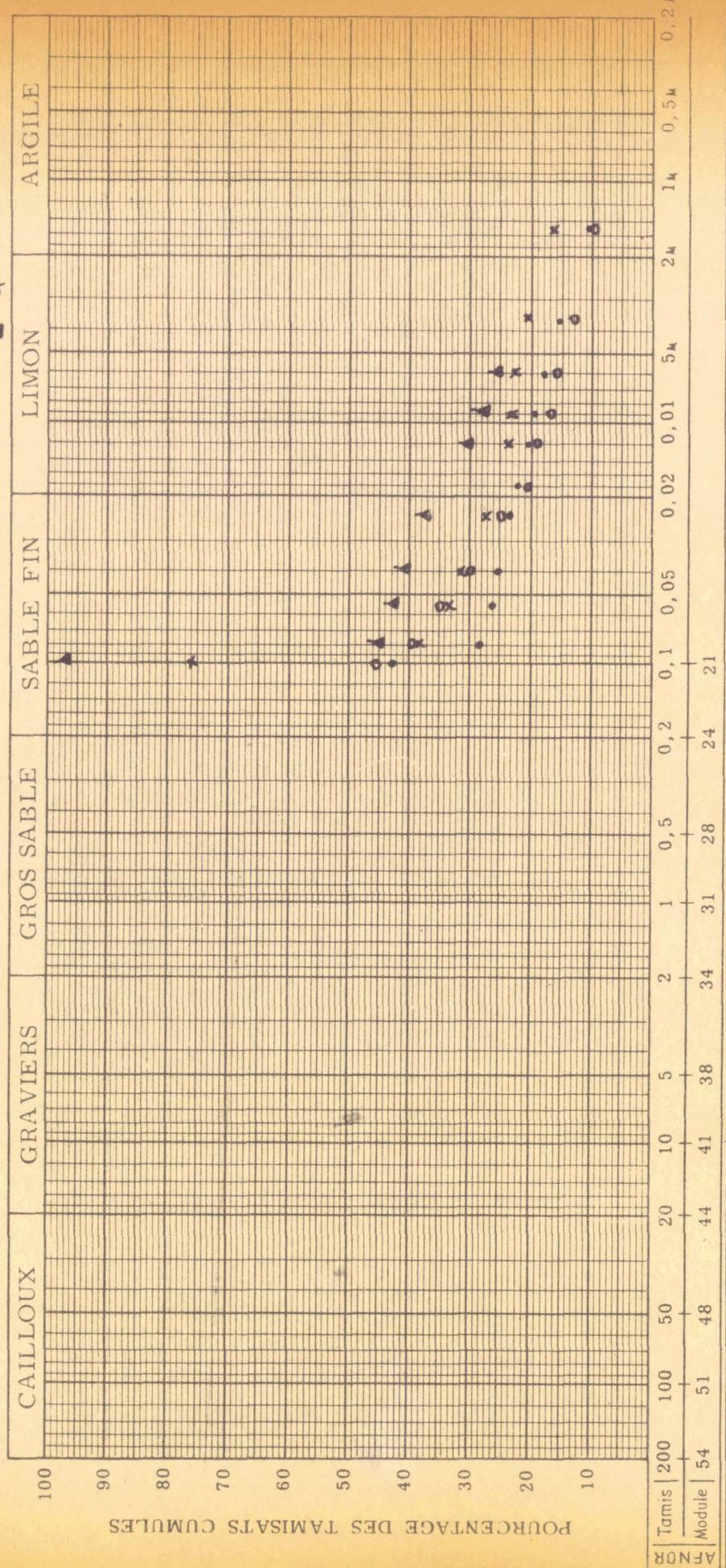


Opérateur

Saint-Quentin, le

# ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

- D<sub>1</sub> 3.80
- x D<sub>1</sub> 2.00
- o D 1.70
- ▲ C<sub>1</sub> 3.40



Caill + silice + limon argileux



LL = IP = ES =

Opérateur Saint-Quentin, le

343 - Tourbe et sable tourbeux.

La présence de tourbe est certaine d'un bord de la vallée à l'autre, bien que sa présence ne soit plus mise en évidence aux sondages D D1. Son épaisseur varie de 1 m 50 environ vers la rive Sud, à 2 m environ au centre pour diminuer progressivement vers la rive Nord. Profondeur variant de 3 - 4 m à 5 - 6 m au centre et 2 m rive Nord.

Cette tourbe présente les caractéristiques suivantes :

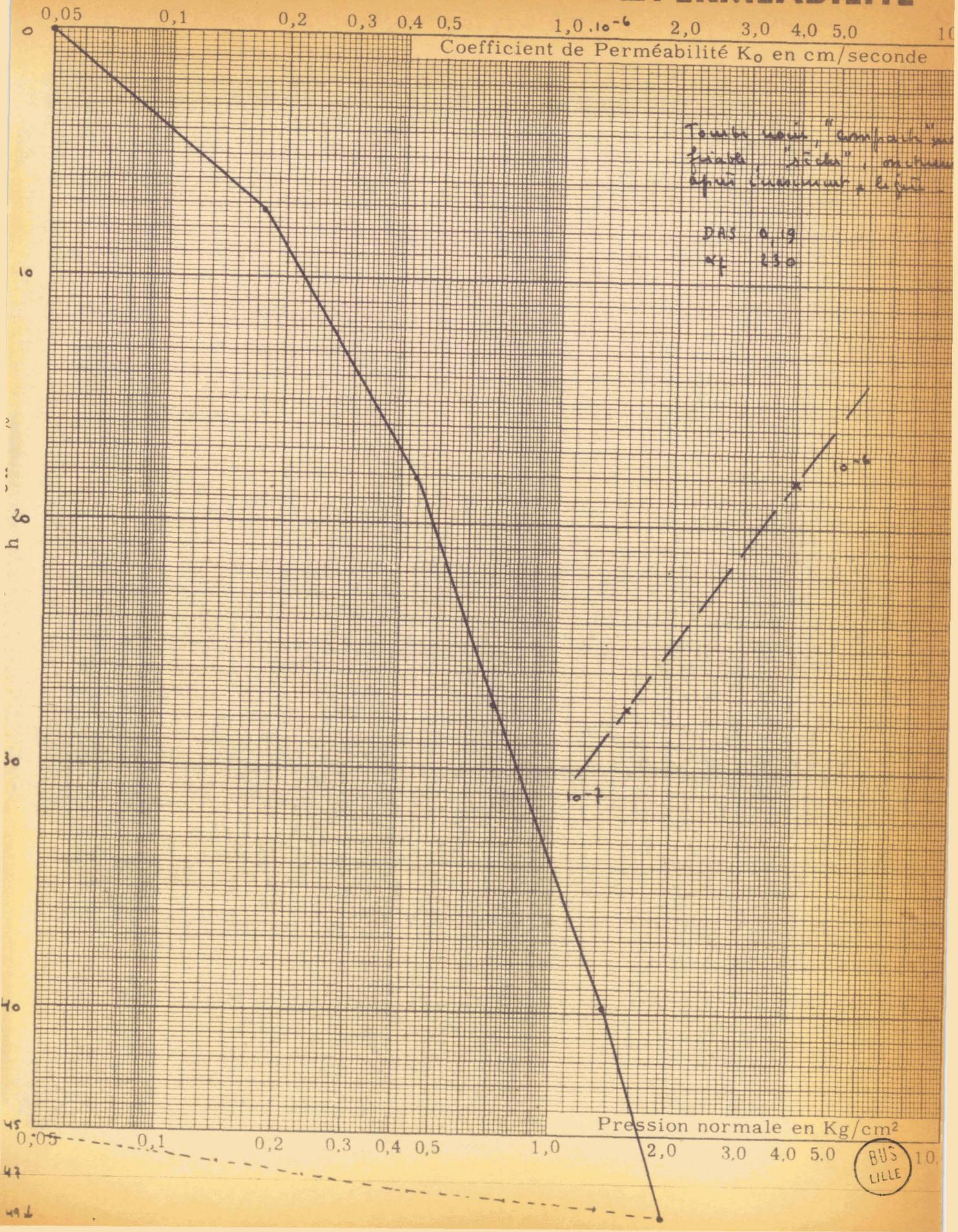
sa teneur en eau varie assez fortement de 100 à 200 % rive Sud, elle passe à 300 - 450 au centre et vers la rive Nord. Les densités apparentes sèches passent de même de 0.40 à 0.20 - 0.30 puis 0.30 - 0.40. Il s'agit donc d'une tourbe noire, légère, humide et compressible. Son apparence néanmoins est "sèche", friable et peu cohérente, avec persistance de fragments végétaux, et squelette sableux d'autant plus important qu'on se rapproche des rives ou de la vase sus-jacente. Elle offre, par ailleurs, une certaine résistance à la pénétration (5 coups environ), ce qui marque assez bien la limite entre elle et la vase.

Les caractéristiques de cisaillement, peu nombreuses, laissent supposer un angle de frottement interne de l'ordre de  $10^\circ$ , avec une cohésion faible (inférieure à 0.050 kg/cm<sup>2</sup>). Après consolidation à 1.390 kg/cm<sup>2</sup>, sur un seul échantillon de B1, on obtient  $18^\circ$  et 0.250 kg/cm<sup>2</sup>. L'éprouvette cisailée a tassé en consolidation de 50 % environ ; elle paraît compacte, un peu sableuse bien qu'onctueuse au doigt. Les résultats ne semblent donc pas aberrants, bien que favorables.

Les essais oedométriques montrent une certaine homogénéité de la tourbe noire, si on excepte les extrémités vers les rives, et les zones haute et basse en contact avec les couches limitrophes. On peut, en effet, admettre un tassement moyen, pour 1.350 kg/cm<sup>2</sup> de l'ordre de 40 % (B 6.30 C 4.60 Cl 5.60), avec des perméabilités de l'ordre de  $10^{-6}$   $10^{-7}$  et des pressions de préconsolidation de l'ordre de 0.500 kg/cm<sup>2</sup>.

La tourbe sableuse latérale est un sol composite, assez difficile à définir. Il y a eu certainement interaction en la tourbe existante et le sable argileux de couverture glissant progressivement dans le marais.

# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



On trouve maintenant un sol peu ou moyennement compressible (10 % pour A 4.40 avec présence de grains de craie), plus préconsolidé (0.400 kg/cm<sup>2</sup>), plus dense (0.40) donc un peu plus sec ( $w \neq 200$ ).

Ce sol est un mélange de tourbe brune et de sable, avec des zones de tourbe noire. Il y a interpénétration, on peut donc admettre que ce sol constitue une zone de transition.

La tourbe en contact avec la vase ou la zone de sable tourbeux inférieure paraît un peu moins mauvaise que la tourbe noire. Si les densités apparentes sèches et teneurs en eau restent les mêmes, le squelette sableux ou la présence de grains crayeux provenant de la zone d'altération de la craie toute proche, diminue un peu la compressibilité. Ainsi Bl à 7.20 tasse de 22 % avec une perméabilité de 10<sup>-6</sup> et une pression de préconsolidation de l'ordre de 200 grammes.

Le sable tourbeux sous jacent est d'épaisseur faible : 10 à 40 cm sauf en rive Sud où il paraît plus important, mélangé ou assimilé qu'il est à la tourbe sableuse.

Densité apparente sèche 1.40,  $w$  33, avec présence de silex parfois recouverts de limonite.

On trouve parfois un peu d'argile gris noir organique de faible épaisseur (Cl 5.80 à 6.10) de  $\gamma_d$  1.56, teneur en eau 38, LL 55, IP 36, collante et compacte, mais trop humide pour offrir une résistance au pénétromètre SOILTEST.

#### 344 - Marne et zone d'altération de la craie.

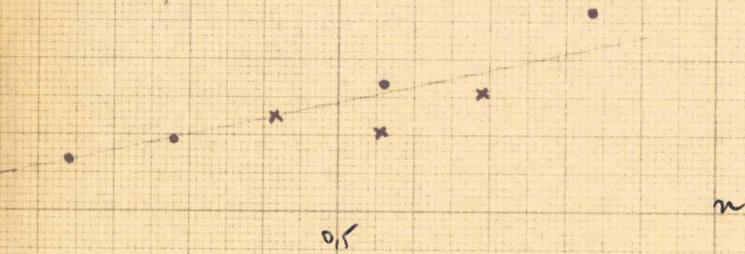
Cette zone est très diverse au point de vue aspect des sols, la nature crayeuse d'origine constituant le seul terme commun.

On trouve cet ensemble de terrains sous le sable tourbeux, à une profondeur variant de 4 - 5 m en rive Sud, à 8 m aux sondages BBl, 5 - 6 m aux sondages CCl, et 2 - 3 m en rive Nord.

Marne

•	D	4.00	gou + argil
x	C	6.90	

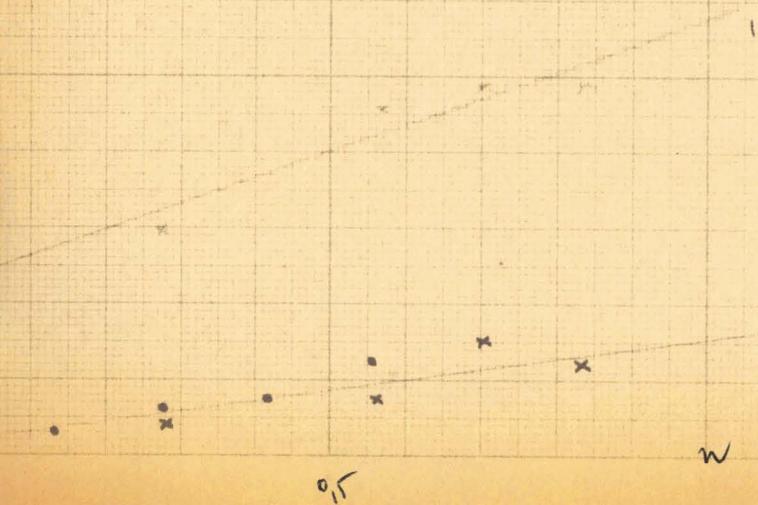
↑ e



Tourbe

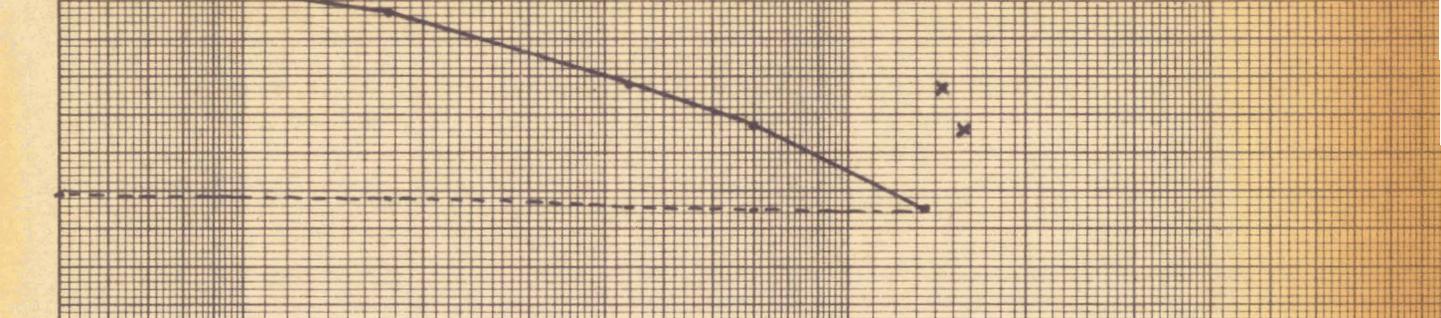
•	A	4.40
x	B	6.40

consolidation  $\sigma$   
1,390



# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ

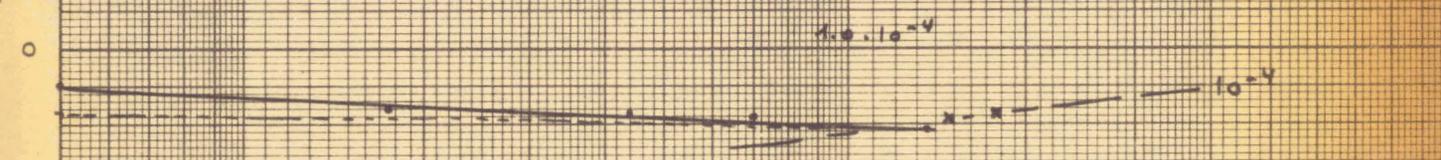
0,05 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 1,0.10<sup>-6</sup> 2,0 3,0 4,0 5,0 10  
 Coefficient de Perméabilité K<sub>0</sub> en cm/seconde



Sable argileux très fin gris, compact, avec silex blancs et morceaux de coque.

DAS 1,49  
 α<sub>f</sub> 28  
 LL 25  
 IP 8

ST Mard D = 3,90



1,0.10<sup>-4</sup>

10<sup>-4</sup>

Masse sableuse gris jaunâtre + silex + morceaux de coque

DAS partiel 1,36  
 α<sub>f</sub> 21  
 LL 26,5  
 IP 11,5

Pression normale en Kg/cm²

0,05 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 1,0 2,0 3,0 4,0 5,0 10



L'épaisseur et l'aspect de cette zone est très variable, la limite entre elle et la craie étant parfois difficile et presque uniquement subjective, le principal critère étant la proportion plus ou moins grande de craie en morceaux ou en blocs.

On trouve dans cette zone de la marne gris verdâtre à silex qui peut localement être tourbeuse, sans cesser d'être relativement compacte. Ainsi A 4.80, B. 8.00, C 4.70, D 3.50, B1 8.10, C1 6.10, dont les caractéristiques sont :  $\gamma$  d entre 1.30 et 1.78, teneur en eau entre 18 et 53, angle de frottement interne variable, allant de 7 à 32°, avec des cohésions de 0.050 à 0.300 kg/cm<sup>2</sup>. Compressibilité faible (2% en D 3.90) avec perméabilité forte (10<sup>-4</sup>).

On trouve encore du sable crayeux plus ou moins grossier contaminé de limon parfois tourbeux ; ainsi A 5.60, C 6.10, D1 3.60, dont les caractéristiques restent en fait très proches de celles du groupe précédent :  $\gamma$  d variant de 1.50 à 1.87, teneur en eau de 14 à 30%, IP voisin de 8.

Il y a aussi présence de sable fin argileux gris verdâtre compact en lits alternant avec des lits de gros sable et des débris crayeux, particulièrement en C de 6.10 à 7.40, de densité sèche variant de 1.60 à 1.94, plus forte dans le sable vert compact, teneur en eau de 18 à 25, IP 9.

Cette zone est donc assez homogène. On peut retenir qu'il s'agit de sols peu ou pas compressibles, de perméabilité moyenne, frottants, irrégulièrement cohérents, peu plastiques. La résistance à la pénétration du carottier est élevée.

#### 345 - Craie.

La craie rencontrée a toujours été marneuse, plus ou moins désagrégée, sableuse et riche en silex. Aucun sondage n'a permis de trouver la craie dure non fissurée.

Les  $\gamma$  des couches crayeuses rencontrées varient de 1.45 à 1.65, avec des teneurs en eau de 20 à 33.

Il ne se pose aucun problème de portance pour un remblai.

./...

35 - METHODES GEOECHNIQUES de DETERMINATION de la COUPE TRANSVERSALE -  
=====

De précieuses indications complémentaires peuvent être obtenues en portant sur une coupe de la vallée les valeurs de certains essais de Laboratoire tels que densité apparente sèche, teneur en eau, cisaillements, tassements, ou de certains essais de chantier (S.P.T. : nombre de coups pour enfoncer de 60 cm le carottier APM 78). Ces coupes sont données en annexe.

Teneur en eau -

Il y a mise en évidence, tant dans une transversale que dans l'autre, d'une couche vasarde supérieure très humide, d'une languette moins humide correspondant aux limons vasards, d'une zone plus humide avant la tourbe. Cette dernière apparaît très nettement, tandis que la zone marneuse se traduit assez irrégulièrement.

Densité apparente sèche -

Ici encore, mise en évidence de la vase molle de surface, de la vase sous jacente jusqu'à la tourbe (aucune division n'apparaît entre limons vasards et vase tourbeuse profonde). La tourbe est très bien mise en évidence, de même que le terrain crayeux, avec sa remontée latérale en palier vers le Nord.

Cisaillements -

Le nombre d'essais est en fait trop réduit pour qu'il soit possible de dégager une loi, d'autant que la vase a un comportement tantôt plus sableux, tantôt plus argileux. La qualité des rives apparaît néanmoins nettement.

Oedomètres -

La limite des sols compressibles et des autres est nette. La tourbe est assez bien mise en évidence. La vase se divise en deux zones, celle de surface étant beaucoup plus compressible. La structure des rives apparaît assez bien, en particulier l'avancée en pointe des sols argileux et sableux de la rive Sud en A1.

S.P.T. ou battage -

Les coupes sont très simples et très caractéristiques. La cuvette de vase n'a pas de résistance. La zone tourbeuse se traduit par de petites valeurs, inférieures à 5. La zone marneuse et la craie se séparent très nettement des précédentes. La forme générale de la vallée est très bien retrouvée.

La concordance de ces coupes paraît suffisante pour justifier les deux transversales initiales.

./...

36 - CONCLUSIONS PARTICULIERES -  
=====

La Vallée de l'AVRE à ST-MARD est caractérisée par :

- deux berges abruptes, davantage au Sud qu'au Nord. Ces berges sont crayeuses et recouvertes de sable argileux et de limon argileux s'allongeant en languettes vers le marais central ;
- un marais occupant l'ancien lit, beaucoup plus important. Cet ancien lit est dissymétrique, mais beaucoup moins qu'à FEULLERES ;
- la dénivellation de cet ancien lit atteint 3 à 4 m, et provient vraisemblablement d'un enfoncement progressif de la vallée, mis en évidence par la forme même de la couche de tourbe, dont les extrémités sont à même niveau ;
- les terrains du marais central sont mous et compressibles, et leur épaisseur moyenne varie de 3 à 8 mètres. Le seul sol non compressible se rencontre à partir de la zone d'altération de la craie, les rives exceptées ;
- les rives paraissent ne pas poser de problèmes majeurs, au point de vue fondation d'ouvrage, malgré l'irrégularité des avancées de terrain plus compact, et l'interpénétration à certains niveaux du sable, de la tourbe et du limon vasard.

-----

CHAPITRE IV

---

VALLEE DE LA SOMME A FEUILLERES

---

- 41 - CONDITIONS PARTICULIERES d'ETUDE et IMPLANTATION  
des SONDAGES
- 42 - STRUCTURE GENERALE de la VALLEE
- 43 - CARACTERISTIQUES des SOLS RENCONTRES
- 44 - METHODES GEOTECHNIQUES de DETERMINATION de la COUPE  
TRANSVERSALE
- 45 - CONCLUSIONS PARTICULIERES

ANNEXES

Sondage B<sub>1</sub> complet

Sondage E complet

Indications données par le Sondeur sur les terrains non compressibles.

2 coupes géologiques et 10 coupes géotechniques.

---

./...

41 - CONDITIONS PARTICULIERES D'ETUDE -

=====

Les sondages ont été réalisés, d'une part, par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de SAINT-QUENTIN, pendant la période AVRIL - MAI 1962 pour les berges, et d'autre part, par l'ENTREPRISE BACHY, en MAI - JUIN, pour les sondages dans la SOMME et les étangs.

L'emplacement des sondages fut défini au préalable de telle sorte que l'axe projeté de l'Autoroute soit encadré par deux lignes de sondages distantes de cet axe d'environ 10,00 m.

Le Laboratoire Régional de SAINT-QUENTIN a utilisé la sondeuse CRAELIUS. Jusqu'à 1 m 50, le terrain a été désagrégé au tricône, puis ensuite, les échantillons intacts ont été prélevés dans des containers DENISSON (pénétration par rotation).

L'ENTREPRISE BACHY a prélevé ses échantillons intacts par battage dans les sols mous (APM 78 ou APM 86 et soupape) et par rotation dans les sols durs crayeux (KO 116). Ses sondages ont été systématiquement tubés.

./...

IMPLANTATION des SONDAGES

N° sondage	Coordonnées LAMBERT	
	x	y
1	637,075	250,063
A	637,083	250,107
B	637,088	250,168
C	637,095	250,239
D	637,100	250,304
2	637,114	250,365
E	637,114	250,403
F	637,116	250,442
3	637,122	250,481
G	637,124	250,531
H	637,124	250,573
1 <sub>1</sub>	637,068	250,068
A <sub>1</sub>	637,062	250,109
B <sub>1</sub>	637,068	250,170
C <sub>1</sub>	637,074	250,241
D <sub>1</sub>	637,080	250,306
2 <sub>1</sub>	637,083	250,376
E <sub>1</sub>	637,089	250,409
F <sub>1</sub>	637,090	250,446
3 <sub>1</sub>	637,093	250,480
G <sub>1</sub>	637,094	250,522
H <sub>1</sub>	637,103	250,568

42 - STRUCTURE GENERALE de la VALLEE -  
=====

L'ensemble des résultats de Laboratoire, les observations visuelles faites au fur et à mesure de l'ouverture des containers, la connaissance des sols qui en a résulté, ont conduit à proposer deux coupes de la vallée de la SOMME, suivant les deux lignes de sondages, à savoir :

Côté amont 1 - A - B - C - D - D2 - 2 - E - F  
3 - G - H -

Côté aval 1<sub>1</sub> - A2 - A1 - B1 - C1 - D1 - 2<sub>1</sub> - E1 - F1 - 3<sub>1</sub> -  
G1 - H1.

Chaque lettre correspond à un sondage, ceux effectués par l'ENTREPRISE BACHY étant A - B - C - D - D2 et A2 - A1 - B1 - C1 - D1 ; ceux effectués par le Laboratoire Régional de SAINT-QUENTIN, les autres.

Nous donnons en annexe les deux coupes transversales qui appellent les commentaires suivants :

421 - Examen de la transversale amont.

Il se distingue très nettement cinq zones différentes, du Sud au Nord.

421-1 - Berge Sud (sondage 1)

Cette berge est constituée par du sol crayeux limoneux tendre en surface, devenant plus dur en profondeur. Nous sommes en réalité sur la craie, altérée superficiellement, qui a dû être érodée par la rivière, cette berge étant abrupte.

Toute la butte Sud est crayeuse, recouverte par un limon des plateaux devenant en bordure un limon de lavage.

Cette berge longe le canal de la SOMME qui est assis dans la craie.

./...

421-2 - Première zone de transition (sondage A)

Cette zone est très tourmentée. On trouve en effet à partir de la surface en allant en profondeur, successivement, de la vase noire très fluide, de la vase avec gros blocs de craie, du sable gris vasard, de l'argile tourbeuse, de la tourbe noire, du sable tourbeux noirâtre + craie et silex, du sable argileux compact + craie, de l'argile tourbeuse + craie et silex, de la marne à silex, de la craie, d'abord plus ou moins désagrégée et argileuse, puis progressivement plus blanche, avec silex, mais toujours fissurée. La craie dure de type calcaire ne semble apparaître que vers 17 m (les cotes correspondent au niveau du sol, sans tenir compte de l'épaisseur d'eau sus-jacente).

Cette zone paraît avoir été le siège de bouleversements d'origine naturelle (failles) ou humaine (constitution du remblai entre le canal et l'étang. Cette dernière hypothèse semble devoir être retenue, sans préjuger de l'autre, car la coupe montre bien que le canal, assis dans la craie, a dû être isolé de l'étang par la banquette de terre, elle-même constituée par les remblais crayeux de creusement du Canal.

Il s'agit donc d'une zone difficile, présentant de nombreuses structures de sol, sous des états variables, en peu d'épaisseur. Par contre, la présence de la banquette peut être utile à la réalisation d'une amorce de remblai vers l'étang.

Néanmoins, il convient de garder présent à l'esprit qu'aucun sol ne présente une densité apparente sèche supérieure à 1,00 jusque 5 m environ (début de la zone d'altération de la craie), à l'exception d'une languette de sable gris vasard vers 1,50). Les sols sont mous, gorgés d'eau et compressibles.

De plus, cette zone correspond au lit actuel de la rivière.

421-3 - Etang (sondages B - C - D)

Cette zone est très régulière. On trouve successivement de haut en bas : vase molle, limon sableux gris vasard mou, vase tourbeuse, tourbe argileuse, tourbe brune, tourbe noire plus ou moins sableuse ou argileuse, sable argilo tourbeux, marne à silex, craie désagrégée avec sable et silex, puis craie tendre à silex fissurée devenant dure vers 14 - 17 m au centre, 12 - 13 m vers le bord.

La présence d'une cuvette est indiscutable, avec un fond assez plat et un point bas situé entre B et C.

Une des caractéristiques essentielles de cette zone est la progressivité des transitions d'un sol à l'autre. La vase devient sable vasard, puis vase tourbeuse par zones de transition peu marquées, et qui ont été tranchées autant par l'apparence visuelle que par les mesures de Laboratoire. Il est significatif à ce sujet que - mise à part la tourbe - aucun sol n'a de densité sèche supérieure à 0,90, au sondage B, avant d'arriver à la zone d'altération de la craie (8,50) ; et de même en C, exception faite d'une languette sableuse vers 3,50, mais peu épaissée.

En D, l'amélioration est plus sensible, la structure générale paraissant "feuilletée" avec vase - limon sableux - vase - tourbe - marne et craie (la vase et la tourbe représentant 1,50 + 2,50 environ).

Il semble donc, en résumé, que la structure de l'étang puisse se schématiser ainsi :

- vase molle
- languette limoneuse plus compacte inexistante en B mais se précisant vers le Nord
- vase argilo tourbeuse
- tourbe
- marne et craie.

Il s'agit donc là de terrains très mous, saturés d'eau (vase en B : LL 57 - teneur en eau 130 par exemple); non ou très peu porteurs, très compressibles. La tourbe elle-même, bien qu'assez "sèche", est très compressible, l'état physique des couches supérieures ne permettant qu'une préconsolidation limitée.

Le seul élément favorable paraît être la présence, au Nord, d'une bande de gros limon sablo-argileux plus compacte qui s'avance dans la vase en direction du Sud, et qui semble s'arrêter entre D et C.

#### 421-4 - Deuxième zone de transition (sondages D - D2)

Cette zone correspond à la rive Nord, plate et marécageuse. Elle représente la transition entre les terrains vasards de l'étang et les terrains sableux qui seront rencontrés ensuite. Le sondage D2 est particulièrement intéressant, puisqu'on note la présence de gros blocs de craie dans le sable, à la surface (de 0 à - 1 m 50), blocs qui représentent sans doute une tentative humaine de stabilisation de rive. L'étang commence entre D et D2, ce dernier sondage étant implanté en bordure.

./...

On observe, dans cette zone, une disparition de la vase superficielle remplacée - outre le remblai crayeux indiqué - par le limon sablo argileux gris qui représente le sol " naturel " de la rive Nord, et qui s'avance en langue dans l'étang.

Par contre, la zone vasarde profonde existe encore, bien que très diminuée (0 m 50), et disparaîtra ensuite complètement.

On trouve enfin, en profondeur, la tourbe noire entourée de sa zone argilo-tourbeuse, comme précédemment, et surmontant la couche marneuse à silex.

Les caractéristiques des sols sont donc modifiées dans cette zone. Mises à part la tourbe et l'argile tourbeuse, tous les terrains ont des densités sèches supérieures à 1,00, pouvant atteindre, dans le sable compact, 1,50. On a donc affaire à des sols qui sont à la fois moins compressibles et plus frottants.

421-5 - Berge Nord. (sondages 2, E, F, 3, G, H)

Cette berge constitue en réalité une zone très homogène et très régulière. On trouve, en effet, successivement de haut en bas :

- limon sablo argileux rougeâtre de surface (+ marécageux) se transformant en sable très fin argileux marron rougeâtre.
- gros limon sablo argileux (ou "sable" très fin argileux) gris verdâtre, qui n'est que l'aspect "réduit" du précédent, mais avec les mêmes caractéristiques géotechniques, la limite entre les deux s'enfonçant progressivement et régulièrement vers le Nord, au profit du premier.
- zone tourbeuse constituée de tourbe noire d'épaisseur décroissante vers le Nord, surmontée soit de sable gris tourbeux, soit d'argile grise, soit d'argile tourbeuse, et surmontant une argile plus ou moins tourbeuse, plus ou moins marneuse, et devenant de plus en plus sableuse vers le Nord.
- zone d'altération de la craie : marne et sable crayeux à silex, craie tendre à silex puis craie dure (10 m environ au sondage 3).

Les terrains rencontrés sont frottants, relativement compacts et peu compressibles ; les zones tourbeuses compressibles diminuent d'épaisseur vers le Nord et finissent par disparaître.

422 - Examen de la transversale aval.

On peut y distinguer les mêmes zones que dans la première transversale.

422-1 - Berge Sud. (sondage 1<sub>1</sub>)

Cette berge est constituée de craie limoneuse superficielle surmontant la craie blanche à silex assez résistante, mais fragmentée. Le talus Sud est crayeux, surmonté de limon.

Le canal de la SOMME est en grande partie, encastré dans cette craie.

422-2 - Première zone de transition (sondages A2 - A1)

Cette zone est très mouvementée. On y rencontre en effet, dans la banquette entre le canal et la SOMME (sondage A2), du remblai argilo crayeux, du limon tourbeux + craie, du limon argileux + craie + silex, du limon vasard + sable calcaire, puis la craie désagrégée à silex.

Dans le lit même de la rivière (sondage A1), on trouve d'abord la vase fluide, du sable vasard, de la craie sableuse et tourbeuse, de l'argile tourbeuse avec craie, de la tourbe noire truffée de craie et de sable, de l'argile tourbeuse avec craie, de l'argile grise molle, du sable argileux + craie, de l'argile molle à silex, du sable vasard, puis, enfin, la merne et la zone d'extraction de la craie.

Sans exclure la possibilité de failles ou diaclases dans la craie - hypothèse que nous formulons néanmoins - qui pourraient à la fois bouleverser les couches existantes, et produire des chevauchements de strates, il semble nettement que la présence de craie, présence systématique dans toutes les couches, provient du remblai constitué pour la berge Nord du canal. Ce remblai qui apparaît au sommet de la banquette, se retrouve d'ailleurs le long du sondage A2 par la présence de craie en blocs plus ou moins importants.

On retrouve d'ailleurs la fin de la zone tourbeuse générale dans le limon tourbeux de A2.

Nous nous trouvons donc en présence d'une zone difficile et irrégulière. Aucun sol ne présente de densité sèche supérieure à 1,00, à l'exception d'une petite zone vers 1,50, zone de sable vasard qui représente l'avancée du remblai de la banquette et qui se prolonge sous la vase de l'étang, comme nous allons le voir.

Ces sols sont mous, gorgés d'eau et compressibles.

422-3 - Etang (sondages Bl, Cl, Dl)

Cette zone centrale est très régulière. On trouve, en effet, successivement, de haut en bas :

- vase molle fluide + sableuse.
- limon sableux gris vasard, mou et peu compact au centre, devenant plus compact et plus délimité vers la rive Nord.

Ce sol, suivant les zones, est plus ou moins argileux ou tourbeux, il est aussi plus ou moins portant, mais il représente réellement le même sol qu'en rive Nord, considérablement plus mouillé et moins compact.

- argile tourbeuse qui en fait varie suivant les endroits, du sable argileux tourbeux à la tourbe brune argileuse, mais qui représente la partie supérieure de la tourbe noire sous-jacente, et certainement une zone de "tourbification active".
- tourbe noire plus ou moins sableuse et argileuse ;
- zone argilo marneuse à silex sous-jacente plus ou moins nette, qui se distingue parfois assez mal de la marne grise à silex ou du sable crayeux à silex, couches qui représentent le début de la zone d'altération de la craie ;
- craie altérée, blanc jaunâtre, sableuse, avec silex, passant progressivement au calcaire dur compact vers 15 - 18 m.

Ici encore, la forme de la cuvette est indiscutable, avec un fond plat dont le point bas est situé aux environs de Bl, un côté abrupt Sud, et une pente douce de remontée vers le NORD.

Les terrains rencontrés sont mous, gorgés d'eau, peu frottants et compressibles. Leur densité apparente sèche ne dépasse pas 1,00, exception faite de la zone sableuse vers 3 - 4 m (Y d de l'ordre de 1,00 à 1,30 en allant du Sud au Nord). Le passage d'un sol à l'autre est presque continu et les limites ont été déterminées autant par l'aspect visuel ou tactile que par les résultats des essais de Laboratoire.

Il faut encore signaler la présence constante de végétaux ou de racines, plus ou moins décomposés, à tous les étages de la coupe, de la vase à la tourbe.

422-4 - Deuxième zone de transition (sondages D1 - 2<sub>1</sub>)

C'est la zone de la rive Nord, plate, marécageuse, couverte de roseaux.

Il s'y produit à la fois la disparition de la vase superficielle et l'augmentation de l'épaisseur de la couche de limon sablo argileux, qui représente le sol principal de cette rive.

On retrouve en profondeur la zone de tourbe argileuse - argile tourbeuse, puis la tourbe noire, puis la zone d'altération de la craie.

Mis à part les terrains tourbeux en profondeur, dont les densités sèches sont de l'ordre de 0,4 - 0,8, mais dont l'épaisseur diminue, les sols deviennent plus compacts (1,30 à 1,60 pour le limon sableux gris en allant vers le Nord) et porteurs. La nature sableuse augmente le frottement, tout en diminuant la compressibilité.

422-5 - Berge Nord (sondages 2<sub>1</sub> - E<sub>1</sub> - F<sub>1</sub> - 3<sub>1</sub> - G<sub>1</sub> - H<sub>1</sub>)

On retrouve, mais plus nettement encore, la disposition précédente, c'est-à-dire successivement de haut en bas :

- limon argileux marécageux marron rougeâtre devenant progressivement plus sableux en profondeur ;
- limon sablo argileux ou ("sable" très fin argileux) gris verdâtre qui est le même que le précédent, mais sous une forme non oxydée.

La limite entre ces deux sols très régulière, s'enfonce progressivement quand on remonte vers le Nord.

- zone tourbeuse de structure variable, constituée d'argile tourbeuse, puis de tourbe noire, puis de sable argileux tourbeux, qui disparaît progressivement vers le Nord. A part la tourbe noire, présente jusqu'au sondage 3 inclus, les zones argilo tourbeuses supérieure et inférieure peuvent être plus ou moins modifiées, passant suivant les cas à l'argile grise, au sable argileux, à la tourbe brune, à la marne tourbeuse, et finissant en pointe au sondage H1 sous la forme de petites inclusions tourbeuses dans le sable gris.

./...

- zone d'altération de la craie, représentée par des terrains + variables : marne, argile grise + craie + silex, silex et craie marneuse ..... d'épaisseur localement variable.
- craie sableuse plus ou moins désagrégée, à silex, devenant plus dure en profondeur (7 m en H1).

Les terrains les plus importants sont peu compressibles, frottants, tandis que les zones compressibles tourbeuses diminuent d'épaisseur progressivement vers le Nord.

#### 423 - Conclusions.

Les deux transversales se superposent presque parfaitement : la Vallée de la SOMME, à FEUILLERES, est donc caractérisée par :

- une berge abrupte, crayeuse au Sud,
- un étang central constitué de vase molle fluente, avec une petite "écharpe" limono sableuse un peu plus compacte reliant plus ou moins nettement les deux rives, surmontant une zone de tourbe argileuse brune puis noire, compressible.

On trouve ensuite la zone d'altération de la craie et la craie.

- une berge Nord plate et marécageuse, constituée de gros limon sablo argileux rouge et gris ("sable" très fin argileux), surmontant la zone tourbeuse qui s'amincit progressivement pour se finir en pointe.

Il semble donc que la structure soit double : d'une part, un étang avec sols vaseux, mous, fortement compressibles et peu frottants, d'autre part, une berge Nord avec sols compacts, frottants et peu compressibles.

./...

43 - CARACTERISTIQUES des SOLS RENCONTRÉS -  
=====

Mis à part les remblais crayeux qui représentent des terrains mal définis et dont l'étude est pratiquement impossible (cas des sondages A2 - A et A1 - D2) - leur importance globale étant d'ailleurs très réduite - , les sols rencontrés sont, de haut en bas :

- vase,
- limon sablo argileux,
- argile tourbeuse et tourbe argileuse brune,
- tourbe noire,
- mame et zone d'altération de la craie,
- craie.

NOTA - Les indications de tassements qui suivront correspondront  
==== à une charge de 1.350 kg/cm<sup>2</sup>.

431 - Vase.

Ce sol est caractérisé par une forte teneur en eau, une faible densité sèche, une très grande compressibilité et pratiquement aucune résistance au cisaillement.

Etant donnée la progressivité du passage du sol vasard au sol tourbeux, les caractéristiques précédentes peuvent localement être un peu différentes, sans qu'en soit modifiée la validité pour l'ensemble de la couche.

Les densités sèches passent de 0,75 en rive sud, à 0,40 - 0,60 dans l'étang et à 0,60 - 0,90 en rive nord.

Les teneurs en eau varient de la même manière de 80 à 100 - 180, puis à 80 - 100 (les chiffres indiqués n'ayant pour objet que de situer l'ordre de grandeur).

La compressibilité est plus faible en rive qu'au centre : 20 à 25 % ou 20 à 30 % en A et Cl, elle passe à 30 - 40 % en B et Bl. Il est à remarquer la similitude entre les courbes oedométriques provenant de sols de la même zone, quelle que soit la transversale amont ou aval choisie.

Les perméabilités sont de l'ordre de  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  et les préconsolidations nulles, ce qui paraît normal.

Le tassement croît immédiatement avec la charge par expulsion progressive de l'eau en excès dans l'échantillon. La consistance de ce dernier est telle que rien ne permet d'affirmer que nous avons préservé la structure initiale du sol, mais ceci semble peu important dans le cas des vases.

Il est indispensable de signaler par ailleurs que lors des sondages, les tubes carottiers APM 78 s'enfonçaient tout seuls sous leur propre poids et qu'il était nécessaire de les retenir. Les résultats SPT indiqués sur les feuilles sont très "parlants" à cet égard.

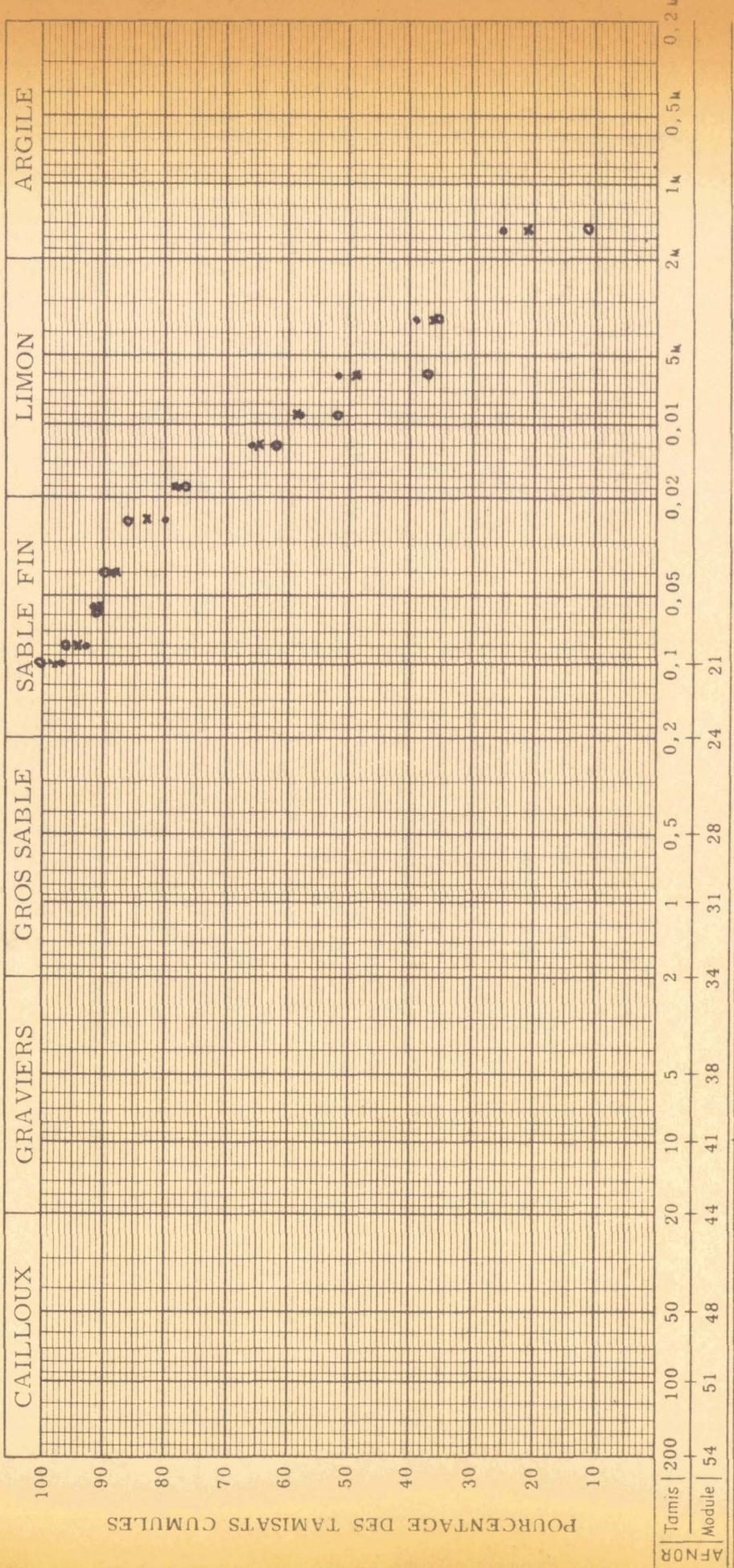
En conclusion, sol mauvais, particulièrement au centre de l'étang, et d'épaisseur pratique allant de 1,50 (rive Sud) à 5 m (centre), puis à 2,50 (rive Nord).

A signaler que la nature de la vase profonde est celle d'un limon sablo argileux, ainsi que le mettent en évidence les sédimentométries portées dans le tableau ci-après.

./...

Diamètres	BI	C	CI	D	E	E1	E1	F1	G1	H1
équiva-	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à
lents	3,20	4,50	3,30	2,60	3,80	1,60	3,00	5,70	2,20	1,80
100	97	100	95	99	100	100	100	100	98	98
80	93	96	82	92	95	94	87	93	96	82,5
55	92	91	79	80	63	70	63	74,5	80	50,5
40	89	89		76	47	62	49	60,5	69	47
25	80	86	49	56	42	50,5	41	50,5	48	45
18	78	77	36	40	38	39	30	43	27	39
12	66	62	28	33	32	31	21	33	27	35
9	58	52	25	25	30	27	19,5	29,5	23	33
6	52	37	21	23	25		24	28,5	19,5	33
3,5	39	36	20	20	21	19	17	23	18	30
1,5	25	11	17	12	19	19	16	23		
Nature	limon	limon	gross	gross li-	sable	gross	sable	gross li-	gross limon	sable
	argi-	vasard	limon	mon gris:	très	limon	très	mon argi-	argillo	très fin
	leux		sablo	compact	fin très	argillo	fin	très ar-	lo sa-	sableux
	vasard		argi-	sableux	argi-	sableux:	gris	gilleux	bleux	rougeâtre
			leux		leux	rougeâ-	limono	gris	gris	rougeâtre
					gris	tre	argi-	verdâtre:		
							leux			

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE



AFNOR Tamis 200 100 50 20 10 5 2 1 0,5 0,2 0,1 0,05 0,02 0,01 5μ 2μ 1μ 0,5μ 0,2μ

Module 54 51 48 44 41 38 34 31 28 24 21

ASTM 5" 2" 1" 1/2" 1/4" n°10 20 40 80 200

← - - - Passoires - - - > ← - - - Tamis - - - >

LL = IP = ES =

Opérateur ..... Saint-Quentin, le

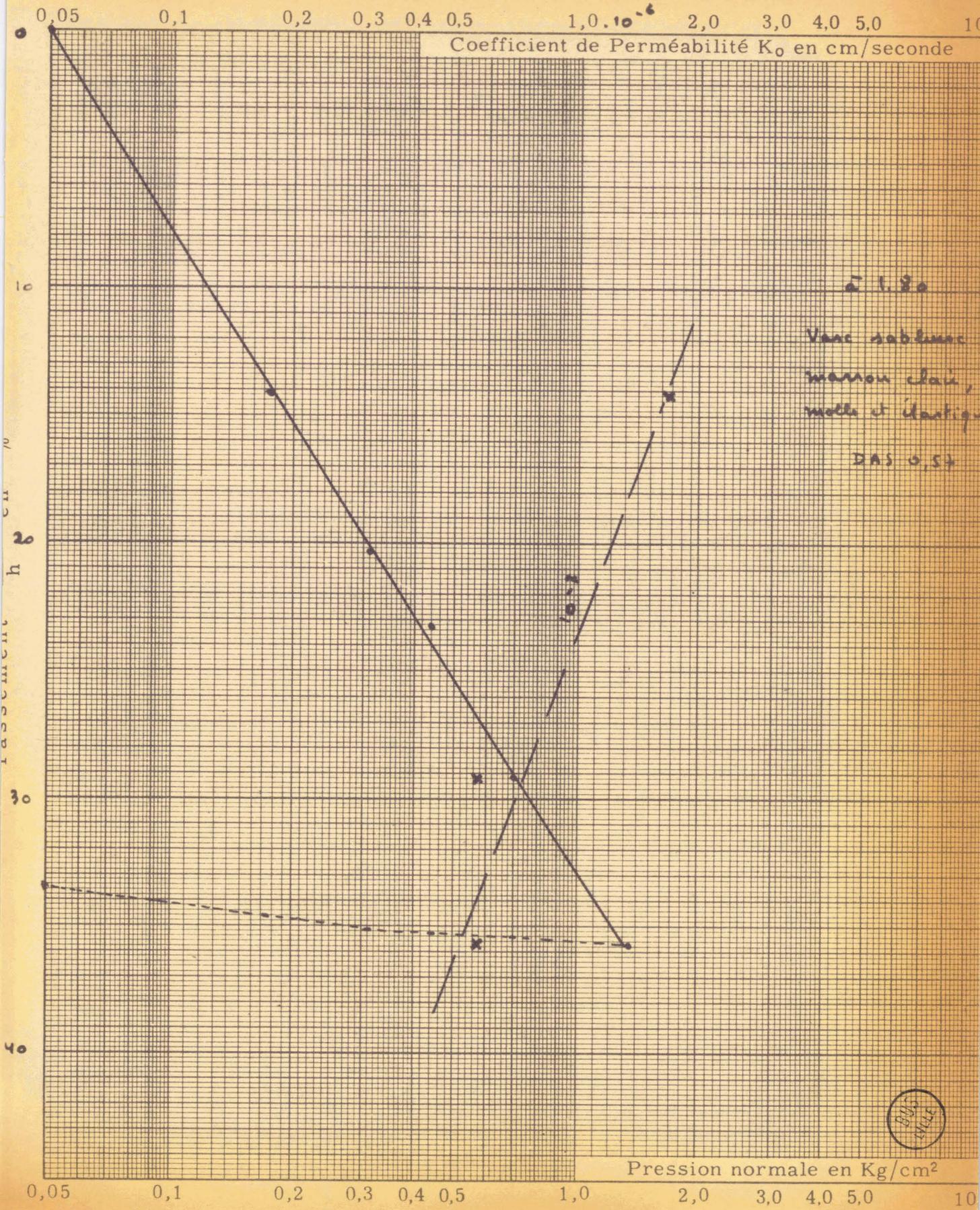
*Limou sable anguleux vasard*



SOLS et FONDATIONS

Feuille n° B

# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



432 - Limon sablo argileux.

Les sédimentométries montrent qu'il s'agit effectivement d'un "sable" très fin argilo limoneux ou d'un gros limon sablo argileux contenant environ 30 à 50 % de sable très fin (entre 50 et 100 microns) 20 à 40 % de gros limon (20 à 50 microns), 10 à 25 % de limon fin (2 à 20 microns) 20 à 25 % d'argile (inférieure à 2 microns).

Ce "sable", sur la rive Nord, est plus argileux en surface, et de couleur rougeâtre, mais il devient gris verdâtre en profondeur. Les essais de Laboratoire montrent, qu'en fait, il s'agit du même sol sous deux aspects différents.

Le "sol" rougeâtre représente la forme oxydée du "sol" gris, cette oxydo réduction pouvant être produite par deux phénomènes distincts. D'une part, il est possible que la zone de séparation rouge-gris représente à peu près la limite moyenne de la nappé phréatique, qui va en s'enfonçant à partir de l'étang. D'autre part, il est probable que la tourbe sous jacente, qui est un puissant réducteur, ait réduit le sable oxydé totalement à l'origine - la limite entre les deux sables suit d'ailleurs aussi la couche de tourbe sous jacente - A l'appui de cette dernière hypothèse, on peut citer le sondage H 1 où il n'y a pas de tourbe et où le sable gris verdâtre est aussi marron.

Ce "sol" semble provenir en fait du délavage du limon sablo-argileux de couverture, amené à la SOMME par les eaux de ruissellement et qui a sédimenté d'abord, les fines limoneuses et argileuses, entraînées, constituant l'élément premier de la vase de l'étang.

Quelle que soit sa couleur, il s'agit d'un sol assez compact, résistant bien au poinçonnement, mais assez friable dès que la pression augmente. Sa densité sèche varie de 1,40 à 1,70, et sa teneur en eau est presque constamment voisine de celle de saturation.

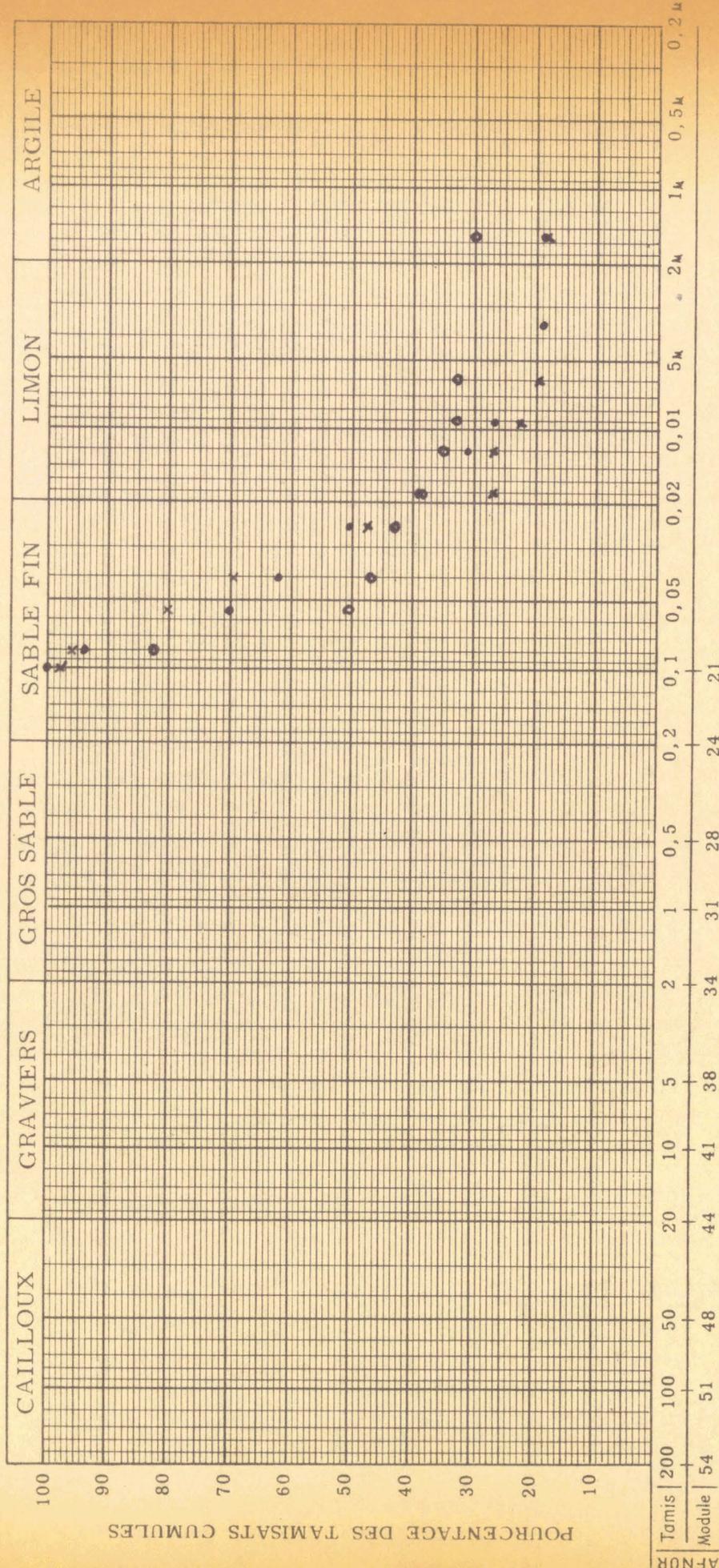
Le limon sablo argileux rouge a un angle de frottement interne de l'ordre de  $15^\circ$  (Voir fig.) avec une cohésion variable, comprise entre 0 et 100 gr/cm<sup>2</sup>.

Le limon sablo argileux <sup>gris</sup> a un angle de frottement interne de l'ordre de  $15^\circ$ , avec une cohésion variant de 0 à 150 g/cm<sup>2</sup> (Voir Fig.).

IV 20

Le groupement des résultats est particulièrement satisfaisant.

# ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

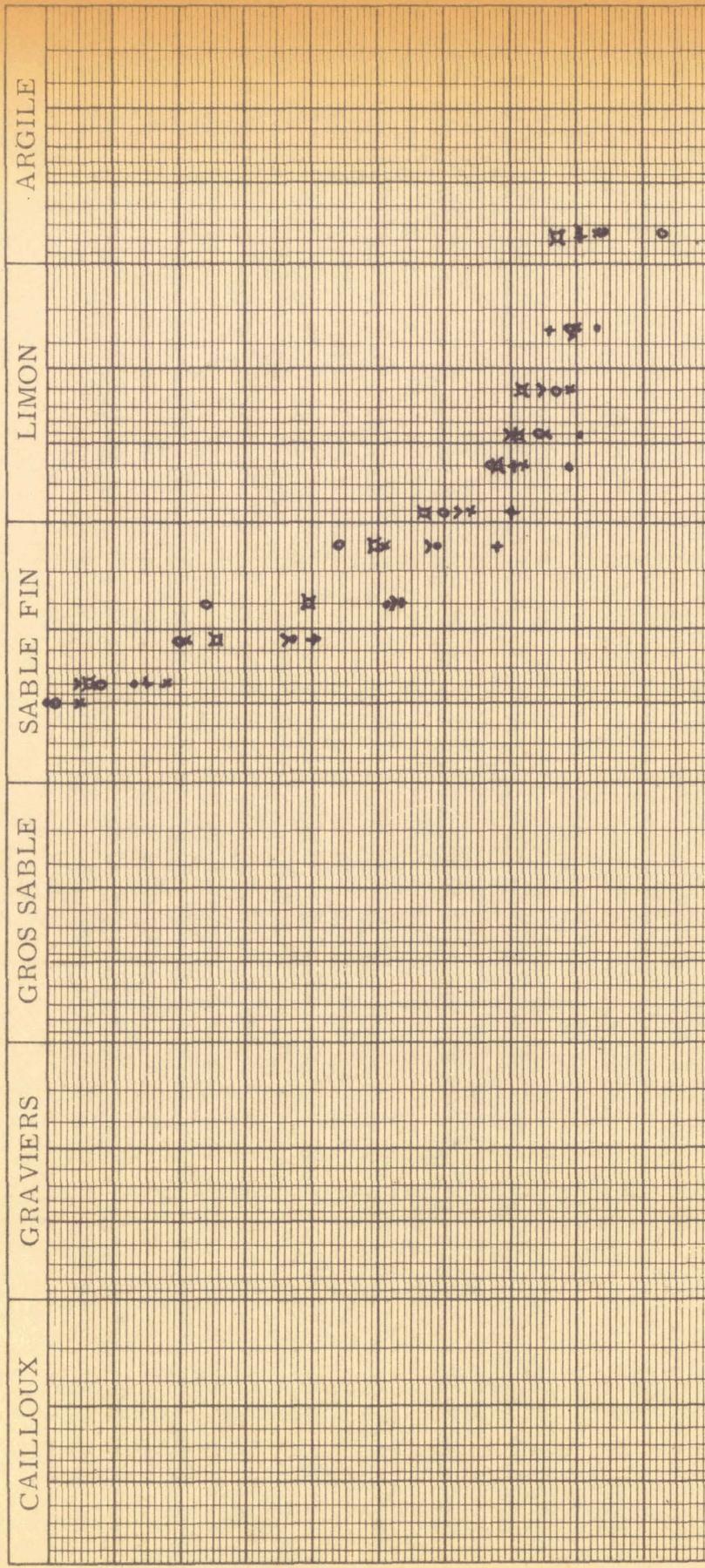


Tamis | 200 | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 5μ | 2μ | 1μ | 0,5μ | 0,2μ  
 Module | 54 | 51 | 48 | 44 | 41 | 38 | 34 | 31 | 28 | 24 | 21  
 ASTM | 5" | 2" | 1" | 1/2" | 1/4" | n°10 | 20 | 40 | 80 | 200  
 ← Passoires → Tamis →  
 LL = IP = ES =  
 Opérateur ..... Saint-Quentin, le .....  
 E, à 1.60  
 G, à 1.10  
 H, à 1.80



Sable très fin argileux rougeâtre (ou gros limon argilo sableux)

# ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE



	200	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	5µ	2µ	1µ	0,5µ	0,2µ	
Tamis	200	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	5µ	2µ	1µ	0,5µ	0,2µ	
Module	54	51	48	44	41	38	34	31	28	24	21									
ASTM	5"	2"	1"	1/2"	1/4"	n°10	n°20	n°40	n°80	Tamises										
ASTM	LL =					IP =														
	ES =																			

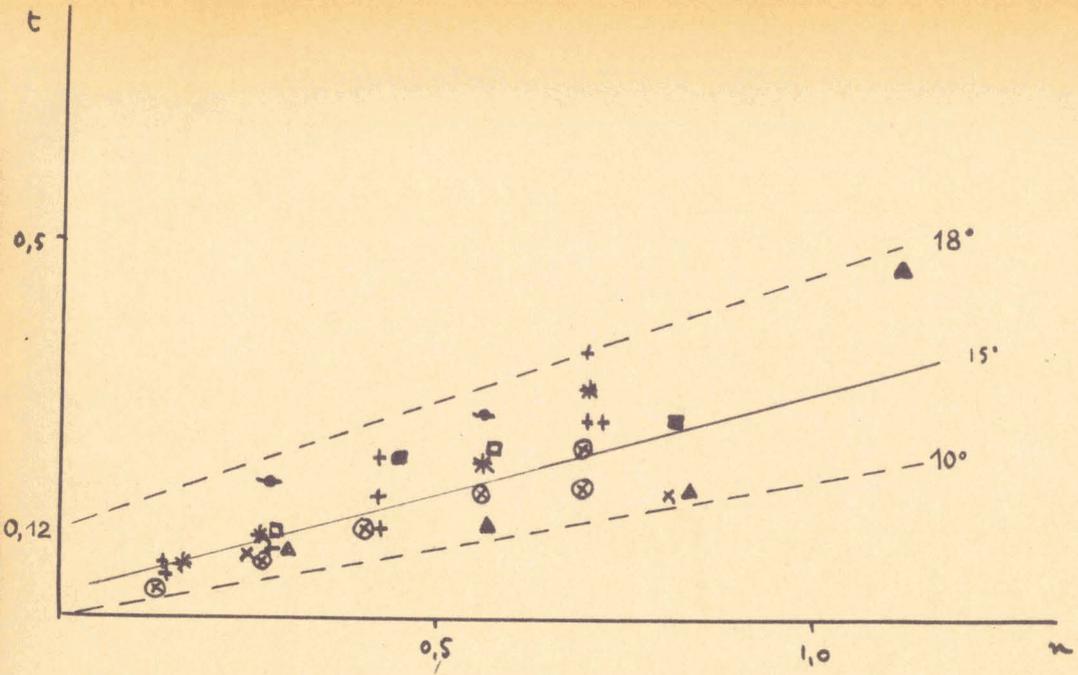


Opérateur -----

Saint-Quentin, le -----

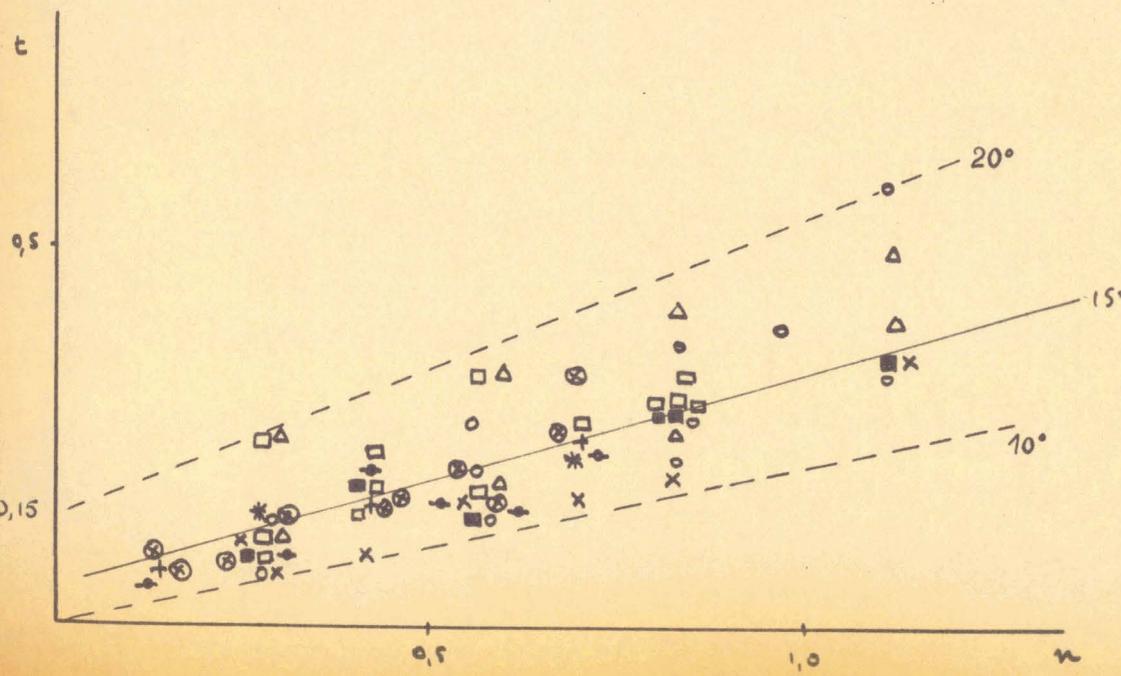
"Sable fin très fin argileux (ou gros limon sablo argileux)"

rougière argileux  
 (Gros limon sablo argileux)



2	o	2 <sub>1</sub>	o
E	Δ	E <sub>1</sub>	Δ
F	◊	F <sub>1</sub>	◊
3	x	3 <sub>1</sub>	⊗
G	+	G <sub>1</sub>	*
H	□	H <sub>1</sub>	■

"Sabl" trié fin argileux  
 gris verdâtre  
 (gros limon sablo argileux)



La compressibilité est faible et toujours inférieure à 10 %. On peut classer les sables examinés en deux groupes :

- tassement  $\leq 5\%$ , avec des perméabilités de l'ordre de  $10^{-6}$  à  $10^{-7}$ , et une préconsolidation de l'ordre de 300 gr/cm<sup>2</sup> (H à 2,30 - 2 à 2m50 par exemple).
- tassement  $< 10\%$ , avec des perméabilités plus faibles, de l'ordre de  $10^{-6}$  à  $10^{-8}$  et des pressions de préconsolidation variant de 200 à 400 gr. (H à 3,00 - F à 1,70 par exemple), mais parfois nulles (E à 2,30 ou A à 1,90). Ces différences provenant sans doute de la proportion plus ou moins importante de fines limono argileuses ou de la teneur en eau initiale parfois élevée.

Le passage de la vase au limon sableux se marque par une diminution du tassement, ainsi, au sondage D de 2,00 à 3,30. L'existence de la couche sableuse portante est ainsi assez nettement marquée.

En effet, l'avancée de ce même limon sableux dans l'étang pose un problème. Il semble bien acquis qu'il y ait un "pont" sableux entre les deux rives, à une profondeur moyenne de 3 à 3,50. Si ce pont est "sableux", il n'est pas précisément portant d'un bout à l'autre. Les densités décroissent de la rive Nord vers le Centre de l'étang, assez rapidement, et on peut penser que le limon sablo argileux, au centre, se différencie peu de la vase sus jacente ( $\gamma$  d # 0,8, teneur en eau 50 à 100).

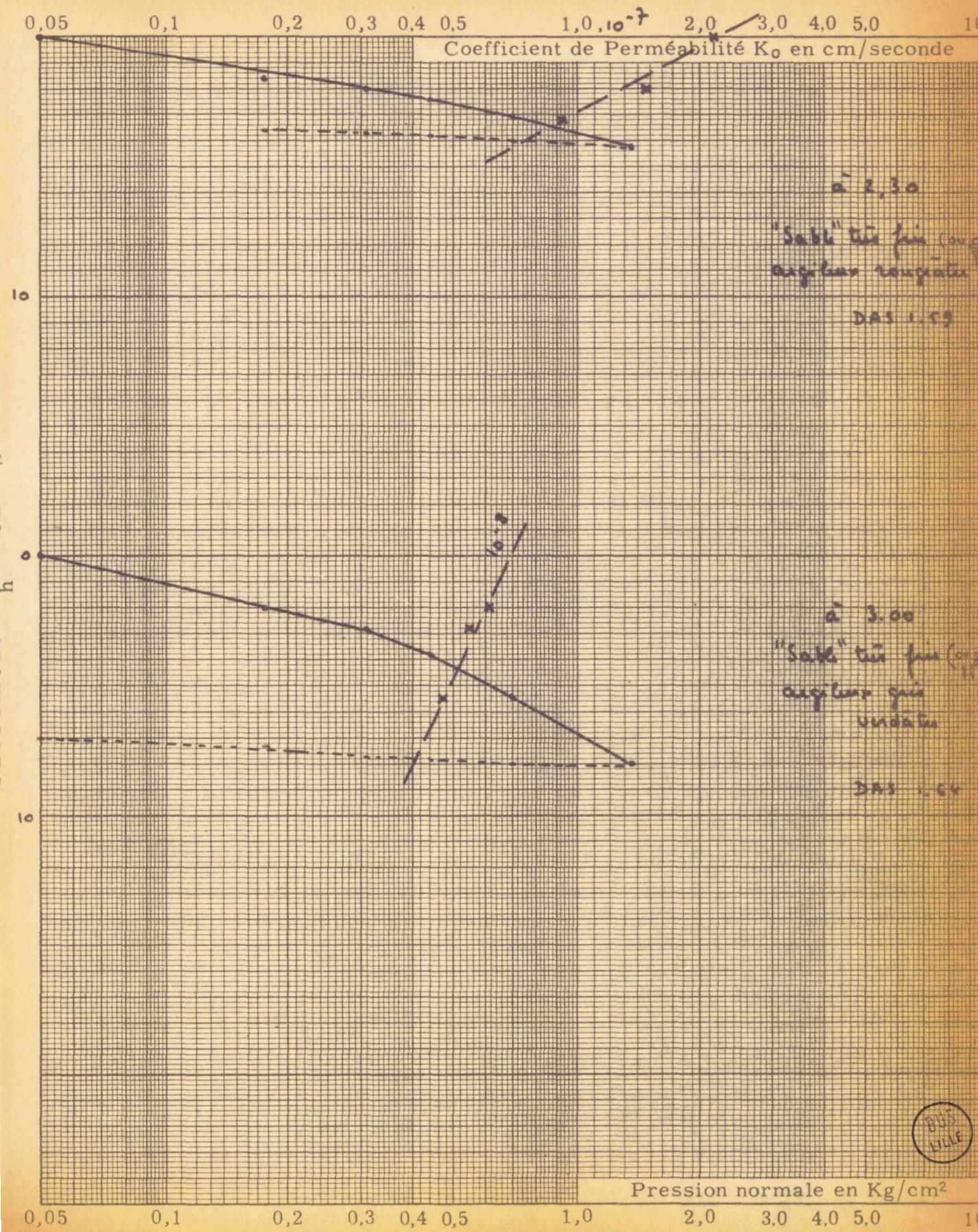
Par contre, l'avancée latérale (sondages D2 - D - D1) est très avantageuse dans l'hypothèse d'un remblai. Nous avons donc été amenés à faire des cisaillements sur des échantillons de cette zone, après consolidation sous 0,700 kg/cm<sup>2</sup>. Les résultats sont groupés (Voir Fig.), bien que peu nombreux : ils conduisent à un angle de frottement interne, après consolidation, de l'ordre de 16°, avec une cohésion  $\leq 100$  gr/cm<sup>2</sup>.

Deux faits corrélatifs ont été notés, qui paraissent intéressants : d'une part, la grande importance du tassement de consolidation (qui atteint environ 10 %) et d'autre part, la faible importance des tassements de cisaillement, lors de l'essai après consolidation (1 % environ).

Il semble donc y avoir là un élément digne de retenir l'attention.

Il faut enfin signaler la présence de pigmentation ou d'inclusions tourbeuses ou de "rouille" dans le limon sablo argileux quel que soit le sondage, mais de fréquence variable.

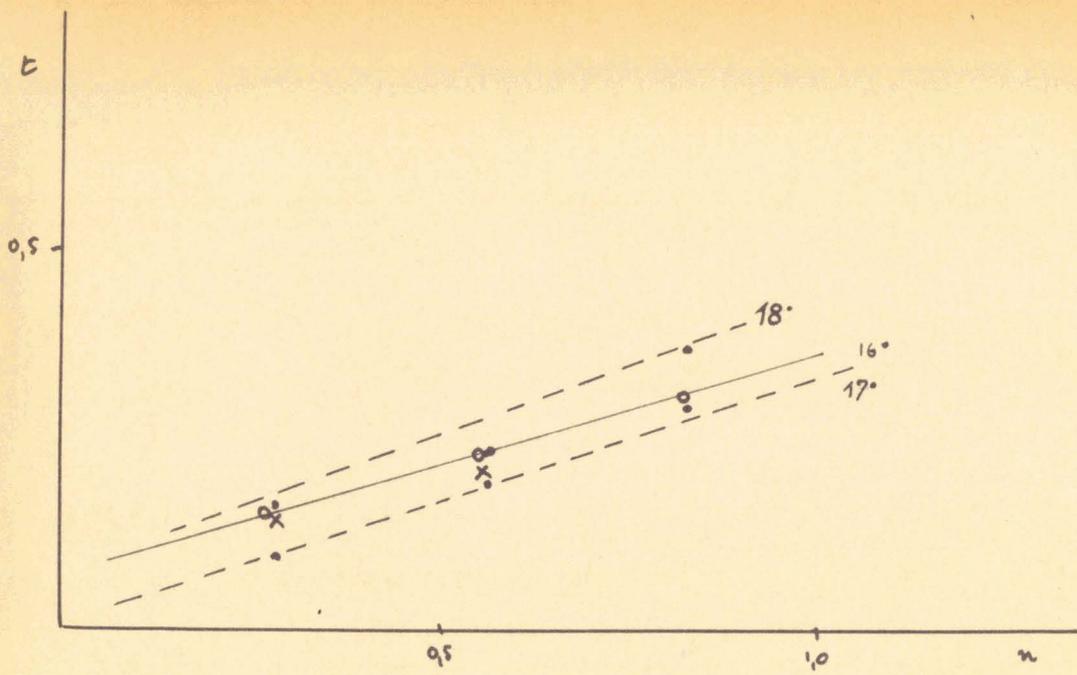
# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



Cisaillements après consolidation à 0,700 kg/cm<sup>2</sup>

Sol et profondeur	tassement moyen de consolidation	n	t	w	tas.	$\varphi$	c
B1 à 4.60	570/100	0,28	0,15	113	30	14°	# 0,100
Limonsablos argileux et tourbeux, vasard, marron, avec quelques végétaux et grains crayeux.		0,56	0,21	100	90		
DAS 0,76							
w 124							
LL 76							
IP 25							
D à 3.20	250/100	0,28	0,15	32,4	25	14°	<u>L</u> 0,100
Limonsablos argileux gris assez compact.		0,56	0,23	29,4	30		
DAS 1,20							
w 41		0,83	0,30	30,4	50		
IP 6 à 13							
D2 à 1,70	530/100	0,28	0,16	42,5	25		#
Limonsablos argileux gris beige mou et humide.		0,56	0,23	38	30	12°	0,100
DAS 0,99		0,83	0,29	69	200		
w 51							
D2 à 3.50	210/100	0,28	0,19	26	6		
Limonsablos argileux gris verdâtre avec petites inclusions tourbeuses.		0,56	0,19	26	20	18°	Négl.
DAS 1,37							
w 31							
IP 7							

Gras limon ou  
 "Sable" très fin argileux  
 après consolidation 0,700 kg/cm<sup>2</sup>

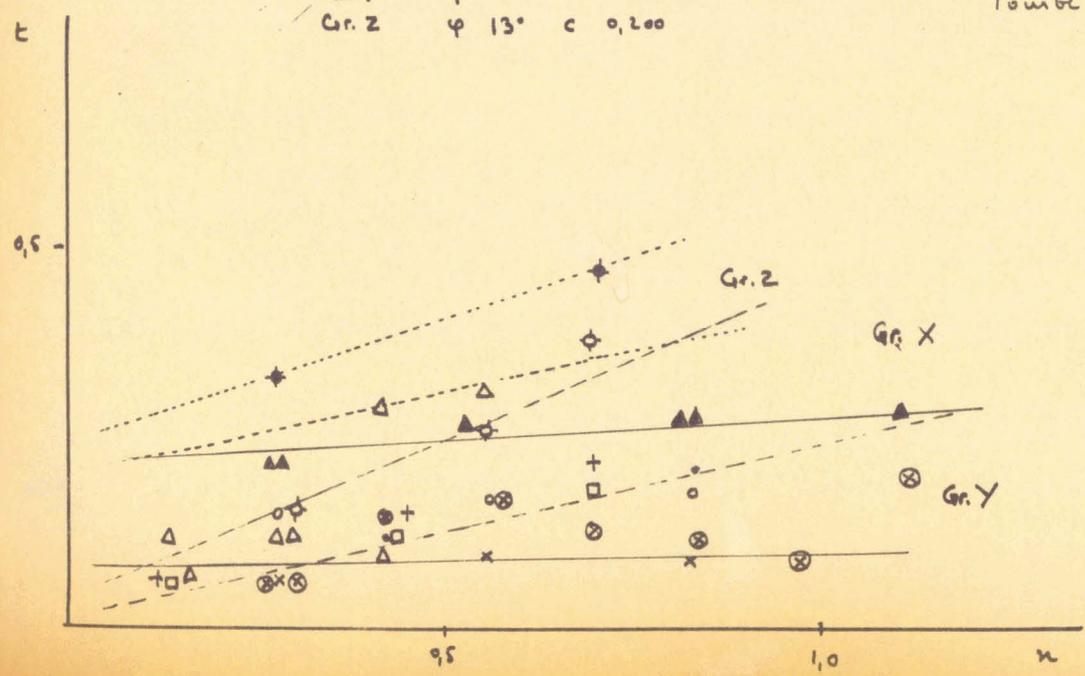


D    o  
 D<sub>2</sub>    •  
 B<sub>1</sub>    x

Gr. X    φ 15°    c très faible  
 Gr. Y    φ nul    c 0,100 à 0,150  
 Gr. Z    φ 13°    c 0,200

Tourbe noire

Groupe



D <sub>2</sub>	•	X
D	o	Y
◆ B <sub>1</sub>	x	Y
B	⊗	Y
C <sub>1</sub>	□	X
F <sub>1</sub>	△	Y
B <sub>1</sub>	+	X
E <sub>1</sub>	◇	X
E	◆	
Z <sub>1</sub>	▲	Y



433 - Argile tourbeuse et tourbe brune argileuse.

Sous ce terme général, on trouve d'une part la zone de transition entre le sable très fin argileux et la tourbe noire (cas de la rive Nord), ou entre la vase + sableuse et la tourbe noire (cas de l'étang), et d'autre part les zones tourbeuses intermédiaires entre la tourbe noire et les couches marneuses sous jacentes.

Les caractéristiques moyennes paraissent être les suivantes :  
Les angles de frottement internes sont faibles ou négligeables, avec des cohésions de l'ordre de 100 gr/cm<sup>2</sup>.  
Les essais oedométriques paraissent assez concordants, avec, pour la zone "étang" des tassements de l'ordre de 20 %, des pressions de préconsolidation de l'ordre de 200 - 500 gr/cm<sup>2</sup>, des perméabilités de 10<sup>-7</sup>.  
Ainsi, C à 7,10 - B1 à 4,50 - A2 à 4,80 - A1 à 4,20, par exemple.

Par contre, les tassements diminuent dans la berge Nord ; ils sont de l'ordre de 10 à 15 % (ainsi 2 à 5,30 et à 6,10) à l'exception de la petite zone vasarde et tourbeuse profonde précédemment signalée, où le tassement atteint 20 % (2<sub>1</sub> à 4.60).

Sous la tourbe noire, les tassements semblent devenir plus faibles (< 10 %) avec une pression de préconsolidation de l'ordre de 400 à 700 gr/cm<sup>2</sup> et une perméabilité 10<sup>-7</sup> à 10<sup>-9</sup> (E à 4.50 et 5.70, 2 à 6.30). L'aspect "caverneux" du sol en E (5,60 - 5,80) paraît être dû à une réaction de la tourbe avec dégagement de gaz.

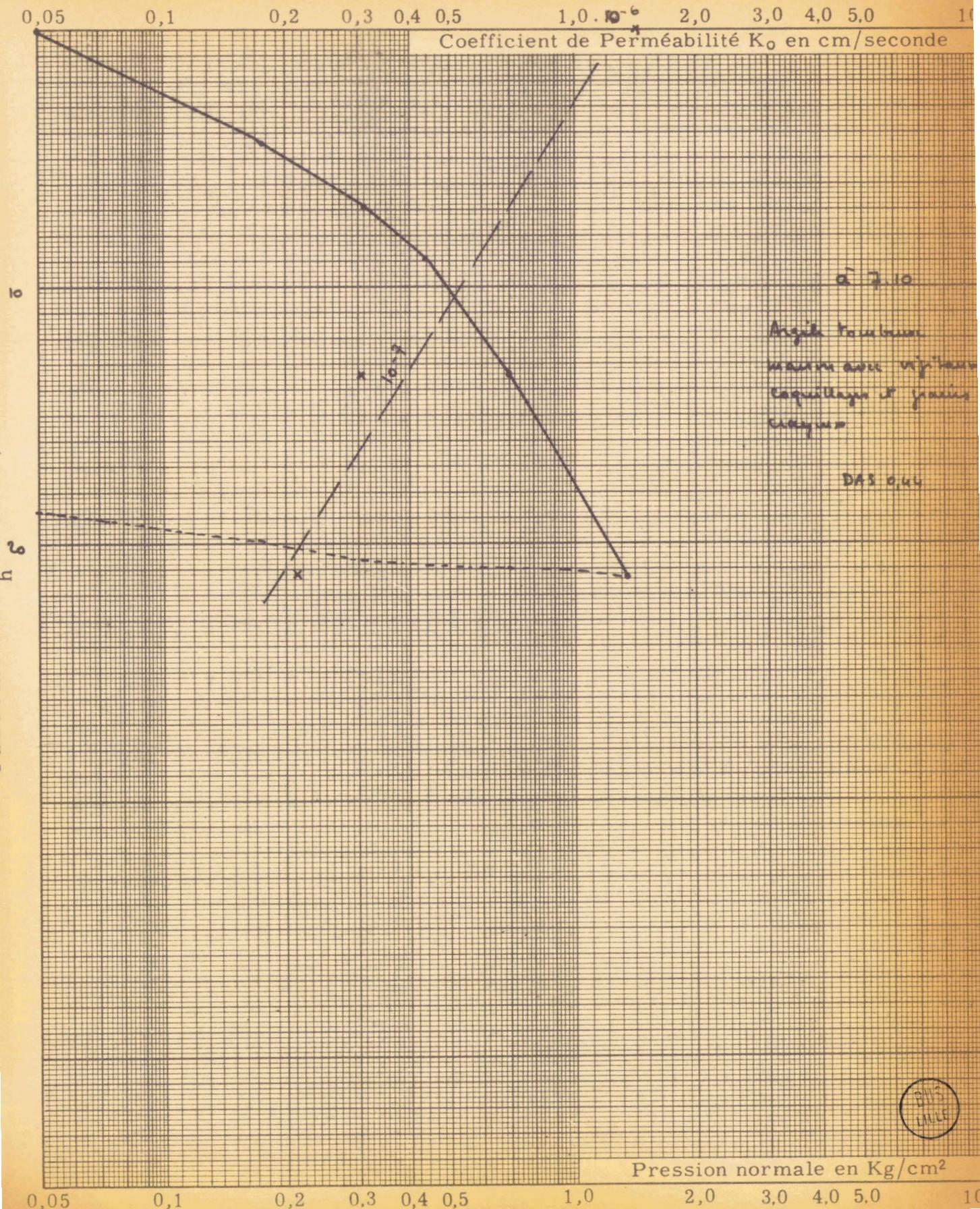
434 - Tourbe noire.

La présence de la tourbe noire est un phénomène constant d'un bout à l'autre de la transversale de la vallée, aussi bien sur celle en amont que sur celle en aval.

Il s'agit d'un matériau d'apparence identique d'un point à un autre, mais dont les propriétés peuvent varier entre certaines limites. En effet, cette tourbe présente des caractères communs et des caractères ajoutés.

Les caractères communs sont les suivants. Il s'agit d'une tourbe d'apparence "sèche", se carottant bien, "se tenant" bien, possédant donc une certaine structure. On y trouve encore parfois des débris végétaux durs, tels que tiges ou racines, mais plus de feuilles.

# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



Bien qu'elle soit dure (pénétrömètre SOILTEST de 0 à 1,5 kg/cm<sup>2</sup>), elle reste néanmoins friable et se brise facilement en blocs irréguliers. Ces blocs sont onctueux par écrasement entre les doigts. Elle a donc gardé une structure fibreuse apparente originale et a acquis des propriétés nouvelles de plasticité provenant de sa transformation turbo argileuse.

Un examen plus détaillé d'un bord à l'autre de la transversale montre que d'une manière générale les propriétés de la tourbe variaient, et vraisemblablement à cause des caractères ajoutés. Cette tourbe étant très poreuse, a en effet un "squelette" de base plus ou moins argileux ou sableux qui influe sur ses propriétés. C'est ainsi que les LL passent de 118 (étang) à 78 puis 55 en rive Nord.

De la même manière, ses densités apparentes sèches passent de 0,8 (côté berge Sud) à 0,20 - 0,40 dans le centre de l'étang, puis à 0,60 et enfin 0,80 en rive Nord. La présence de zones çà et là très légères ( $\gamma_d < 0,1$ ) n'infirmes pas l'allure générale du phénomène. Parallèlement, les teneurs en eau suivent la même évolution : de 100 à 400 dans l'étang, elles passent à 100 - 200 près de la rive nord et restent ensuite voisines de 100.

Les indications du pénétrömètre confirment encore ces variations, allant de 0 à 0,75 dans l'étang, à 0,5 - 1,50 sur le côté Nord.

L'examen des cisaillements met en évidence trois groupes (Voir Fig. <sup>IV</sup> <sup>24</sup>) l'un, à angle de frottement interne négligeable, mais à cohésion assez élevée (100 à 250 gr/cm<sup>2</sup>) est davantage celui de l'étang ; le second, à  $\varphi$  voisin de 15° et à cohésion très faible correspond à la zone de transition étang-berge Nord et à cette berge ; le troisième groupe, à  $\varphi$  voisin de 13° et à cohésion de l'ordre de 200 gr. caractérise une petite zone tourbeuse de la rive Nord, légère et très humide.

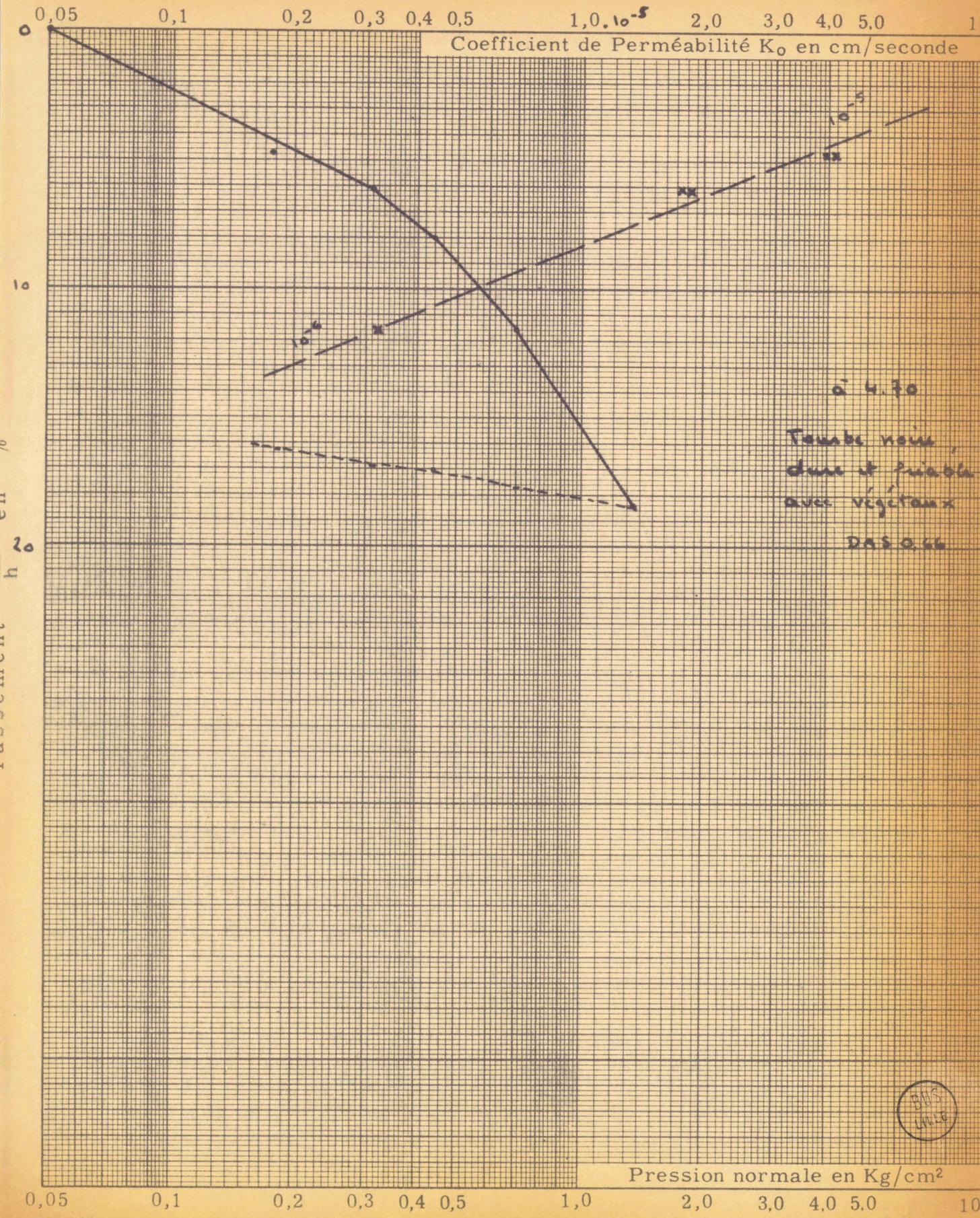
Ces variations peuvent être dues sans doute à l'action prépondérante du "squelette" sableux ou argileux de la tourbe examinée.

L'étude des essais oedométriques permet de distinguer pratiquement trois principaux groupes :

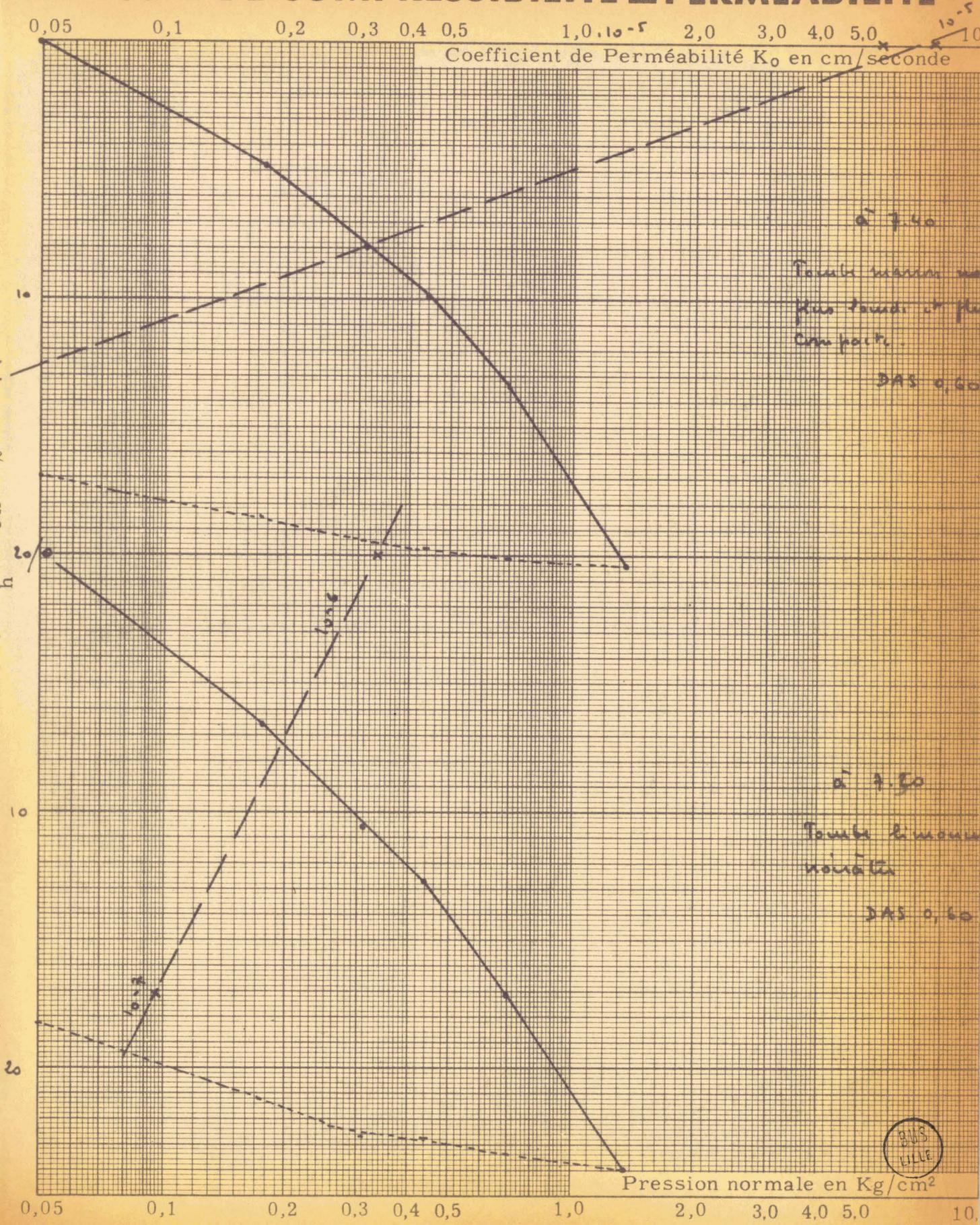
- tassement de l'ordre de 15 %, pression de préconsolidation de l'ordre de 400 à 600 gr/cm<sup>2</sup>, avec perméabilité de l'ordre de 10<sup>-5</sup> - 10<sup>-6</sup>.

Ainsi  $2_1$  à 4,40 et  $E_1$  à 4,70, ou E à 5,30.

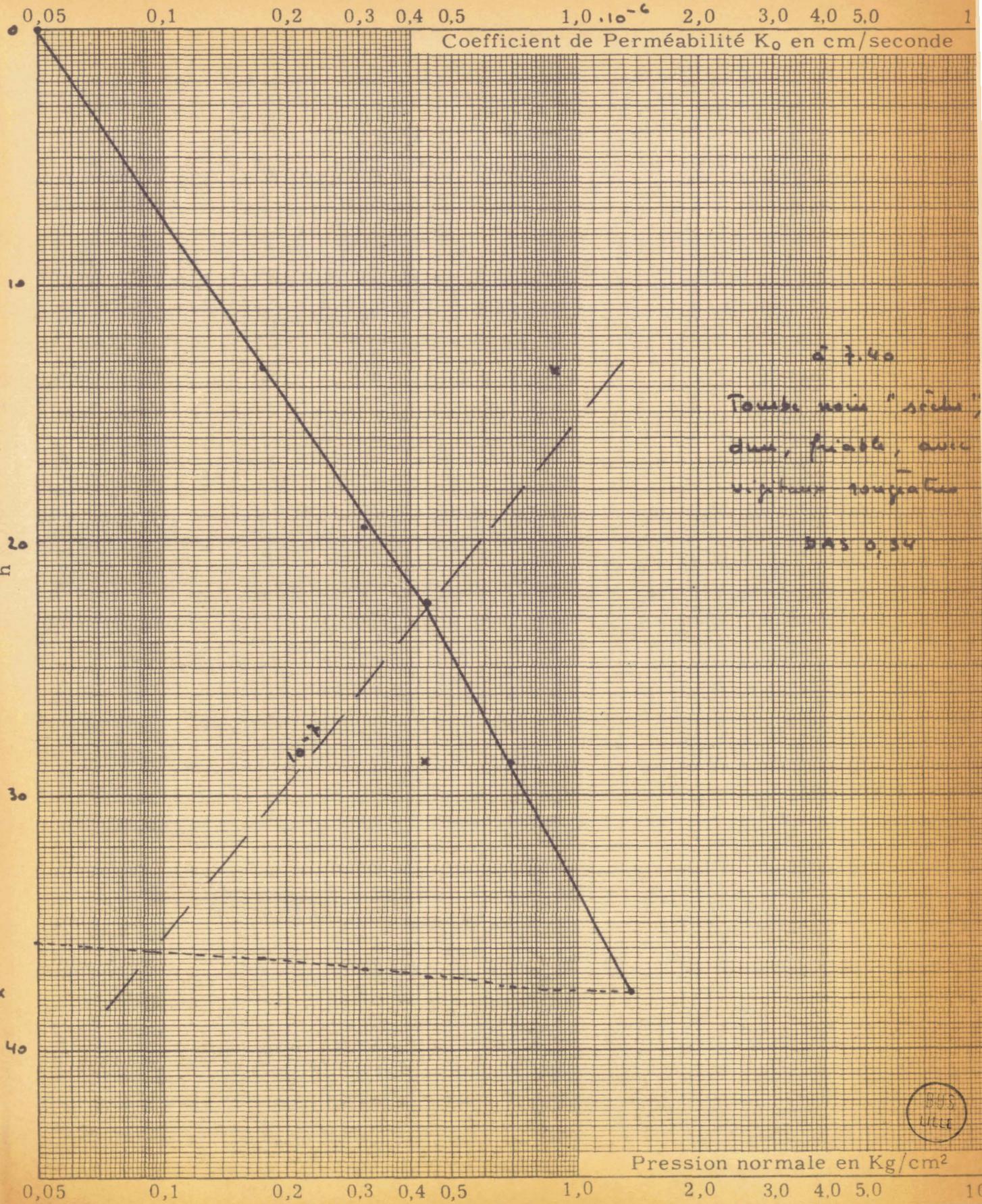
# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



Il s'agit de la tourbe située sous le sable de la rive Nord, et qui normalement a subi une préconsolidation. Cette dernière se traduit d'ailleurs assez souvent par une dilatation au sortir du container.

- tassement supérieur à 20 %, pression de préconsolidation  $\neq$  400 - 500 gr/cm<sup>2</sup>, perméabilité 10<sup>-5</sup> à 10<sup>-7</sup>.

Ainsi C1 à 7,40 et à 7,50 ou 2 à 5,80.

Il s'agit de la tourbe située dans la zone de transition "étang - berge nord".

- tassement supérieur à 30 %, pression de préconsolidation 200 à 400 g/cm<sup>2</sup> et perméabilité 10<sup>-5</sup> à 10<sup>-7</sup>.

Ainsi A à 2,50, B à 7,40, B à 8,40, F à 4,50.

Cette tourbe est davantage celle de l'étang.

Il faut souligner la concordance souvent excellente des deux transversales pour un même N° de sondage.

#### 435 - Marne et zone d'altération de la craie.

Il y a peu à dire sur cette zone. Il s'agit en effet essentiellement de terrains peu ou pas compressibles, compacts, ayant un angle de frottement non négligeable. Par ailleurs, leur épaisseur est généralement faible.

Il est néanmoins possible de distinguer les couches sous la tourbe noire, dans l'étang, dont la densité sèche varie de 0.70 à 1.40, avec des teneurs en eau relativement fortes (60 %), assez plastiques (IP 40) et faiblement frottantes ( $\varphi$   $\neq$  10°) et les couches sous la tourbe noire, mais côté Nord, sur la rive. Celles-ci ont des densités sèches de l'ordre de 1,40 - 1,80, avec des teneurs en eau plus faibles (25 %), une plasticité moindre (IP  $\neq$  10) et un angle de frottement voisin de 15°, avec une cohésion faible.

436 - Craie.

Très peu d'essais ont été réalisés, le sol, même altéré, même fissuré ou désagrégé, ne posant aucun problème de portance pour un remblai. Les sondages BACHY ont par ailleurs été poussés suffisamment loin pour pouvoir éventuellement asseoir un ouvrage d'art sur la roche dure.

Les diverses zones de la craie rencontrées lors des sondages sont données en annexe.

44 - METHODES GEOTECHNIQUES DE DETERMINATION DE LA COUPE

=====

TRANSVERSALE -

=====

Il est possible d'obtenir des indications complémentaires, soit en portant sur une coupe de la vallée les valeurs d'essais de laboratoire telles que  $\gamma_d$ , cisaillement ou tassements, soit les indications fournies par d'autres méthodes, telles que géophysique ou S.P.T. (nombre de coups pour enfoncer le carottier APM 78 de 60 cm).

Les coupes correspondantes sont données en annexe. Sur les premières sont portées les densités sèches aux différents niveaux, les couches d'équidensité étant reconstituées. Il apparaît nettement la zone de vase, la zone intermédiaire "sableuse", la zone tourbeuse et la zone marneuse.

Sur les suivantes sont indiquées les valeurs des angles de frottement interne. Il y a, dans ces conditions, mise en évidence de la zone d'argille tourbeuse et de tourbe, ainsi que l'avancée "sableuse" qui atteint le niveau des sondages C - Cl, en provenance de la rive Nord.

Sur les suivantes ont été portés les tassements et les perméabilités. Ces valeurs permettent de bien préciser les zones vasardes, tourbeuses et limono-sableuses, avec la mise en relief de cette avancée "sableuse" entre D - D1 et C - C1.

Les indications de la géophysique, limitées à la rive Nord sableuse, sont à la fois décevantes et intéressantes. Décevantes parce que la géophysique, dans les conditions de l'essai (Méthode de WENNER, quadripole, distance d'investigation de 1 m en 1 m en profondeur), n'a pas permis de différencier les couches superficielles, ou de déceler les strates de puissance inférieure au mètre. Intéressantes, parce qu'il est possible de connaître, apparemment à coup sûr, la limite de la zone d'altération de la craie, et probablement ensuite, la zone où la craie devient dure et compacte.

Mais il semble bien que les coupes réalisées à l'aide des résistances à la pénétration, soient particulièrement fructueuses. Il apparaît de façon évidente les zones vasardes molles, les zones limono sableuses intermédiaires réagissant peu au centre, parce que trop vasardes, et bien marquées au contraire vers la rive Nord (la mise en évidence de la langue "sableuse" est remarquable), les petites zones vasardes profondes (en particulier aux sondages D - D1), les zones tourbeuses, puis crayeuses.

La comparaison de ces coupes, obtenues de façons diverses, et des deux coupes initiales, basées sur les terrains réellement examinés, se suffit à elle-même. "L'allure générale" est bien la même.

./...

45 - CONCLUSIONS PARTICULIERES -  
=====

La vallée de la SOMME à FEUILLERES est dissymétrique, le lit actuel suivant la berge la plus abrupte.

- cette dénivellation paraît provenir d'un enfoncement progressif de la vallée, mis en évidence par la forme incurvée de la couche de tourbe noire, par exemple.

Cet enfoncement paraît probablement dû à une désagrégation de la craie à plus ou moins grande profondeur, par action du cours invisible de la SOMME, et formation de diaclases ou de failles de glissement.

- l'étang central se caractérise par la présence de grosses épaisseurs de terrains mous et compressibles. Il n'y a aucun scl vraiment dur avant la zone d'altération de la craie.

Il y a par contre, côté NORD, une avancée de gros limon sableux gris à environ - 3,00 m de profondeur (qui pourrait peut être servir de base à un futur remblai). Cette avancée est située entre les sondages D - D1 et les sondages C - C1. Il ne semble pas possible de compter sur cette zone sableuse plus au Sud.

- la berge Nord, composée essentiellement de limon sablo-argileux "sables" très fins limone argileux paraît ne pas poser de problèmes majeurs au point de vue portance. Il s'agit vraisemblablement du dépôt de lavage des limons des plateaux.

-----

CHAPITRE V

---

VALLEE DE LA SOMME A ROUVROY

---

- 51 - CONDITIONS PARTICULIERES d'ETUDE et IMPLANTATION  
des SONDAGES
  
  - 52 - STRUCTURE PARTIELLE de la VALLEE
  
  - 53 - CARACTERISTIQUES des SOLS RENCONTRES
  
  - 54 - UTILISATION du SCISSOMETRE
  
  - 55 - CONCLUSIONS PARTICULIERES
-

51 - CONDITIONS PARTICULIERES d'ETUDE et IMPLANTATION des SONDAGES -  
=====

Les sondages ont été réalisés par la Section "GEOLOGIE et SONDAGES"  
du Laboratoire Régional de SAINT-QUENTIN, du 7/10 au 30.11.1962,  
sur des emplacements définis au préalable.

SONDAGES	x	y
1	670.074	240.233
2	670.116	240.238
3	670.158	240.233
4 prime	670.177	240.244
4	670.180	240.236
5	670.214	240.233
1 prime	670.273	240.248
6	670.297	240.240
2 prime	670.329	240.200
7	670.350	240.238
8	670.412	240.230

./...

52 - STRUCTURE PARTIELLE de la VALLEE -  
=====

L'ensemble des résultats de Laboratoire, les observations visuelles faites lors de l'ouverture des containers, l'identification des sols tant expérimentale que subjective, nous ont conduits à proposer une première coupe partielle suivant les sondages 1 - 2 - 3 - 4 - 5.

Il est possible d'y distinguer ~~trois~~<sup>4</sup> zones -

521 - Berge OUEST (sondages 1 et 2)

Cette berge est en fait occupée actuellement par le canal de SAINT-QUENTIN. Les deux sondages ont été réalisés de part et d'autre du canal, sur les rampes d'accès du chemin de halage au pont routier.

La structure du sol est très simple : sur la craie (plus ou moins altérée en surface) se trouve un remblai d'épaisseur moyenne de 4 à 8 mètres, et de nature limono crayeuse. Il n'a pas été possible de savoir si le fond du canal reposait ou non sur la craie sous jacente.

Cette craie paraît d'autant plus altérée superficiellement qu'on se rapproche de la vallée. On rencontre la succession classique = zone d'altération plus ou moins marneuse ou sableuse, craie à silex et craie dure.

L'absence de terrains compressibles, la certitude qu'ils soient frottants, bien qu'aucun essai de Laboratoire n'ait pu être entrepris, caractérisent cette zone.

522 - Zone de transition (sondage 3)

Cette zone correspond en fait à la SOMME (lit actuel), qui est "canalisée" pour passer le remblai actuel sous un pont. Son lit se trouve donc pratiquement déjeté sur la droite, par rapport à son cours normal.

Sous un remblai composite, constitué de craie, de briques et d'argile, et d'épaisseur moyenne de 2,00 m, on trouve successivement

- vase noirâtre argileuse et tourbeuse, d'épaisseur croissante vers le marais (0 à 2 m).
- gros limon gris verdâtre sablo argileux, d'épaisseur moyenne 2,50 m, se raccrochant au remblai de la berge OUEST, et suivant le fond crayeux, dont il n'est séparé que par une zone peu épaisse de sable limone argileux gris avec morceaux de craie.
- craie altérée devenant dure en profondeur, avec présence de silex.

La faible épaisseur de vase et la nature des sols de profondeur permettent d'envisager favorablement l'extension du remblai actuel.

523 - Zone du marais central (sondages 4 et 5)

Après la dénivellation brutale du socle crayeux, mis en évidence dans la zone précédente, on retrouve ici un fond plat. Les terrains sont presque tous horizontaux et présentent la succession suivante :

- remblai constitué de craie, briques et argile, mélangés à des racines, des dépôts d'ordures ... L'épaisseur en est d'environ 1 m / 1,50 m.
- vase noire argilo tourbeuse, passant progressivement à la tourbe noire. Epaisseur moyenne 4 m.
- gros limon sablo argileux gris verdâtre, d'épaisseur 4 à 3 m, paraissent décroître en avançant vers le marais, et devenant tourbeux à sa partie inférieure.
- argile tourbeuse mélangée à de la tourbe noire, des silex et de la craie, d'environ 1 m. d'épaisseur.

./...

- zone de transition avec la craie altérée à silex sous jacente, zone constituée par un gros limon gris noirâtre brun, d'épaisseur 20 - 30 cm.
- la craie se trouve à environ 10 m. de profondeur.

524 - Berge EST (sondages HIGHWAY).

Cinq sondages HIGHWAY ont été réalisés, permettant l'examen des sols sur une profondeur de 4 m. Les coupes ont été reportées sur la coupe générale de la vallée. On distingue :

- un limon jaune sableux et crayeux de couverture, progressivement recouvert vers le marais par le remblai d'apport récent. Ce limon paraît bien être un limon de lavage.
- une languette d'argile tourbeuse représentant l'extrême avancée des dépôts tourbeux et se terminant à environ 60 m. du bord actuel du marais.
- un limon argileux gris verdâtre d'épaisseur 1 à 2 m., se terminant en pointe vers la rive, et situé sous l'argile tourbeuse précédente.
- le cran, ou craie limono argileuse, terme de transition entre les sols précédents et la craie sous jacente ± désagrégée.

Cette succession confirme la présence d'une zone tourbeuse surmontant un limon argileux gris verdâtre qui pourrait ainsi traverser la vallée de part en part.

On ne retrouve pas, par contre, la zone tourbo vasarde profonde mise en évidence en rive OUEST au sondage 5.

53 - CARACTERISTIQUES des SOLS RENCONTRES -  
=====

Les sols rencontrés lors de ces sondages sont, de haut en bas :

- remblai crayeux plus ou moins composite.
- vase noirâtre plus ou moins argilo tourbeuse.
- tourbe noire.
- gros limon sablo argileux gris verdâtre.
- argile tourbeuse + tourbe + craie + silex.
- craie.

Pour permettre plus facilement les comparaisons entre sols, tous les tassements indiqués ci-dessous correspondent à une charge verticale de 1,350 kg/cm<sup>2</sup>.

531 - Remblai.

Nous n'avons pratiquement aucun essai, mais ce sol est frottant, peu compressible, et ne pose donc aucun problème.

532 - Vase noirâtre argilo tourbeuse.

Il semble s'agir ici du sol même du marais central, sol très liquide, compressible et pratiquement non frottant. C'est ainsi qu'au sondage 3, on trouve  $\varphi \# 5^\circ$  (négligeable) et c comprise entre 50 et 100 gr/cm<sup>2</sup>.

Les densités apparentes sèches sont comprises entre 0,7 et 1,0 et paraissent d'autant plus faibles qu'on se rapproché du marais central. Les teneurs en eau varient entre 50 et 110.

./...

La compressibilité de cette vase paraît assez élevée, de l'ordre de 30 % sous 1,350 kg/cm<sup>2</sup> avec une pression de préconsolidation de l'ordre de 0,4 kg/cm<sup>2</sup> (sondage 3). Les prélèvements aux sondages 4 et 5 ont été rendus pratiquement impossibles, la consistance de cette vase étant telle que les tubes carottiers remontaient vides.

L'épaisseur de cette couche passe de 2 m. environ (sondage 3) à 4 m. environ (sondage 5). Les caractéristiques du sol sont défavorables.

533 - Tourbe noire.

Il semble que le niveau inférieur du sol précédent soit en fait constitué par une couche de tourbe noire. Ses caractéristiques paraissent peu différer de celles de la vase sus-jacente.

Les densités apparentes sèches sont comprises entre 0,7 et 1,0. Teneurs en eau voisines de 100.

Compressibilité de l'ordre de 20 %, avec  $k = 10^{-6} / 10^{-7}$ , et des pressions de préconsolidation de 0,300 kg/cm<sup>2</sup>.

L'épaisseur, difficile à déterminer avec précision, ne paraît pas dépasser le mètre.

534 - Gros limon gris.

Il s'agit d'un sol assez homogène, de couleur gris verdâtre, contenant 25 % environ de sable fin, 35 % environ de gros limon, 25 % environ de limon, 15 % environ d'argile.

L'indice de plasticité moyen est voisin de 10. Ce sol est assez compact en place.

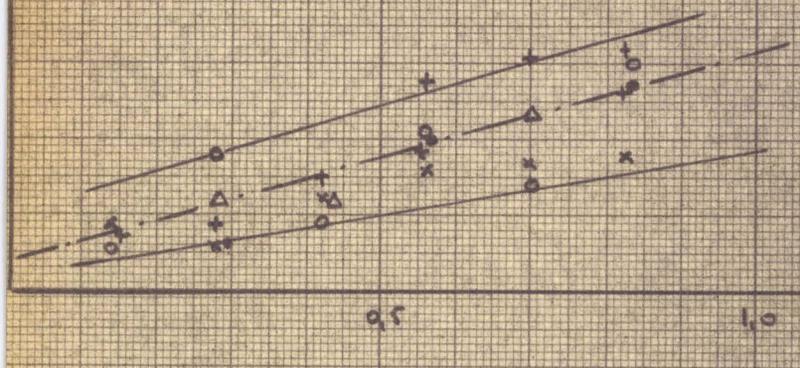
Il paraît être à la fois plus plastique et plus mouillé dans la zone du marais central. (IP  $\neq$  30).

ROUVROY

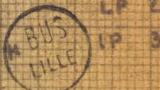
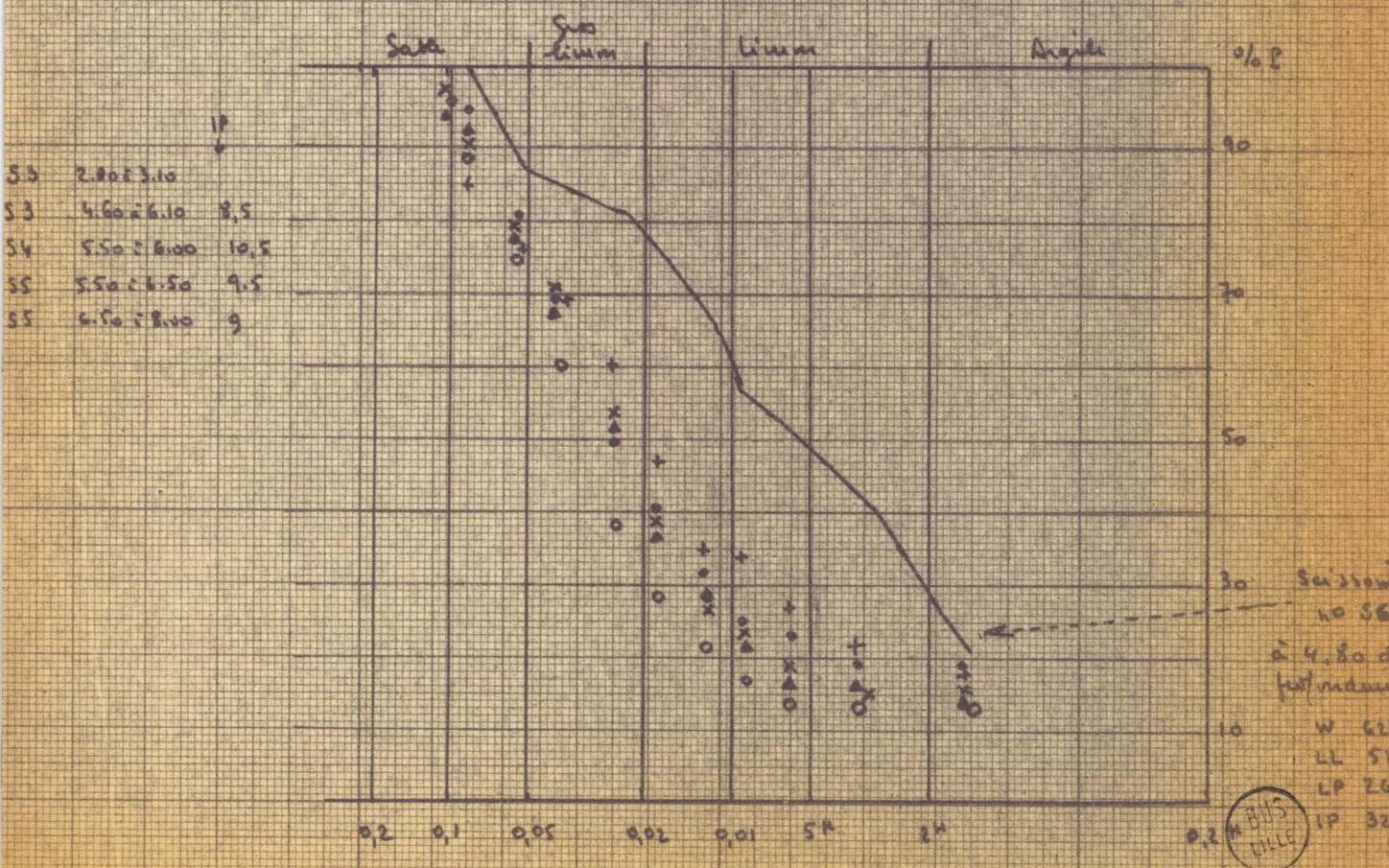
Gros limon gris sable argileux

x	53	5.00
o	54	6.50
•	55	6.00
+	55	7.50
Δ	55	9.80

(kg/cm<sup>2</sup>)



φ moyenne probable  $\left\{ \begin{array}{l} 10^\circ \\ 2 \\ 6 \end{array} \right.$   
 c moyenne 0,050



Ses densités apparentes sèches sont comprises entre 1,55 et 1,75 et sont en moyenne de l'ordre de 1,60. Teneurs en eau très homogènes de l'ordre de 24 %.

Les essais oedométriques indiquent une faible compressibilité ( $\beta \neq 4$  %) avec une pression de préconsolidation de l'ordre de 0,400 kg/cm<sup>2</sup>. Les perméabilités sont assez faibles, valeurs extrêmes  $10^{-6}$  et  $10^{-8}$ , le plus souvent  $10^{-7}$ .

L'allure des courbes oedométriques est la même ( $S_3 = 5,70$  ;  $S_4 = 5,90$  ;  $S_5 = 5,80$  ;  $S_5 = 7,80$ ), deux cas différents quelque peu ( $S_3 = 5,70$  et  $S_5 = 8,80$ ) à cause vraisemblablement de leur contact avec des sols gorgés d'eau et tourbeux.

Les caractéristiques de cisaillement permettent de prendre comme valeur moyenne probable de  $\varphi$  14° (10° à 16°) et de  $c$  à 0,100 kg/cm<sup>2</sup>.

Cette couche de limon suit assez fidèlement le fond crayeux, remontant la berge OUEST pour se raccorder au remblai du canal. La zone de raccordement n'a pu être mise en évidence par les sondages et n'a pas été figurée.

L'épaisseur moyenne paraît être de l'ordre de 3,00 m. Sol peu compressible, un peu frottant, compact.

#### 535 - Argile tourbeuse.

Il apparaît, sous le limon précédent, au sondage 5, une petite zone d'argile tourbeuse avec craie, silex, marne tourbeuse et zones de tourbe noire. Cette zone composite paraît n'exister au sondage 4 que sous forme d'une craie tourbeuse vers 9 m. de profondeur, mais semble par contre augmenter d'épaisseur quand on avance dans le marais central.

Ses caractéristiques de cisaillement ( $\varphi$  nul) de densité ( $d \neq 0,8$ , de teneur en eau ( $w \neq 100$ ), de compressibilité (18,1 % avec pression de préconsolidation de 0,4 / 0,5 kg/cm<sup>2</sup>) différencient nettement ce sol des sols situés au-dessus et au-dessous de lui.

L'allure des courbes odométriques semblerait le rapprocher de la vase superficielle (S3 à 2.40) et de la tourbe noire surmontant le limon gris (S5 à 5.10).

Ces caractéristiques sont totalement confirmées par les échantillons prélevés aux sondages CRAELIUS 6 - 7 - 8 dans le centre de la vallée, entre 8,50 et 10,00 m de profondeur . Il s'agit de tourbe noire, molle, grasse , très compressibles (25 à 47 %), peu denses ( $\gamma$  d 0,2 à 0,3).

536 - Craie.

Il convient d'abord de faire état de la petite zone limoneuse ou sableuse servant de transition entre la craie et les sols sus-jacents. Gros limon gris noirâtre brun en S5, sable limoneux et crayeux ou mélange de sable crayeux, de marne et de blocs de craie en S3 et S4. L'épaisseur de cette petite zone paraît être de l'ordre de 20 à 30 cm.

En dessous on trouve la craie altérée, puis les silex, puis la craie dure en profondeur (vers 15 mètres).

./...

54 - UTILISATION du SCISSOMETRE -

=====

541 - Scissomètre de BORDEAUX.

Trois essais ont été réalisés à la limite EST du marais.

Conditions opératoires : vitesse 0,1°/sec environ (entraînement manuel)

ailettes hauteur 300 mm, diamètre 100 mm.

Le sondage Sc B0 donne le sol dur à 2,80 m (limon gris compact), la pénétration devenant impossible à 3,10 m.

Le sondage Sc B1 donne la craie à 6,50 m, avec des résistances au cisaillement en place allant de 100 à 200 gr/cm<sup>2</sup> en fonction de la profondeur.

Le sondage Sc B2 donne la craie à 10,50 m, avec des résistances au cisaillement croissant avec la profondeur :

100 gr/cm<sup>2</sup> de 0.00 à 4.00 m.

150 à 200 gr/cm<sup>2</sup> de 4.00 à 7.00 m.

250 à 300 gr/cm<sup>2</sup> de 7.00 à 10.00 m., la zone 9 m - 10,50 m paraissent nettement moins résistante.

542 - Scissomètre ACKER.

Pour gagner du temps et éviter l'emploi d'une sondeuse genre CRÆLIUS, les trous n'ont pas été tubés, les tubes étant directement enfoncés dans le sol. Le frottement devenant important au delà de 5 m. de profondeur, la tarière HIGHWAY a été employée pour effectuer une pression sur la tête du train de tiges et assurer ainsi un enfoncement régulier.

Les mesures ont été faites tous les 50 cm chaque fois que possible. Vitesse de rotation 0,10/sec, grandes ailettes (diamètre 92 m/m, hauteur totale 247 mm) ou ailettes moyennes (diamètre 63,5 m/m, hauteur totale 178 mm).

- En portant les moments de torsions (force de torsion lue sur l'appareil x bras de levier employé) en ordonnées, et les angles de rotation  $\theta$  en abscisses, on trouve expérimentalement deux grandes familles de courbes.

TYPE A : Le moment de torsion augmente, passe par une valeur maximale qui est celle du sol en place, et diminue ensuite pour se maintenir à une valeur constante plus faible, qui paraît correspondre au sol remanié, en place.

La tangente à l'origine correspond à l'angle de ~~rotation~~ <sup>travail</sup> du train de tiges, l'angle dû aux pales variant progressivement ensuite.

TYPE B - Le moment de torsion augmente jusqu'à une valeur maximale qui reste constante. Il semble que ce cas s'applique davantage aux sols mous ou fibreux qui passent progressivement de l'état intact à l'état remanié, sans que leurs caractéristiques mécaniques dépendent directement d'un de ces états.

- L'essai paraît fidèle. Ainsi deux séries de mesures faites à moins d'un mètre d'écart ont donné les résultats suivants :

./...

Profondeur	1° essai		2° essai	
	moment de torsion $M_t$ (inch-pounds)	résistance au cisaillement (gr/cm <sup>2</sup> )	moment de torsion $M_t$ (inch-pounds)	résistance au cisaillement (gr/cm <sup>2</sup> )
2.30	3	1.3	6	2.6
2.80	3	1.3	6	2.6
3.30	3	1.3	6	2.6
3.80	39	17	147	65
4.30	312	138	300	133
4.80	336	147	327	145

La similitude est particulièrement satisfaisante.

- Avec le mode opératoire suivi, il est indispensable d'effectuer une correction de résistance au frottement latéral, en faisant l'essai avec l'appareil, puis avec une tige sans ailettes. Le frottement latéral paraît devenir prépondérant au delà de 5 m. de profondeur, ou avec des pales trop étroites. Il a toujours été trouvé proportionnel à la longueur des tiges.
- En portant graphiquement les résistances au cisaillement en fonction de la profondeur, on peut remarquer une augmentation progressive de la résistance, tant que le terrain est homogène. Une discontinuité indique donc soit un changement de terrain, soit une modification des propriétés du sol.

Même dans le cas des pales moyennes, avec un frottement latéral important, la comparaison des valeurs des moments de torsion "bruts" permet de discerner les changements de sols. Cet emploi en "pénétrömètre" a permis de préciser la structure centrale du marais avec une zone plus dure comprise entre deux zones molles supérieure et inférieure (tourbe probablement).

A signaler une intéressante méthode de résolution graphique, due à B. CHEVE.

En retranchant du moment de torsion maximum (sol vierge) la valeur du moment de torsion minimum (sol remanié), dans le cas des courbes du type A, on a, en cumulant ces  $M_t$  corrigés, en fonction de la profondeur, un graphique dont chaque cassure indiquerait un changement de sol ou des propriétés mécaniques.

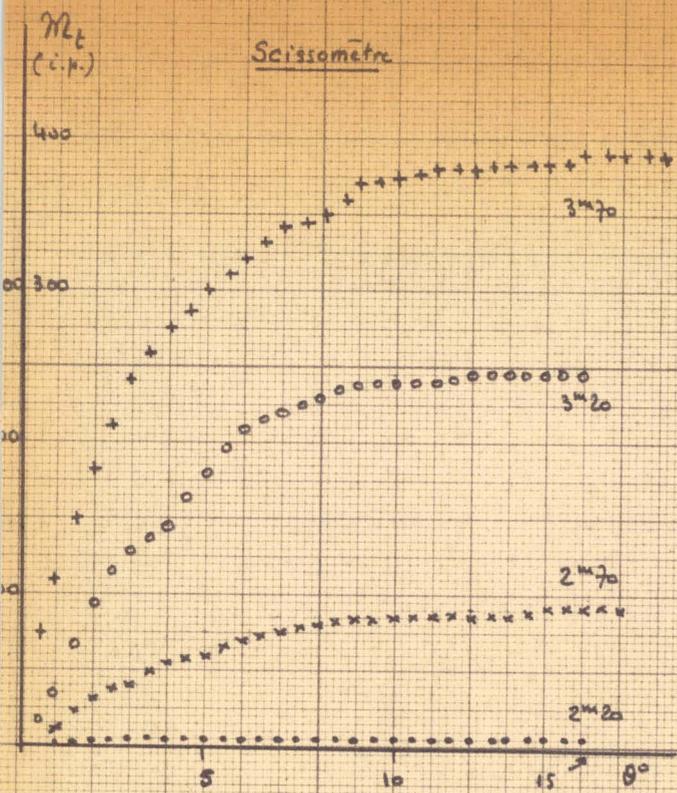
- Les valeurs de résistances au cisaillement en place ont été trouvées les suivantes :

50 à 150 gr/cm<sup>2</sup> pour la tourbe sous le remblai

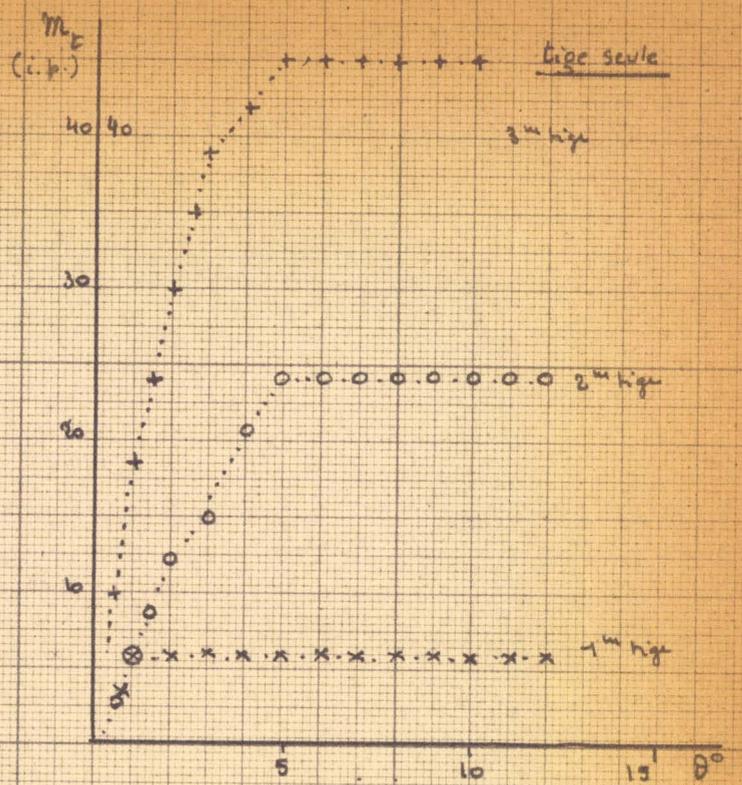
100 à 250 gr/cm<sup>2</sup> pour la zone sous jacente (que nous supposons être le limon argileux trouvé en rive de part et d'autre).

- Les limites des terrains déterminées par le scissomètre ont été marquées en pointillé sur la coupe générale, et n'ont donc qu'une valeur indicative.

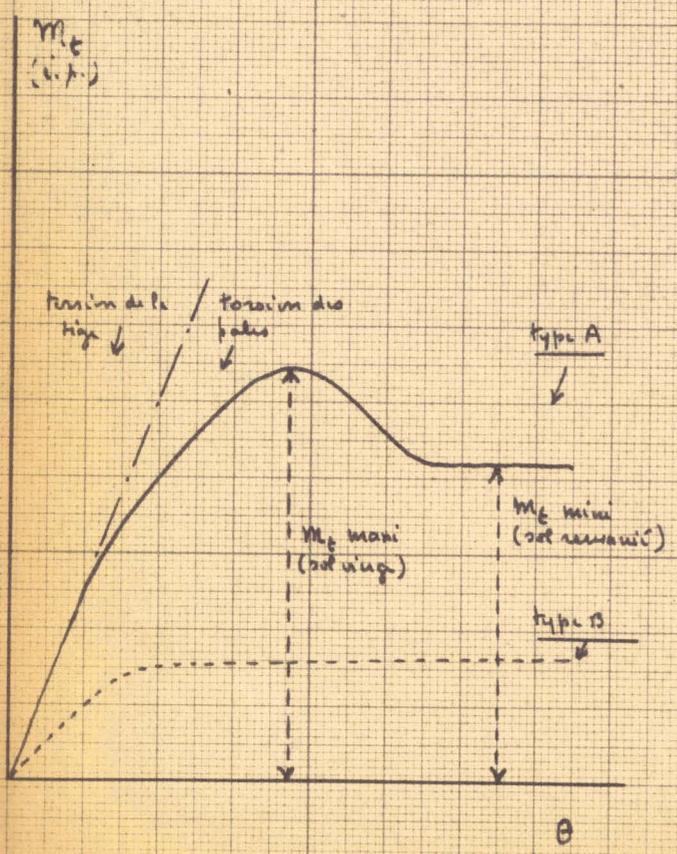
./...



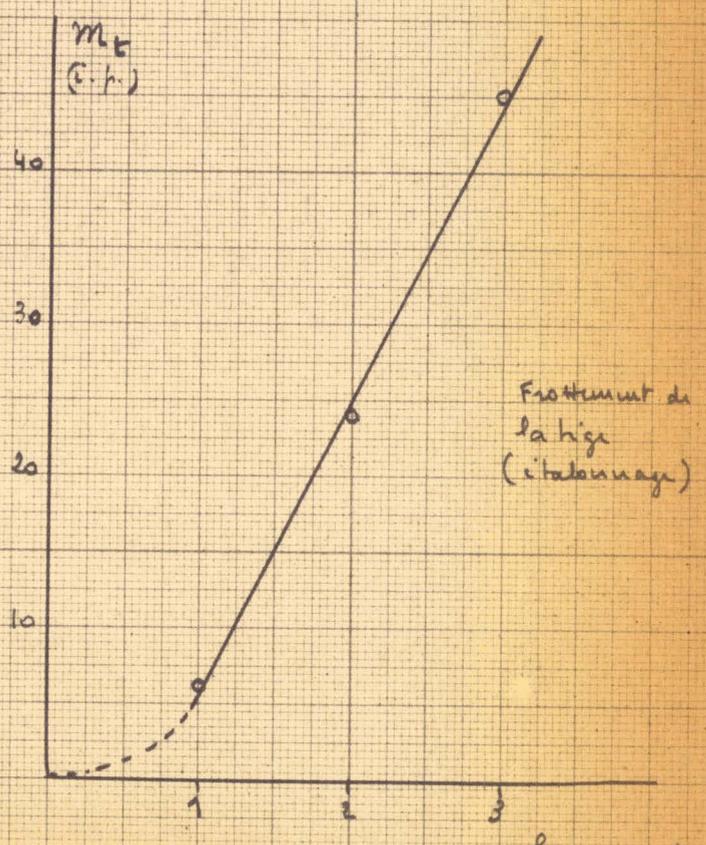
Point 4 - Rouvray



Point 4 - Rouvray



Types de courbes



Point 4 - Rouvray



55 - CONCLUSIONS PARTICULIÈRES -

=====

La vallée de la SOMME à ROUVROY paraît caractérisée par :

- une berge OUEST assez abrupte, supportant le canal de SAINT-QUENTIN. La dénivellation du fond crayeux est importante. Un remblai limono crayeux forme couverture.
  
- un marais central, à la limite OUEST duquel coule la SOMME. Le fond crayeux plat semble descendre en pente douce vers l'EST. Il est surmonté vraisemblablement d'une couche molle de tourbe ou d'argile tourbeuse d'épaisseur 2 à 3 m, plus ou moins mélangée à sa base à de la marne et à la zone d'altération de la craie.

Une couche de limon argileux gris verdâtre, très compact en rive, moins compact bien qu'assez résistant à la pénétration au centre, paraît recouvrir la zone tourbeuse profonde, d'un bord à l'autre. Epaisseur moyenne 2 à 3 mètres.

Au dessus de ce limon apparaît une tourbe noire molle, puis une vase tourbeuse devenant argile tourbeuse par endroits, d'épaisseur totale actuelle 2 à 4 m. (épaisseur initiale avant remblai 4 à 6 m.).

Le remblai crayeux, de main humaine, a une épaisseur irrégulière, qui suit assez fidèlement le fond même de la vallée (2 à 4 m.). Ce remblai s'enfonce actuellement régulièrement de 2 à 4 cm par mois.

- une berge EST plus étalée constituée par un limon sablo crayeux (de lavage probablement) recouvrant les extrémités des couches d'argile tourbeuse ou de limon argileux, et la zone d'altération de la craie. La craie + désagrégée apparaît à environ 4 m. de profondeur.

-----

CHAPITRE VI

---

ACTION DE LA TOURBE SUR LA CRAIE

---

61 - CONDITIONS OPERATOIRES

62 - CONCLUSIONS

./...

La forme de la couche de tourbe, tant à FEUILLERES qu'à ST-MARD, est très particulière. Elle a la forme d'un croissant à concavité tournée vers le haut, et dont les extrémités sont sensiblement dans le même plan horizontal.

Ceci peut provenir d'une formation à niveau constant dans une vallée préexistante, avec enfoncement progressif par tassement, d'autant plus marqué que l'épaisseur est plus importante.

Cette hypothèse paraît vraisemblable. Ainsi à FEUILLERES, où en rive on a des épaisseurs de tourbe de l'ordre de 0.50 à 1.00 m (tourbe noire seule) ou 1.00 à 2.00 m (tourbe noire et tourbe brune argileuse), ces mêmes épaisseurs sont dans le marais respectivement de 1.00 à 1.50 (tourbe noire) et 3.00 à 3.50 (tourbe totale).

Les densités sèches sont en rapport inverse des épaisseurs, passant en moyenne de 0.40 / 0.60 dans le marais à 0.8/1.0 en rive.

Par contre, il ne semble pas que le cas de ST-MARD soit aussi net.

Une autre explication réside dans le fait que le cours invisible de l'eau accélère les processus de dissolution de la craie, produisant un enfoncement progressif. C'est en nous plaçant dans cette perspective que nous nous sommes demandé si la tourbe n'intervenait pas dans ce processus en accélérant l'attaque de la craie.

L'expérimentation destinée à mettre ce fait en évidence, est restée très sommaire, et il n'est pas possible d'en tirer une certitude. Il faut la considérer comme un point de départ, d'autres tourbes devant être examinées avant de pouvoir confirmer ou infirmer cette hypothèse.

61 - CONDITIONS OPERATOIRES -  
=====

Trois séries ont été réalisées. Les matériaux de base étant la craie de ROUVROY, en petits morceaux d'environ 0.5/1 cm de côté, et la tourbe de la Vallée de l'OMIGNON (par suite de l'impossibilité de retrouver les tourbes de FEULLERES et de ST-MARD). Teneur en eau de la tourbe 525 (soit 19 gr de matière sèche pour 100 gr de tourbe) pH 6.0.

611 - Première expérimentation.

Trois mélanges ont été gardés à 100° pendant 30 minutes.

- 200 ml d'eau distillée + 50 gr de tourbe. Dosage en Ca ++ total par oxalate /  $\text{MgO}_4\text{K}$  = 1,2 mg.
- 200 ml d'eau distillée + 25 gr  $\text{CO}_3\text{Ca}$  = Ca ++ 1,8 mg.
- 200 ml d'eau distillée + 50 gr de tourbe + 25 gr  $\text{CO}_3\text{Ca}$  = Ca ++ 2,6 mg.

612 - Deuxième expérimentation.

Cinq essais ont été réalisés dans des boîtes d'aluminium hermétiques, pendant 21 jours à 80°.

Chaque boîte contenait 24 morceaux de craie sèche de taille aussi équivalente que possible, et de poids total aussi voisin que possible.

- 24 morceaux = 25 g 2, pour vérifier l'action du temps et de la chaleur sur la craie
- 24 morceaux = 25 g 1, dans 240 g d'eau distillée - pH départ = 6.5
- 24 morceaux = 25 g 0, dans 240 g d'eau de ville - pH départ = 6.8
- 24 morceaux = 24 g 5, dans 300 g tourbe (soit environ 240 g d'eau) - pH départ = 6.0
- 24 morceaux = 25 g 0, dans 240 g d'eau de tourbe, provenant de l'expression de la tourbe d'origine, à la main. - pH départ = 6.5.

Après 21 jours, les morceaux de craie ont été extraits des liquides, lavés à l'eau distillée et mis à sécher à l'étuve. On a obtenu :

- air	aucun changement de poids	
- eau distillée	"	pH final 7.1
- eau de ville	"	mais fragmentation (26 morceaux) Ph pH final 6.
- tourbe	perte de poids de 0 g 8	mais fragmentation pH final 7.
- eau de tourbe	perte de poids de 0 g 2	sans fragmentation pH final 7.

613 - Troisième expérimentation.

Trois essais ont été réalisés en boîtes pendant 21 jours à 80°.

- 50 ml eau distillée en présence de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en morceaux, Ca ++ final en solution 1 mg 8
- 50 ml eau de tourbe, Ca ++ final 6 mg 4
- 50 ml eau de tourbe en présence de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en morceaux, Ca ++ final 6 m 6.

./...

62 - CONCLUSIONS -

=====

De ces expériences il ne ressort aucune certitude. Seule la seconde montre une attaque de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  par la tourbe (mais la fragmentation est peut être à l'origine de la perte de poids) et aussi par l'eau de tourbe, à un degré moindre. Ce fait paraît infirmé par la première expérimentation et confirmé par la troisième.

Néanmoins les tourbes rencontrées contiennent fréquemment des petits morceaux de craie, particulièrement à leur partie inférieure, s'agit il d'un apport ou d'une attaque ?

Cette attaque est plausible, les tourbes des vallées crayeuses contenant une très forte proportion d'humus (jusqu'à 75 %). Ces colloïdes humiques sont électro négatifs, floculables par le  $\text{Ca}^{++}$ , et se comportent comme des acides faibles. Leur capacité de rétention d'eau de dissolution ou d'adsorption des colloïdes argileux, explique peut être ce "caractère ajouté" dont nous avons parlé à propos de la tourbe de FEUILLERES et qui permet de distinguer plusieurs qualités différentes de tourbe.

Par contre, la présence de  $\text{Ca}^{++}$  assure partiellement la floculation des colloïdes argileux, avec fixation concomittante de colloïdes humiques et de  $\text{Fe}^{+++}$ . C'est dans ce sens que l'on a pu dire que l'argile absorbait l'humus.

La plasticité plus grande des argiles ou limons argileux, toujours constatée au contact de la tourbe ne serait elle pas liée à ce phénomène ? De quelle manière intervient la présence de  $\text{Fe}^{+++}$ , qui paraît si importante ?

Une expérimentation systématique sur des tourbes différentes sera entreprise ultérieurement suivant ces directions.

-----

CHAPITRE VII

---

RELATIONS ENTRE CARACTERISTIQUES

PHYSIQUES DES SOLS

---

- 71 - BILAN EXPERIMENTAL des SOLS de FEUILLERES
  - 72 - DEMONSTRATION GRAPHIQUE de l'ORIGINE des SOLS de  
FEUILLERES
  - 73 - TECHNIQUE d'OBTENTION de SOLS DEFINIS
  - 74 - RELATION entre STRUCTURE GRANULOMETRIQUE et PLASTICITE
  - 75 - RELATIONS ENTRE CARACTERISTIQUES de CISAILLEMENT et AUTRES  
MESURES PHYSIQUES
  - 76 - RELATIONS entre EQUIVALENT de SABLE ou PLASTICITE et  
CARACTERISTIQUES de COMPACTAGE
  - 77 - CONCLUSIONS
-

71 - BILAN EXPERIMENTAL des SOLS de FEUILLERES -

---

Si on examine l'ensemble des échantillons de sols prélevés dans la Vallée de la SOMME à FEUILLERES, il apparait immédiatement une double possibilité de classification. D'une part en effet la division entre sols de rive, sablo limoneux, et sols de lit, argilo limoneux, parait évidente. D'autre part, l'état même de ces sols, c'est-à-dire leur densité sèche - donc leur teneur en eau - introduit dans chacune des grandes divisions précédentes un certain nombre de sous divisions.

On peut donc ramener les 97 sols examinés à 9 groupes de base dont les caractéristiques moyennes sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Il n'a pas paru nécessaire de donner chaque valeur individuelle ainsi que sa localisation sur la coupe de la vallée, mais la similitude des sols de rives verdâtre et rougeâtre est telle qu'ils ont été rassemblés d'emblée dans le même groupe.

Groupe	Sous groupe	$\delta d$	w	$\varphi$	e	Sable/gl/limon/argile: (composition moyenne)	Remarques
Vase	1	0.38 à 0.62 moy. 0.50	118 à 185 moy. 130	moy. 0°	0.050	10 / 10 / 50 / 30	8 sols limonc argileux vasards, inconsistants. (zone B-B1)
	2	0.71 à 0.93 moy. 0.80	58 à 150 moy. 80	moy. 8°	0.050	10 / 10 / 55 / 25	11 sols limonc argileux, un peu plus compacts, mais encore inconn- sistants (zone B-B1-C-C1)
	3	0.96 à 1.16 moy. 1.00	35 à 60 moy. 50	moy. 8°	0.050	10 / 10 / 60 / 20	5 sols plus limo- neux, moins mouil- lés et plus compacts (zone B1-C-D2)
	4	1.16 à 1.43 moy. 1.30	28 à 44 moy. 35	moy. 10°	0.050	25 / 35 / 20 / 20	6 sols limonc sableux, encore argileux, qui cons- tituent la transi- tion avec les sols de rive (zone C-C1-D-D2)

Groupe	Sous	$\delta$ d	w	$\varphi$	c	S/GL <sub>1</sub> /A (comp. moy.)	Remarques
5		0.42	171				1 sol vasard (zone D1 = transition étang - rive)
6		1.10 à 1.40 moy. 1.30	27 à 43 moy. 35	12 à 17 moy. 15°	0 à 0.150	40 - 20 - 20 - 20	8 sols (zone D-D1 - 2-2 <sub>1</sub> - E): rive proche.
7		1.44 à 1.60 moy. 1.50	22 à 31 moy. 27	8 à 19° moy. 16°	0 à 0.100	40 - 20 - 20 - 20 et 40 - 30 - 10 - 20	21 sols (zone EE <sub>1</sub> - FF <sub>1</sub> - 35 <sub>1</sub> ): rive moyenne.
8		1.61 à 1.71 moy. 1.65	21 à 30 moy. 25	8 à 17° moy. 14°	0,050 à 0,100	40 - 20 - 20 - 20 30 - 30 - 20 - 20 50 - 10 - 10 - 30	19 sols (zone EE <sub>1</sub> - F <sub>1</sub> 3 <sub>1</sub> - G - HH <sub>1</sub> ): rive moyenne à lointaine.
9		1.73 à 1.92 moy. 1.75	16 à 26 moy. 23	10 à 20° moy. 15°	0 à 0.150	30 - 30 - 20 - 20 50 - 10 - 10 - 30 25 - 45 - 10 - 20	18 sols (zone FF <sub>1</sub> - 35 <sub>1</sub> - GG <sub>1</sub> - HH <sub>1</sub> ): rive lointaine.

L'observation la plus remarquable qui peut être tirée de ce tableau est qu'il y a une progression des sous-groupes du "moins compact" au "plus compact", dans l'ordre même des zones de prélèvements de sols, c'est-à-dire de l'étang à la rive lointaine.

Il y a donc une relation immédiate entre la compacité et l'éloignement ou la proximité de l'eau. La nature même des sols intervient par ailleurs, mais bien davantage dans le marais que sur la rive. Les sédimentométries montrent en effet qu'il y a passage d'une vase argilolimoneuse (sous groupes 1 et 2) à une vase sablo limoneuse (sous groupe 4), le sous groupe 3 formant transition. Or l'évolution des densités sèches est dans le même sens et celle des teneurs en eau en sens inverse. Tout justifie donc une sédimentation plus lente des argiles dans un courant d'eau, ce qui à la fois décale les sédimentométries, diminue les  $\gamma_d$  et augmente les  $w$  ; les fractions sablo limoneuses restent en rive. La transition - "vase-rive" se fait avec les sous groupes 4 et 6, très voisins, le dernier étant simplement plus sableux. La compacité augmente ensuite assez rapidement, les teneurs en eau diminuant corrélativement, sans que les compositions sédimentométriques paraissent prépondérantes.

Il reste à vérifier que ces sols  $a^2$  proviennent du limon  $A_I b$ .

#### 72 - DEMONSTRATION GRAPHIQUE de l'ORIGINE des SOLS de FEUILLERES -

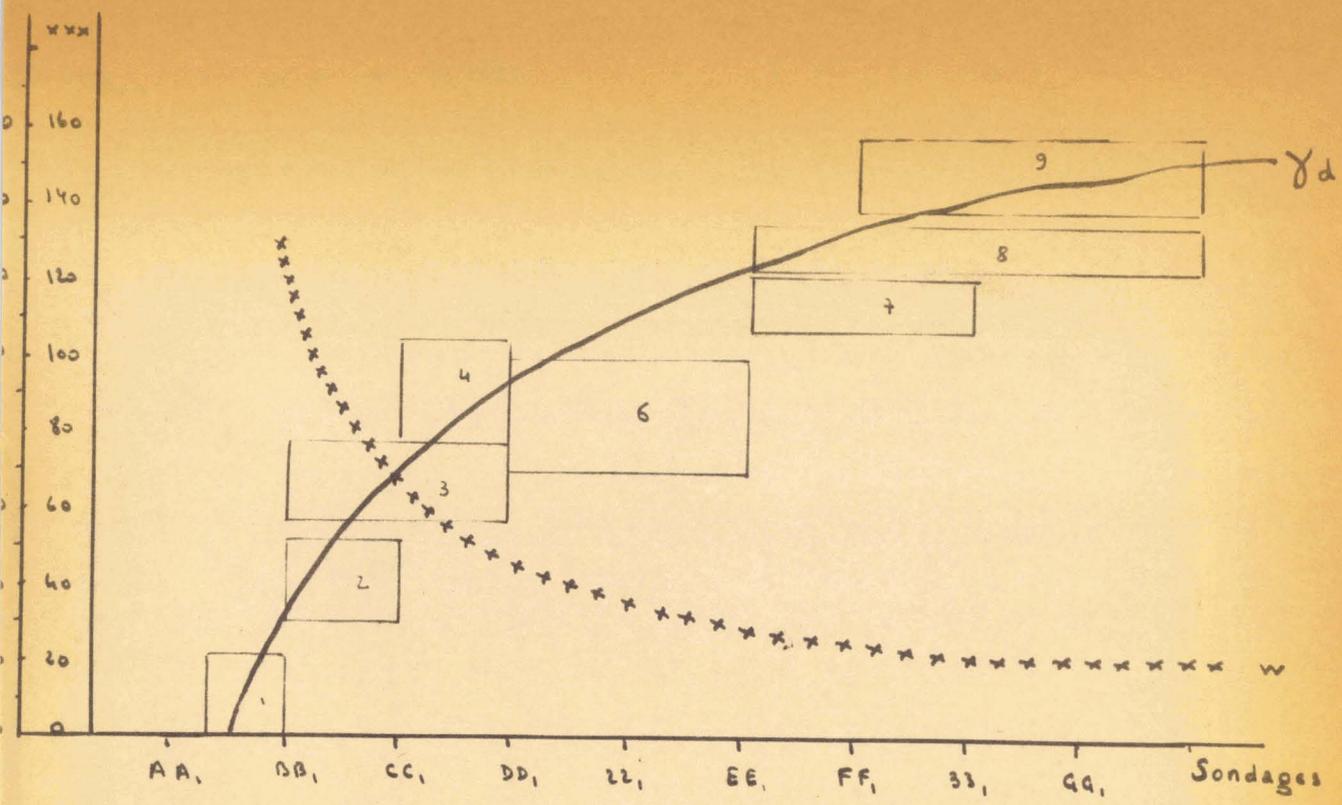
Il existe une première possibilité d'effectuer la vérification de la provenance des sols de FEUILLERES. Elle consiste à examiner les compositions granulométriques des divers sols rencontrés, et du sol d'origine, et d'en déduire s'il y a ou non possibilité de filiation.

Une autre méthode pourrait s'appuyer sur des caractéristiques mécaniques, telles que celles de cisaillement. Cette méthode a l'inconvénient de dépendre de "l'état" même des sols en place, en particulier de leur densité sèche. Elle fait l'objet d'une partie de l'étude générale. du paragraphe 75.

Il nous a semblé qu'une représentation graphique des sédimentométries permettait directement de démontrer la filiation des sols rencontrés. On peut mettre en évidence de cette façon :

- les sols limono argileux (sous groupes 1 - 2 - 3) passent aux sols soit limoneux (8 - 9) soit limono sableux (6 - 7) soit sablo argileux (8 - 9) de rive, par les sols limono sableux argileux de transition (4).
  
- Les limons des plateaux prélevés aux environs de FEUILLERES, ont une structure granulométrique intermédiaire entre celles des sols précédents. Ils sont voisins des sols du groupe 4, bien que beaucoup plus compacts et moins humides. Ils peuvent donc facilement donner naissance à des sols plus argileux ou plus sablo limoneux.

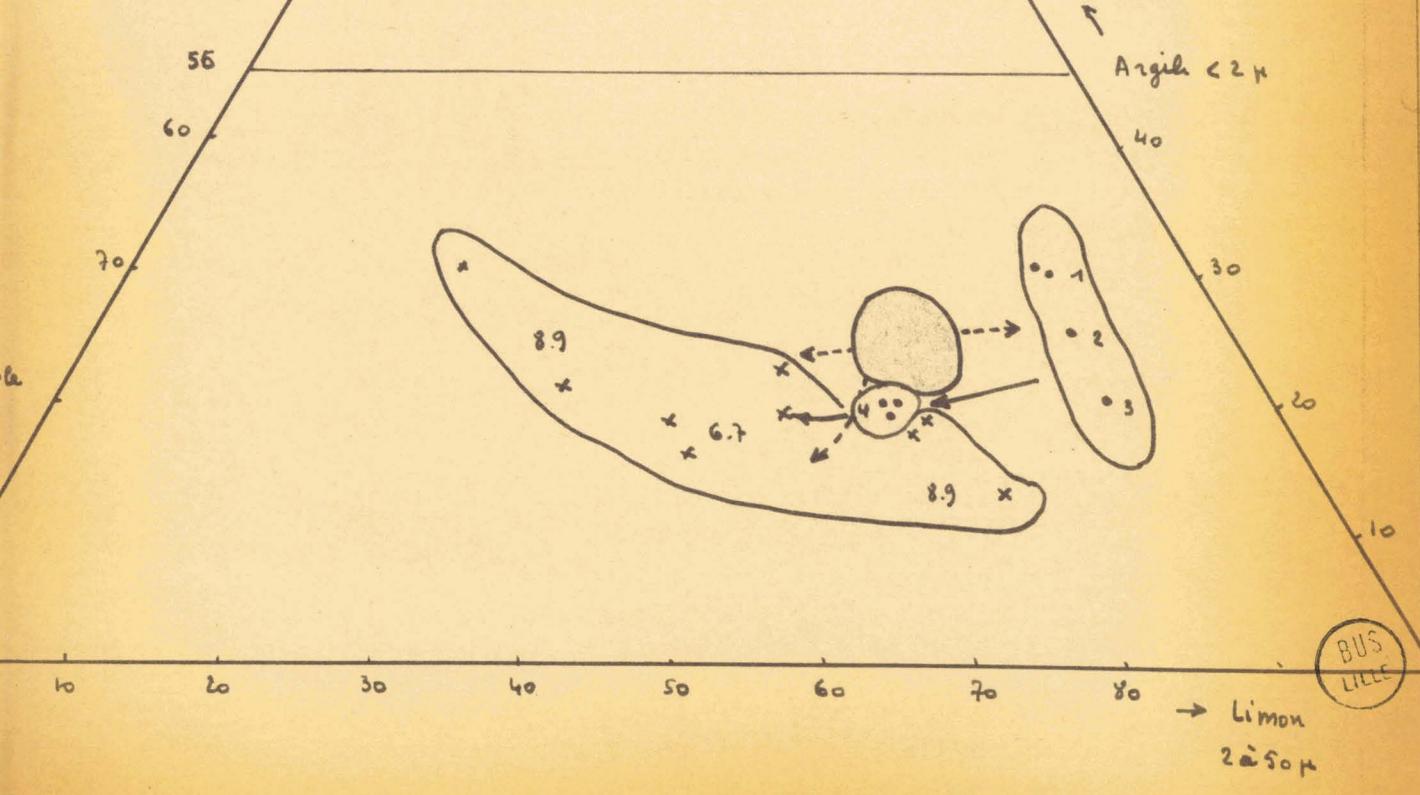
Cette démonstration graphique paraît suffisante : les alluvions peuvent bien provenir du délavage du limon de surface avec sédimentation des fractions limono sableuses en rive, et argileuses dans le cours d'eau.



• vase  
 x rive  
 ... n° du sous groupe  
 ○ groupe

● Sol du plateau  
 → sens de passage d'un sol à l'autre

Ferrillères



73 - TECHNIQUE d'OBTENTION de SOLS DEFINIS -

---

Pour essayer d'obtenir des sols définis, contenant presque exclusivement soit de l'argile soit du limon 2 - 20 microns, soit du gros limon, soit du sable fin, nous avons suivi la méthode décrite ci-après. Nous n'avons pas employé de défloculant pour ne pas détruire irréversiblement la structure normale du sol.

Le sol est passé sous un courant d'eau, sur un tamis de 50 microns, ce qui permet de retenir le sable. Le passant est mélangé avec un excès d'eau, au malaxeur HOBART, pendant 5 minutes.

Après malaxage, décantation pendant 30 minutes ; les fines argileuses restées en suspension sont recueillies à part, le limon s'étant déposé.

Quand le limon est ainsi à consistance pâteuse ferme, on sépare à la spatule la croûte superficielle plus argileuse de la zone limoneuse sous jacente. On obtient ainsi 3 fractions : argile (fines en suspension mises à part), limon argileux (croûte) et limon.

Ces fractions sont éventuellement traitées pour un nouveau fractionnement.

Cette méthode a permis d'obtenir des sols différenciés, mais dans des limites restreintes. Le non emploi de défloculant rend l'opération longue et partiellement inefficace, les argiles étant précipitées avec les limons. On a donc été amené à compléter la gamme des sols à examiner en prenant des sols naturels soit très argileux soit très sableux, les sols limoneux étant fractionnés comme indiqué ci-dessus.

Les 9 sols de base de l'étude sont donc les suivants :

Sol	Sable	gros limon	limon	argile	I.P.
Sable de FONTAINEBLEAU					0
Sable tiré du limon	87	8	2	3	0
Sable fin tiré du limon	67	26	2	5	(5)
Sable argileux	49	13	23	15	6
Limon	20	32	28	20	10
Limon argileux	16	36	26	22	13
Argile du limon	15	23	30	32	18
Argile sableuse	52	9	6	33	28
Argile plastique	25	9	9	57	48

74 - RELATION entre STRUCTURE GRANULOMETRIQUE et PLASTICITE -

Le tableau du paragraphe 73 indique déjà l'existence d'une telle relation. L'examen de 80 sols différents permet de confirmer cette existence. Les résultats ont été matérialisés sur le graphique triangulaire joint. Ils justifient assez bien les divisions granulométriques de ce graphique, qui sont celles des pédologues.

Il sera néanmoins indispensable de compléter ces essais par d'autres, afin de voir si l'origine géologique ou la structure minéralogique des sols n'interviennent pas.

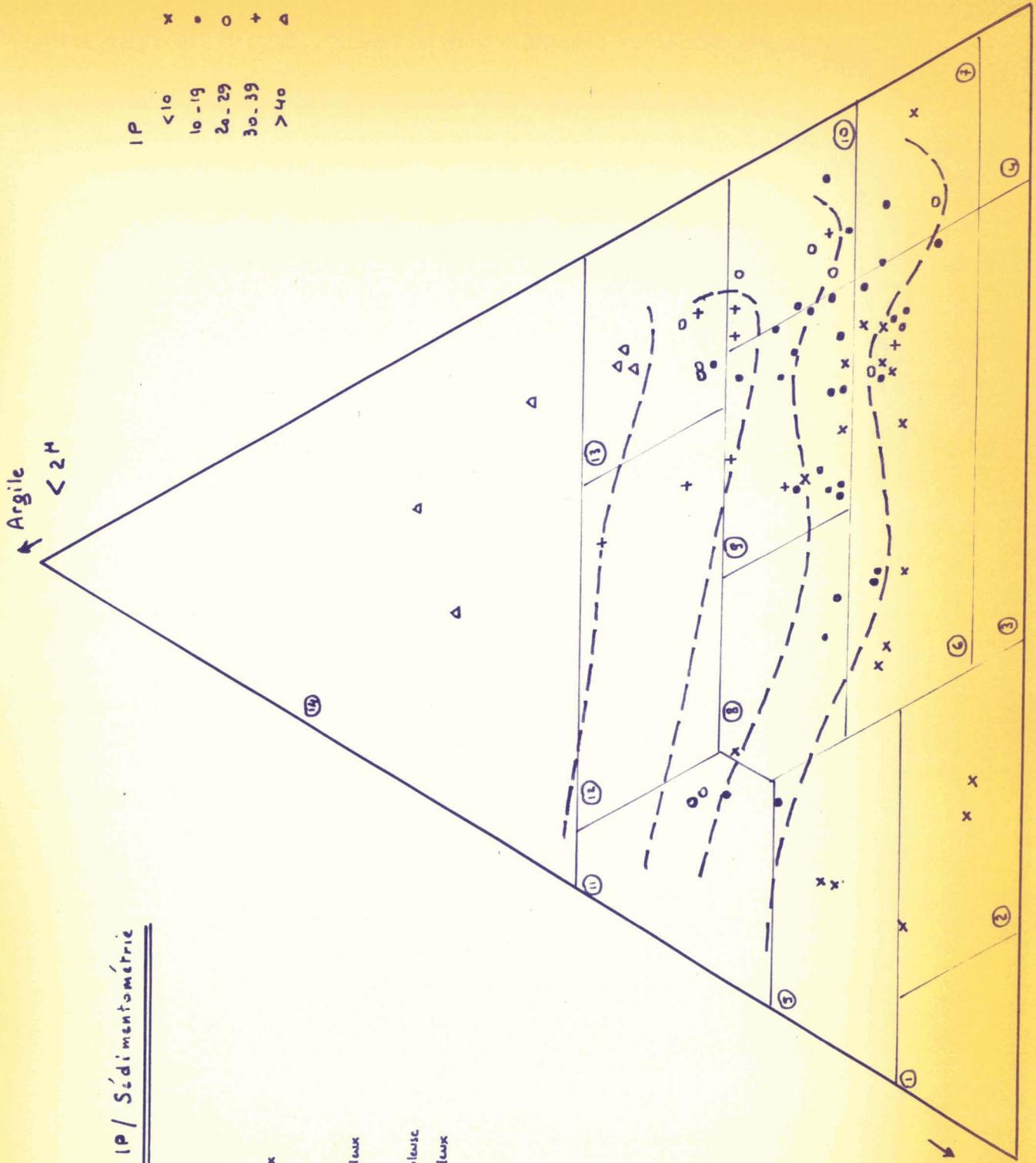
./...

## Relation IP / Sédimentométrie

- |    |                           |
|----|---------------------------|
| 1  | Sable                     |
| 2  | Sable limoneux            |
| 3  | Limons légers sableux     |
| 4  | Limons légers             |
| 5  | Sables argileux           |
| 6  | Limons moyens sableux     |
| 7  | Limons moyens             |
| 8  | Argiles légères sableuses |
| 9  | Limons lourds sableux     |
| 10 | Limons lourds             |
| 11 | Argiles sableuses         |
| 12 | Argiles                   |
| 13 | Argiles limoneuses        |
| 14 | Argiles lourdes           |

- IP
- |   |         |
|---|---------|
| x | < 10    |
| • | 10 - 19 |
| o | 20 - 29 |
| + | 30 - 39 |
| Δ | > 40    |

Argile < 2H



75 - RELATIONS entre CARACTERISTIQUES de CISAILLEMENT et AUTRES

MESURES PHYSIQUES -

751 - Cisaillement et consolidation.

Les sols utilisés sont ceux indiqués au paragraphe 73, soit seuls, soit associés.

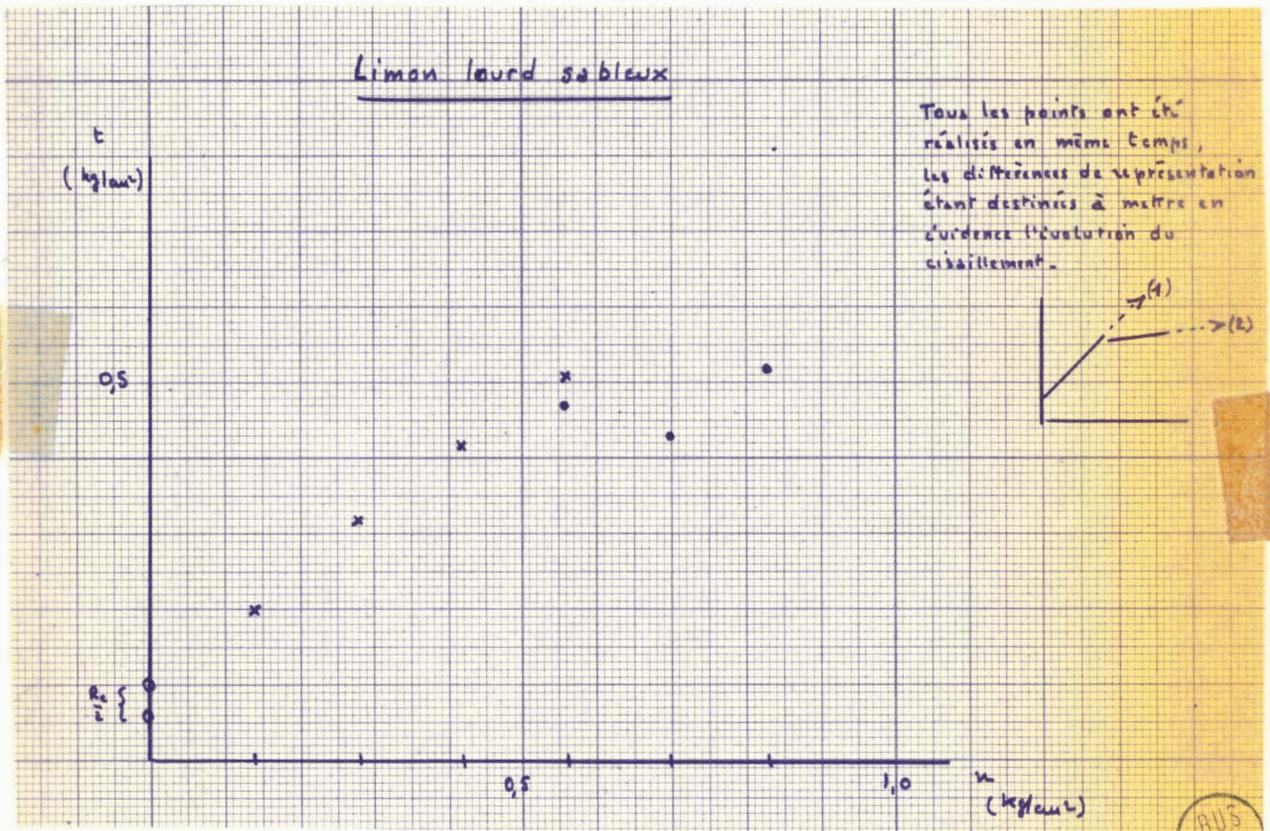
Chacun d'entre eux a été soumis à trois charges différentes de consolidation en présence d'eau en excès. On peut donc considérer que le sol cisailé était pratiquement saturé.

Dans ces conditions, on observe simultanément un accroissement de la cohésion en fonction de la charge, donc de la densité sèche, accroissement d'autant plus marqué que le sol est plus plastique, et soit une légère diminution, soit une stabilisation de l'angle de frottement interne. Les résultats sont indiqués ci-dessous.

Sol	φ (degrés)	charge de consolidation gr/cm <sup>2</sup>		
		140	700	1400
Sable FONTAINEBLEAU	φ	38°	38°	41°
	c (gr/cm <sup>2</sup> )	20 gr	10 gr	30 gr
Sable du limon IP 0	φ	32°	38°	30°
	c	0	40 gr	80 gr
Sable fin du limon IP 3	φ	15°	15°	20°
	c	80 gr	40 gr	70 gr
Sable argileux IP 6	φ	16°	17°	15°
	c	10 gr	50 gr	100 gr

Sol	φ (degrés)	charge de consolidation gr/cm <sup>2</sup>					
		c (gr/cm <sup>2</sup> )	140	700	1400		
limon IP 10	18°		18°	17°	50 gr	70 gr	110 gr
limon argileux IP 13	18°		16°	15°	40 gr	80 gr	130 gr
argile du limon IP 18	17°		15°	12°	50 gr	110 gr	190 gr
argile sableuse IP 28	16°		13°	13°	10 gr	80 gr	150 gr
argile plastique IP 48	6°		5°	4°	130 gr	170 gr	260 gr
argile argileux + argile du limon IP 10	17°		17°	16°	50 gr	70 gr	140 gr
argile argileux + argile sableuse IP 16	24°		20°	20°	80 gr	100 gr	90 gr
argile plastique + argile argileux IP 14	11°		14°			80 gr	
argile plastique + limon IP 16			17°			100 gr	

Le comportement des limons est, ici encore, irrégulier. Au point de vue mécanique des sols, ils apparaissent comme des "sols vicieux", très sensibles à de faibles modifications d'état. C'est ainsi que même l'augmentation des contraintes normales paraît pouvoir, dans certains cas, se traduire à la fois par une augmentation de la cohésion et une diminution de l'angle de frottement interne, ainsi qu'en témoigne l'exemple indiqué sur le graphique ci-après.



./...

752 - Cisaillement et granulométrie.

Nous espérons beaucoup faire apparaître une relation entre ces deux termes. Il ne semble pas qu'il soit possible de la mettre en évidence, dans les conditions de l'expérience. Il est probable que la nature de l'argile, la forme des grains de sable, les phénomènes d'adsorption soient prépondérants, indépendamment des quantités en présence.

Il est évident que l'on retrouve néanmoins une correspondance générale : les fortes valeurs de  $\varphi$  correspondant aux sables, et les fortes cohésions aux argiles.

753 - Cisaillement et plasticité.

Le tableau 751 laisse déjà prévoir une relation entre ces grandeurs. Il est indiscutable qu'entre  $\varphi$  et IP une loi existe -

$$\text{de la forme } \varphi = \frac{k}{IP} \quad (\text{avec } k \neq 200 \text{ par exemple})$$

$$\text{ou mieux de la forme } \varphi = \frac{a \cdot IP + b}{a' \cdot IP + b'}$$

$$(\text{ainsi } \varphi = \frac{IP - 190}{0,4 \cdot IP + 5,4} \quad \text{relation donnée à titre indicatif})$$

Malheureusement la dispersion paraît importante, et seule une exploitation statistique permettra de tirer des conclusions.

Il sera sans doute possible connaissant IP de présumer l'ordre de grandeur de  $\varphi$ , mais sans plus pour le moment.

./...

754 - Cisaillement et teneur en eau.

Le cas s'étant présenté pour un limon ayant les caractéristiques suivantes, il nous a semblé intéressant d'en faire état.

LL	28
IP	20
IP	8
$\delta d$	1,68 (e indice de vides = 0,59)
sable fin	18 %
gros limon	40 %
limon	23 %
argile	19 %
w en place	20,2

Résistance compression simple 130 à 200 gr/cm<sup>2</sup> (à w "in situ")

Teneur en eau	4,0	16,0	17,5	25,0	28,0
$\varphi$	9°	18°	15°	16°	20°
c	260 gr	200 gr	130 gr	70 gr	0 gr
indice de consistance	3	1,5	1,31	0,38	0,13

76 - RELATION entre PLASTICITE et CARACTERISTIQUES de COMPACTAGE -

---

Dans le cadre des études réalisées pour les avant projets de l'AUTOROUTE SENLIS - ARRAS, nous avons été amenés à effectuer des compactages systématiques tant sur des sols + plastiques que sur des sables + propres. C'est ainsi que 63 sables et 64 sols divers ont été compactés à l'intensité Proctor modifié, après détermination soit de leur indice de plasticité soit de leur équivalent de sable.

Les résultats obtenus, groupés dans les deux graphiques ci-joints mettent en évidence les relations suivantes :

- La densité sèche maxima P.M. augmente en fonction inverse de l'E.S., et en fonction inverse de IP. Les sols ou matériaux - soit très propres soit très argileux ne permettent pas l'obtention de fortes  $\gamma_d$ .

Les sols d'IP  $< 15$  et les sables d'E.S.  $< 20$  permettent l'obtention de  $\gamma_d$  élevées au compactage. Il s'agit donc de sols peu plastiques, mais le plus souvent limoneux ou facilement argileux.

Au delà d'un E.S. de 40, les densités sèches obtenues restent assez constantes, alors qu'elles diminuent régulièrement en fonction d'une augmentation de IP.

- Les "crans" ou craies tendres limono argileuses paraissent constituer un groupe homogène, leurs  $\gamma_d$  et leurs IP étant très groupés - de même que leurs teneurs en eau de compactage.
- Les w PM des sols augmentent en fonction de la plasticité. Par contre, pour les sables, la dispersion est nettement plus importante et aucune loi ne semble se dégager.
- La portance des sables (indice C.B.R. à  $\gamma_d = 95 \% \gamma_d$  PM) varie dans le même sens que la densité sèche.

Il ne s'agit là, en fait, que de premiers résultats, encore insuffisants, qui permettront néanmoins à l'avenir, de "préjuger" des qualités générales des sols par la mesure d'une de leurs caractéristiques de base. C'est à ce titre qu'il nous a semblé utile d'en faire mention.

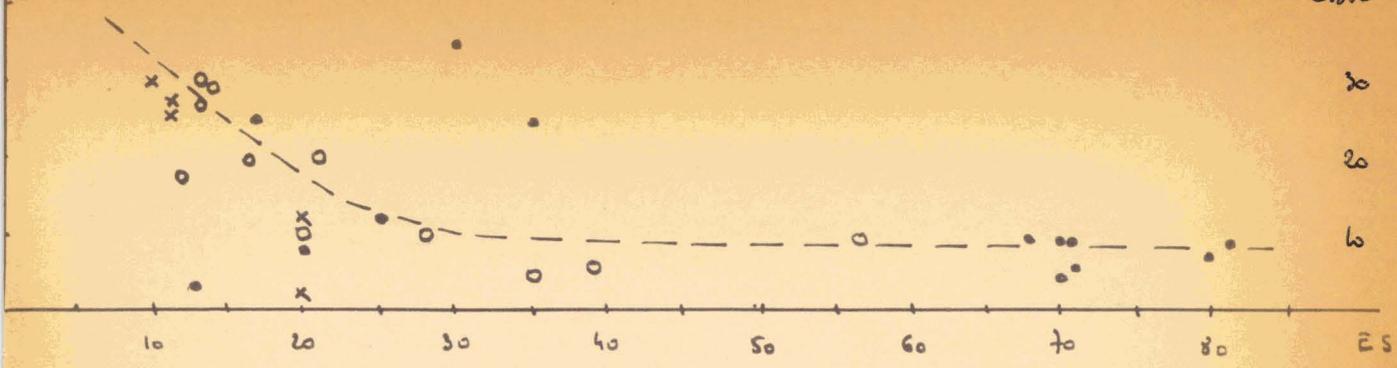
De même, l'étude de chaque cas individuel a permis de tirer, qualitativement, quelques remarques générales sur le comportement des sols au compactage.

- Les sables gagnent à être bien compactés à leur mise en place ; leur portance paraît dépendre de leur teneur en eau de compactage.
- Les sols crayeux ne demandent pas un compactage trop poussé, sinon leur portance diminue par suite de la formation de fines crayeuses plastiques.
- Les limons se comportent mieux sous un compactage modéré, un surcompactage augmentant leur sensibilité à l'eau et diminuant leur portance. Par contre, leur gonflement à l'immersion est d'autant plus facile que le compactage initial est poussé (différence avec les argiles).
- Les argiles gonflent par immersion, et ce gonflement est indépendant du compactage initial qui ne peut qu'en modifier la durée.

./...

CBR  $\approx$  95%  $\gamma_d$  PM  
(ou pntame)

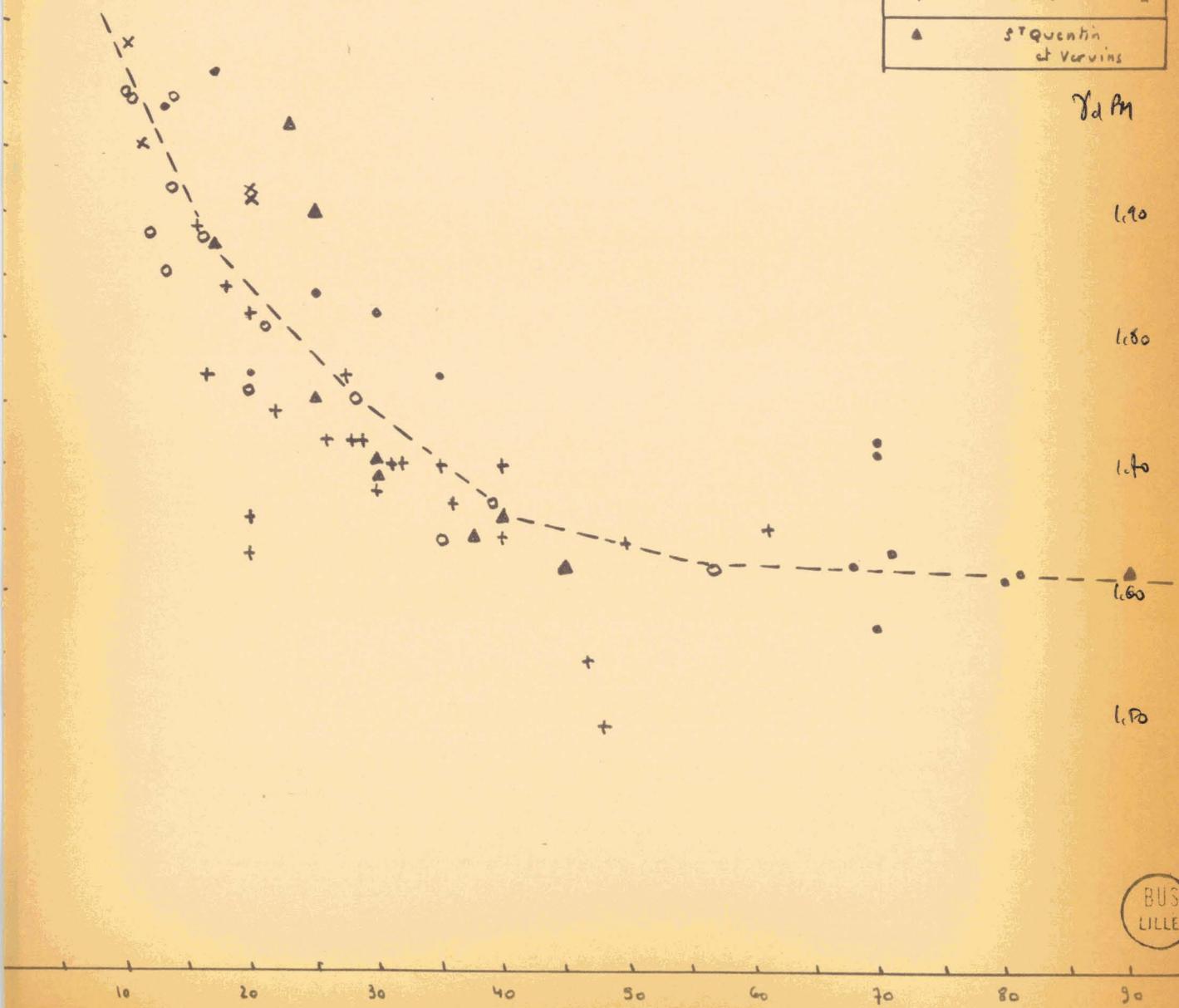
CBR



$\gamma_d$  PM

Sables de		
●	Senlis	ANF
○	Compiègne	"
×	Péronne	"
+	Arras	"
▲	St Quentin et Veruins	

$\gamma_d$  PM

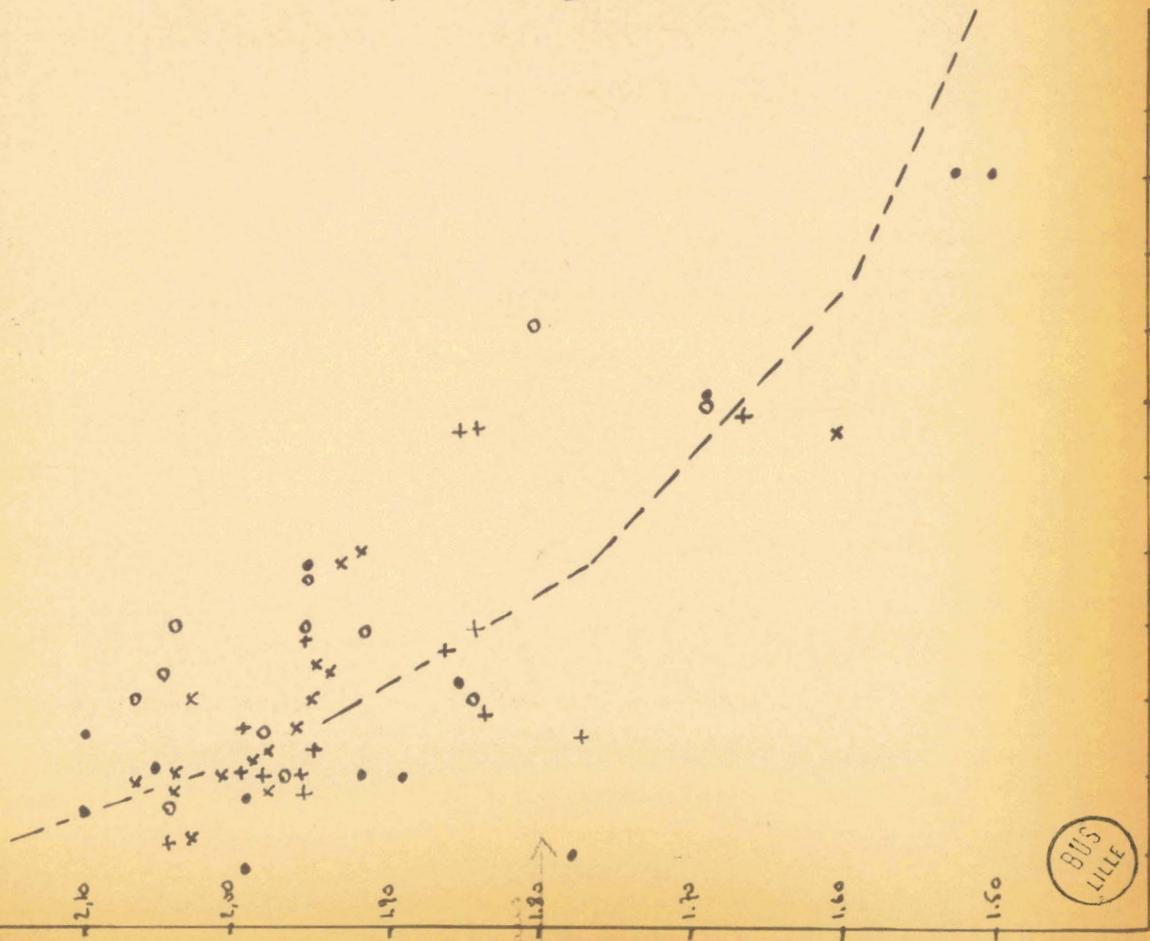


ES

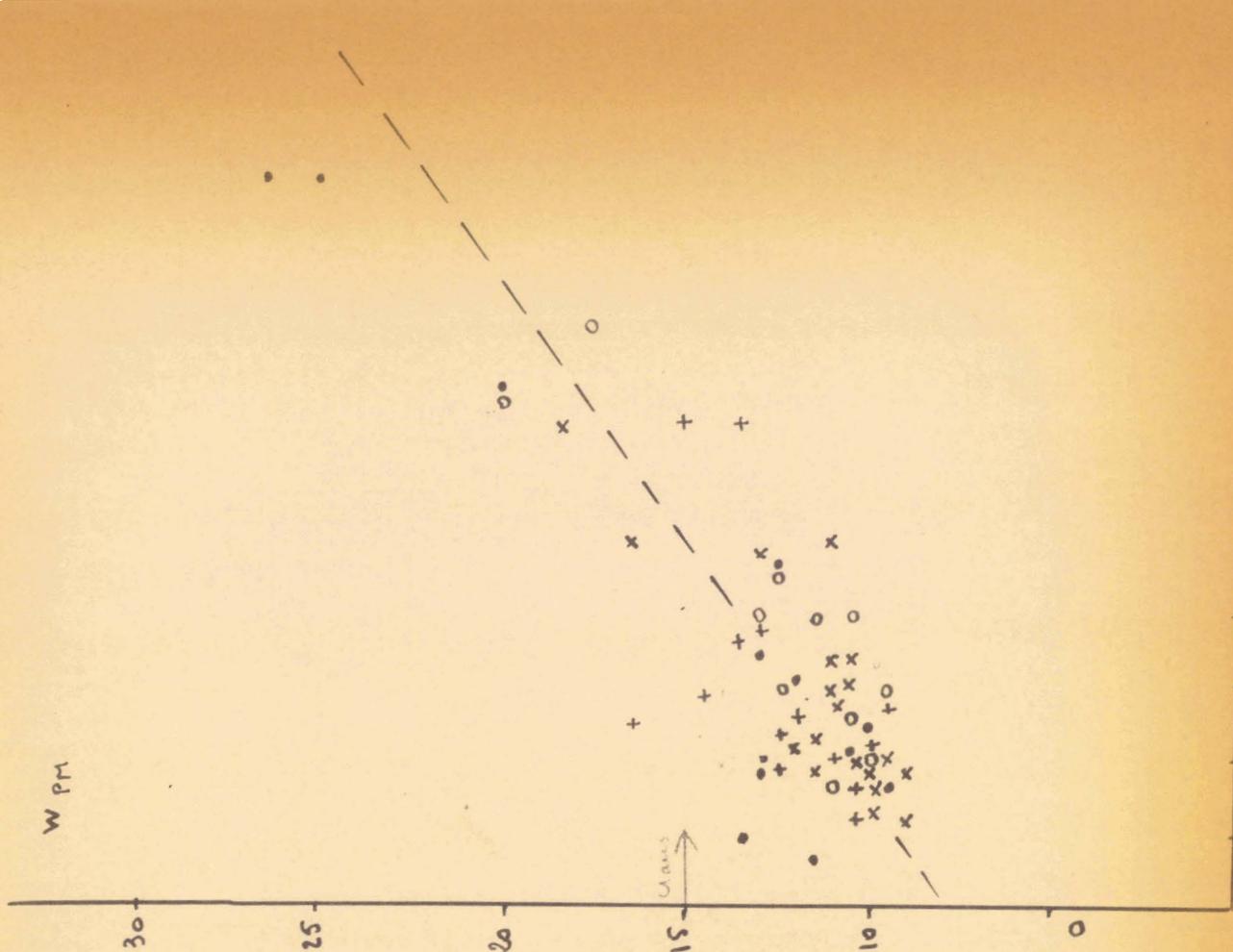
Soils

- Sandis
- Compiègne
- × Peronne
- + Arnes

$\gamma_d$  PM



W PM



IP

IP

77 - CONCLUSIONS -

---

Les quelques relations qui viennent d'être examinées, bien que très incomplètes encore, ont l'avantage de mettre en évidence la profonde unité réelle des sols. La "plasticité" au sens géotechnique, est en relation avec les caractéristiques de compactage ou celles de cisaillement ou avec la teneur en eau ou la structure granulométrique ...

Chaque mesure apparaît dès lors comme une "approche" du sol, dont la réalité ne pourra être cernée que par des multiples essais.

Ainsi le pense TERZAGHI : " ... L'étude des relations ... entre les limites d'ATTERBERG et les autres propriétés physiques des sols ... constitue l'un des domaines de recherches les plus prometteurs en physique des sols. Toutes les relations de ce type ... élargissent le champ des conclusions que l'on peut tirer ..."

---

CONCLUSION GENERALE

---

Au terme de ce travail, quelques points paraissent acquis. S'il est vrai que les méthodes utilisées sont encore trop sommaires, imparfaites et imprécises ; s'il est vrai par conséquent que de profondes modifications s'en suivront ; s'il est vrai enfin que les techniques de sondages et surtout de prélèvement d'échantillons intacts évolueront, par nécessité, très rapidement ; il n'en reste pas moins qu'il se dégage déjà une remarquable identité entre les coupes stratigraphiques et les coupes géotechniques basées sur les propriétés physiques des sols. Certes, ceci n'est valable que pour le quaternaire, et pour les sols compressibles du quaternaire, mais l'importance pratique de cette corrélation est capitale.

Les techniques modernes de construction exigent en effet non seulement la connaissance de la structure du sol, de son "gite" ou de sa nature, éléments qui sont de la compétence du Géologue ou du Géotechnicien classique, mais aussi et surtout de ses propriétés mécaniques et physiques (résistance, perméabilité, tassement, cisaillement ou portance ...). Nous entrons dans le domaine du Géotechnicien spécialisé.

Routes, remblais, barrages, ponts, pistes aériennes, immeubles, tous ces travaux demandent de plus en plus d'études minutieuses qui seront le fruit de la collaboration de la géologie et de la géotechnique. Chacune devra évoluer - la première deviendra "appliquée" en acquerrant l'habitude des méthodes physiques de la seconde, tout en gardant son esprit universitaire d'observation et de sens critique.

La seconde, tout en approfondissant ses investigations physico-chimiques, sans perdre de vue une mathématisation des faits observés qui ne pourra - étant donnée l'extrême complexité des sols - être que prudemment progressive, devra, élargissant son domaine plus technique, participer à l'ampleur de la science géologique.

DE SENARMONT, il y a plus d'un siècle, en faisait la remarque à propos de la chimie (expériences sur la reproduction des minéraux par voie humide) :

- "La chimie peut beaucoup pour la géologie en lui prêtant "ses méthodes, mais à la condition de rester elle même "géologique, et de lui emprunter à son tour ses moyens d'étude "spéciaux et les données générales que la science a recueillies "à priori sur les particularités de gisement, structure, "association ou exclusion mutuelles auxquelles certaines "espèces minérales doivent satisfaire ..."

La transposition est absolument valable.

./...

Que pour nous autres - Géotechniciens et géologues - qui aimons la  
Science et la Terre, la phrase de POINCARÉ reste une devise :

" L'expérience est source unique de vérité "

SAINT-QUENTIN

le 27 JUIN 1962

le 27 AVRIL 1963

BIBLIOGRAPHIE

-----

- ALIBERTI Géophysique et mécanique des sols (DUNOD 1956)
- ANNE Sur le dosage rapide du carbone organique dans les sols  
(Annales Agronomiques - 1945 - p. 161 - 172)
- BARJAC Mlle Essai d'interprétation bactéricécologique des sols tourbeux  
acides (thèse PARIS 1955)
- BONTE Introduction à la lecture des cartes géologiques (MASSON  
1945-1958)
- BOURGES Etude introductive des problèmes concernant les fondations  
superficielles sur sols compressibles.  
(rapport interne S 1548 - 1 du Laboratoire Central des  
Ponts et Chaussées ICPC 1962)
- BRINCH HANSEN Vane test in a norwegian quick clay (géotechnique II N° 1  
Juin 50 - p. 58 - 63)
- CADLING et ODENSTAD The vane borer (Royal Swedish Géotechnical institute  
proceedings N° 2 - 1950)
- CAQUOT et KERISEL Traité de mécanique des sols (GAUTHIER VILLARS 1956)
- CASSAN Méthode pressiométrique d'étude de sols (Société FONDASOL -  
AVIGNON)
- Chambre d'Agriculture  
de l' AISNE Carte des sols de l' AISNE - Mémoire de la carte 5 - 6 - 1962.
- CHKOURENKO Données expérimentales relatives à l'influence des vibrations  
sur la résistance des sols aux efforts tranchants  
(Dynamique des sols N° 32 - 1958 - URSS  
Traduction SIDOROFF - ICPC 1959)

- C.N.R.S. Genèse et synthèse des argiles. Colloque international. Juillet 1961. (CNRS 1962).
- DAVID (Rapporteur) Cycle d'études 1954 de la Direction des Routes. Recherche des matériaux locaux.
- DEFLANDRE La vie, créatrice de roches (Presses Universitaires de FRANCE - 1942).
- DEMOLON Dynamique du sol (DUNOD 1952).
- DUNCAN-DALZELL et WILLIAMS Etablissement d'un remblai sur la tourbe = expérience de mise en place par explosion. (IX<sup>e</sup> Congrès de la Route - LISBONNE 1951).
- DURIEZ et ARRAMBIDE Agrégats, liants et bétons hydrauliques (Editions du Moniteur des Travaux Publics - 1958).
- FAURE Note sur le franchissement en remblai d'une vallée tourbeuse (Revue Générale des Routes N° 318 - Juillet 1958).
- FERREIRA et DA SILVA Soil failure in the Ruanda Région (Géotechnic study of these soils. (Congrès de Mécanique des sols. PARIS 1961 - DUNOD 1961).
- FURON Formulaire technique du géologue (LECHEVALIER 1943).
- GIGNOUX Géologie stratigraphique (MASSON 1943).
- GOGUEL Application de la géologie aux travaux de l'Ingénieur (MASSON 1959).
- HAN RANHAN Routes sur sol de tourbe (IX<sup>e</sup> Congrès de la Route - LISBONNE 1951).
- HIRASHIMA Expérience à HAWAII de drains de sable verticaux (Bulletin du H.R.B. - HIGHWAY RESEARCH BOARD N° 90, Octobre 1954).

- HOUSEL                    Echec de drains de sable verticaux (bulletin du H.R.B. N° 90 -  
Octobre 1954).
- INSTITUT FRANCAIS  
du PETROLE                Formulaire du foreur (LAVOISIER 1961).
- KOGAN                    Appareillage et méthodes de détermination de la pression  
interstitielle dans les sols argileux (URSS - Ministère de  
la construction des centrales électriques - Institut JOUK -  
1960 - traduction SIDOROFF ICPC 1961).
- LALOU Mlle                Etude expérimentale de la production de carbonates par les  
bactéries des vases de la baie de VILLEFRANCHE (thèse  
PARIS 1955 - MASSON 1957).
- LEDUC                    sur la constitution intime des calcaires (BERANGER - Bulletin  
N° 10 du CNAM 1907)
- LEDUC et de la ROCHE    essais sur le silico calcaire (BERANGER - Bulletin N° 13  
du CNAM 1908).
- LEUBA                    introduction à la géologie (C.A. COLIN - 1941).
- MACLEAN                application de la Mécanique des sols à la technique routière  
en grande Bretagne (R. générale des Routes N° 279 -  
avril 1955).
- MAMAIEVA                Influence des cations échangeables sur les propriétés  
structurales et mécaniques des terres et des sols (Journal  
des Colloïdes - N° 2 - 1959 - URSS - traduction SIDOROFF  
ICPC 1960).
- MASLOV                    sur le problème de la résistance au cisaillement des sols  
argileux plastiques à consolidation incomplète (Congrès  
de Mécanique des sols - PARIS 1961 - DUNOD).

- MAXIMOV Détermination de la cohésion et de l'angle de frottement interne sur des échantillons de forme quelconque ("Bases, fondations et mécanique des sols", N° 6 - 1961 - URSS - traduction SIDOROFF ICPC 1962)
- MAYER Précis de mécanique des sols (C.A. COLIN 1949)
- MENARD Mesures "in situ" des propriétés physiques des sols (Annales des Ponts et Chaussées - mai - juin 1957)
- PELTIER Manuel du Laboratoire routier (DUNOD 1959)
- PERSOZ Introduction à l'étude de la rhéologie (DUNOD 1960)
- POMEROL Sables de l'éocène supérieur du bassin de PARIS et de BRUXELLES (Thèse PARIS 1961)
- PREO BRAGENSKAIA Influence des vibrations sur la résistance au cisaillement des sols argileux. (Dynamique des sols - N° 32 - 1958 - URSS - traduction SIDOROFF ICPC 1959)
- ROAD RESEARCH LABORATORY Soil Mechanics for Road Engineers (RLL LONDON)
- ROBIN Application des sondages électriques à la construction des routes (revue générale des Routes N° 267 - avril 1954)
- ROCHETTE et HURTUBISE Résultats et méthodes d'essais au Laboratoire et au chantier (Congrès de Mécanique des sols - PARIS 1961 DUNOD)
- ROUSSTCHEV Analyse thermique différentielle de diverses variétés de houilles et de tourbes (chimie analytique 43 - N° 7 - Juillet 1961)
- SABO Notice d'emploi du scissomètre de BORDEAUX et compte rendu de mission (note interne 1961 IRB)

- SAUVAGE Melle Palynologie et pétrographie de tourbes et sédiments de la cuvette du Bassin Parisien et des Ardennes (thèse STRASBOURG 1953)
- SAVTCHENKO Influence des vibrations sur le frottement interne des sables (Dynamique des sols - N° 32 - 1958 URSS - traduction SIDOROFF - LCPC 1959)
- SKEMPTON Vane tests in the alluvial plane of the river forth near grange mouth . (Géotechnique I - N° 2 - p. 111 à 124 - décembre 1948)
- TERRACINA Les caractéristiques d'état des sols - Représentation graphique et étude. (Revue générale des routes - N° 279 - avril 1955)
- TERZAGHI et PECK Mécanique des sols appliquée (DUNOD 1957)
- VAN BEURDEN Moussage des eaux naturelles (Bulles et gouttes - Tension superficielle en hydraulique - tome I - p. 216 - 218).
- VAN de WAL Fondations spéciales de routes sur sols mous (IX° Congrès de la Route - LISBONNE 1951).

Appareillage "fondations" de la SOCIÉTÉ "M et O" (S.T.E. d'applications mécaniques et optiques) -  
47, rue de BAGNEUX - MONTRouGE.

ANNEXE CHAPITRE III

---

TRAVERSEE DE L'AVRE A ST-MARD

---

Indications données par le chef sondeur sur les terrains non compressibles.

SONDAGE C

0,00 à 4,70	terrains compressibles
4,70 à 5,40	silex de 20 à 100 mm (70 %) avec argile grise
5,40 à 7,40	marne gris verdâtre avec sable fin verdâtre et sable grossier par lits, compacte
7,40 à 9,70	silex de 20 à 100 mm (90 %) sable grossier et craie (10 %)
9,70 à 12,00	silex de 20 à 100 mm (60 %) sable grossier, silex et craie (40 %) traces de marne blanche
12,00 à 13,00	craie tendre fragmentée

---

SONDAGE D

---

0,00 à 5,20

-

5,20 à 6,50

caie marneuse tendre

6,50 à 8,00

caie tendre avec quelques silex

---

SONDAGE B<sub>1</sub>

---

0,00 à 8,10	terrains compressibles
8,10 à 8,80	marne sableuse verdâtre avec 20 % de silex de 20 à 100 mm
8,80 à 9,50	silex de 20 à 100 mm (50 %) sable grossier, craie et silex (50 %) (quelques éléments de craie de 20 à 60 mm)
9,50 à 10,00	craie fragmentée avec 20 % de silex de 20 à 40 mm

---

SONDAGE C<sub>1</sub>

---

0,00 à 5,80	terrains compressibles
5,80 à 7,50	marne verdâtre sableuse avec 10 % de silex de 20 à 60 mm
7,50 à 8,50	silex de 20 à 100 mm avec sable grossier et craie

---

SONDAGE D<sub>1</sub>

---

0,00 à 4,00

-

4,00 à 5,00

craie tendre marneuse

5,00 à 6,00

craie tendre avec 10 % de silex de 20 à 40 mm

---

ANNEXE CHAPITRE III

---

TRAVERSEE DE L'AVRE A ST-MARD

---

SONDAGE B-1

---



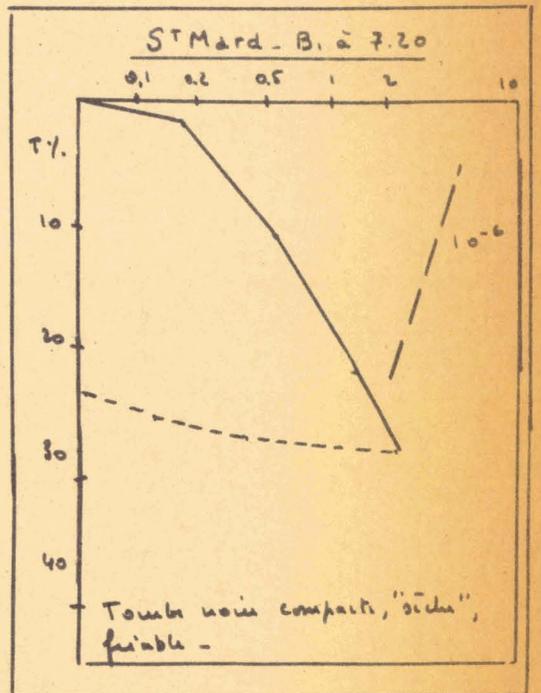
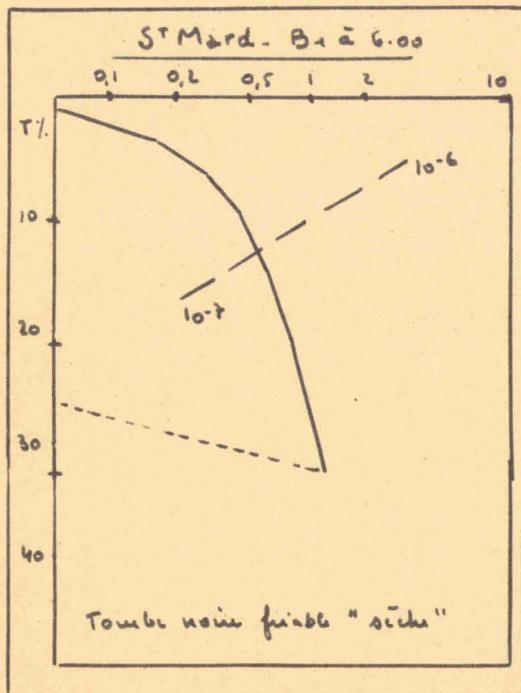
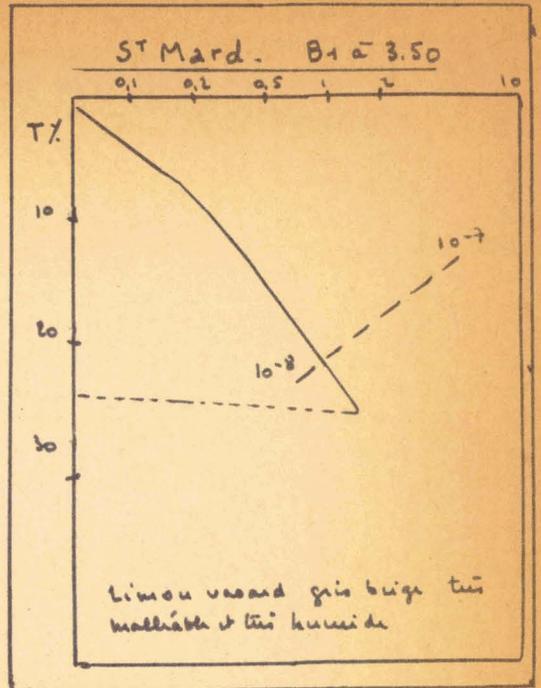
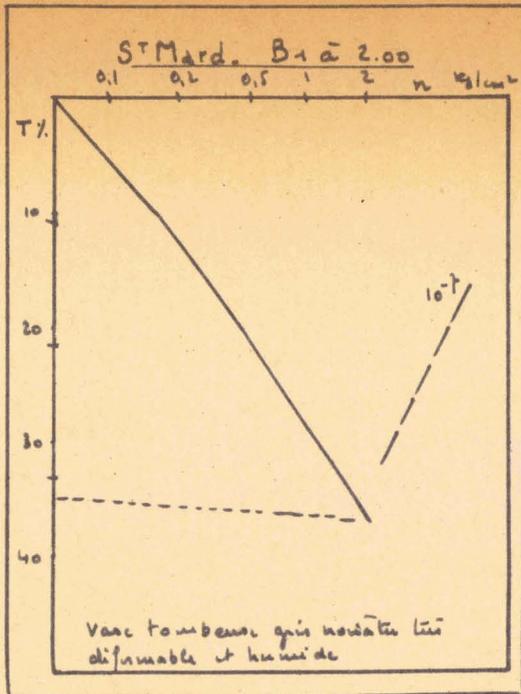




SONDAGE B.1 - OEDOMETRE

		OEDOMETRE		
Nature du sol et profondeur		charges verticales (kg/cm <sup>2</sup> )	% tassement	Coefficient de perméabilité k (cm/sec.)
A	2,00.	0,047	0	
		0,177	9,8	
		0,440	18,4	4,58 - 10 - 7
	Vase tourbeuse, très déformable et humide, avec végétaux, gris noirâtre:	0,700	23,1	3,24 - 10 - 7
		1,350	29,8	
		2,000	34,0	
	D.A.S. 0,58			
	f. 66,5	1,350	33,9	
		0,700	33,7	
		0,440	33,0	
		0,177	32,4	
		0,047	31,7	
A	3,50.	0,047	0	
		0,177	6,4	
		0,440	13,8	2,22 - 10 - 7
	Limon vaseux gris beige, très malleable et très humide, avec végé- taux et coquillages.	0,700	18,3	9,95 - 10 - 8
		1,350	24,7	
		0,700	24,6	
		0,440	24,3	
		0,177	23,5	
		0,047	22,9	
	D.A.S. 0,70			
	f. 60			

		OEDOMETRE		
Nature du sol et profondeur	Charges verticales (kg/cm <sup>2</sup> )	% tassement	Coefficient de perméabilité k (cm/sec.)	
A 6,00.  Tourbe noire, "sèche", friable mais onctueuse par écrasement, avec coquillages.	0,047	0,5		
	0,177	2,3		
	0,310	5,2	2,53 - 10	- 6
	0,440	7,5		
	0,700	13,9	3,23 - 10	- 7
	1,350	28,4		
D.A.S. 0,31 α f. 234	0,700	27,6		
	0,440	26,5		
	0,310	26,0		
	0,177	24,8		
	0,047	22,7		
A 7,20.  Tourbe noire "sèche", compacte mais friable, avec végétaux et coquillages, et quelques grains de craie.	0,047	0		
	0,177	1,7		
	0,440	9,5	3,01 - 10	- 6
	0,700	14,6	2,36 - 10	- 6
	1,350	22,2		
	2,000	27,5		
D.A.S. 0,29 α f. 96	1,350	27,3		
	0,700	26,8		
	0,440	26,1		
	0,177	25,7		
	0,047	23,2		



ANNEXE CHAPITRE IV

---

TRAVERSEE DE LA VALLEE DE LA SOMME

A FEUILLERES

---

Indications données par le Chef Sondeur (Entreprise BACHEY) sur les terrains non compressibles.

SONDAGE A

0,00	à	5,20	Terrains compressibles.
5,20	à	5,70	craie avec marne blanche et silex 60 mm (20 %).
5,70	à	7,50	craie peu marneuse fragmentée avec rares silex.
7,50	à	12,70	craie rouillée fragmentée avec rares silex.
12,70	à	14,50	craie rouillée fragmentée avec silex (20 %).
14,50	à	17,40	craie non fragmentée avec silex (30 %).
17,40	à	20,00	craie dure glauconieuse avec silex.

-----

SONDAGE B

---

0,00	à	8,90	terrains compressibles.	
8,90	à	9,80	sable grossier crayeux et 40 % silex 20 à 60 mm.	
9,80	à	10,20	sable grossier (silex et craie) 60 % et silex de couleur rouille 20 à 100 mm (40 %).	
10,20	à	11,30	sable grossier (silex et craie)	60 %.
			silex de 20 à 100 mm	30 %.
			rognons de craie de 20 à 100 mm	10 %.
11,30	à	14,50	craie fragmentée avec silex 5 % (bonne tenue de la paroi).	

---

SONDAGE C

---

0,00	à	9,70	terrains compressibles.
9,70	à	11,00	sable grossier crayeux (80 %) et silex de 20 à 100 mm (20 %).
11,00	à	12,50	sable grossier crayeux (70 %), silex de 20 à 100 mm (20 %) et blocs de craie (10 %).
12,50	à	15,00	craie dure (genre calcaire) avec 10 % de gros silex, fragmentée (la paroi ne tient pas).
15,00	à	15,50	craie dure fragmentée en rognons avec 10 % de silex + traces de marne grise verdâtre.
15,50	à	17,20	craie dure (genre calcaire), fissurée, avec 10 % silex.
17,20	à	20,80	craie dure (genre calcaire) très fissurée avec 30 % silex.
20,80	à	24,50	craie dure (genre calcaire) avec 40 % silex.

---

SONDAGE D

-----

0,00	à	6,80	terrains compressibles.		
6,80	à	9,50	sable grossier, craie et calcaire	60	%.
			galets de silex 20 à 100 mm	40	%.
			traces de marne gris bleu.		
9,50	à	12,60	sable grossier, craie et calcaire	80	%.
			silex de 20 à 150 mm	20	%.
			traces de marne gris bleu.		
12,60	à	15,60	craie dure (type calcaire) fragmentée avec quelques silex et traces de marne gris bleu.		

-----

SONDAGE A.2

0,00	à	5,10	terrains compressibles.
5,10	à	8,00	craye fragmentée tendre marneuse avec quelques silex.
8,00	à	15,00	craye fragmentée tendre avec 20 % silex de 20 à 100 mm.
15,00	à	19,50	craye de dureté moyenne avec 40 % de silex 20 - 150 mm.
Après 19,50			craye type calcaire avec 40 % de silex 20 - 150 mm.

---

SONDAGE A.1

---

0,00 à 6,70	terrains compressibles.
6,70 à 8,00	craie fragmentée et roulée 70 % (blocs de 100 mm) 30 % de petits morceaux. rares silex.
8,00 à 10,00	craie fragmentée rouillée avec 10 % de silex plats 20 mm.

---

SONDAGE B.1

0,00	à	8,60	terrains compressibles.
8,60	à	10,20	70 % sable grossier (silex et craie) 30 % silex 20 - 100 mm.
10,20	à	17,80	craie (genre calcaire) fragmentée et rouillée. avec 30 % silex 20 - 100 mm.
17,80	à	19,30	craie dure type calcaire très peu fissurée.
19,30	à	22,50	idem, avec quelques silex.

-----

SONDAGE C.1

0,00	à	8,30	terrains compressibles.
8,30	à	12,00	sable grossier craie et calcaire + 30 % silex 20 - 150 mm.
12,00	à	13,00	craie fragmentée type calcaire + 30 % silex 20 - 150 et un peu de sable grossier.
13,00	à	15,00	craie fragmentée type calcaire avec 20 % silex 20 - 150.
15,00	à	17,00	craie type calcaire très peu fissurée.

---

SONDAGE D.1

0,00	à	7,10	terrains compressibles.
7,10	à	9,00	( 60 $\frac{1}{3}$ sable grossier crayeux. ( 40 $\frac{2}{3}$ silex 20 - 150 mm + traces d'argile verdâtre.
9,00	à	9,60	( 40 $\frac{1}{3}$ sable grossier crayeux. ( 20 $\frac{2}{3}$ silex 20 - 100. ( 40 $\frac{1}{3}$ craie 20 - 100 - traces d'argile grise.
9,60	à	13,50	craie dure type calcaire fragmentée, avec quelques silex et traces d'argile grise.
13,50	à	23,50	craie dure type calcaire avec 30 $\frac{1}{2}$ silex 20 - 150, très fissurée et fragmentée avec traces de même.
23,50	à	25,50	craie de dureté moyenne, genre calcaire, avec quelques silex.

-----

ANNEXE CHAPITRE IV

---

TRAVERSEE DE LA VALLEE DE LA SOMME  
A FEUILLERES

---

SONDAGE B-1

---

Profondeur	Nature du sol	∞	DAS	LL	LP	IP	%	%	CO <sub>3</sub>	pen.
							0,08	M.O		
:(A partir de la surface de la vase)										
60 cm d'eau 0,00 à 2,30	Vase noirâtre avec végétaux	172	0,43						0+	0
	Vase tourbeuse très molle, marron noir, avec débris végé- taux rougeâtres et coquillages.	185	0,38	90	57	33	-	4,5	++	0 à 0,25
2,30 à 3,60	Vase gris marron très molle avec végétaux, et squelette sable très fin.	118	0,58	74	51	23			++	0
	Argile limoneuse gris brun, vasarde, assez molle, avec coquillages.	84	0,77				-		+	0 à 0,25
3,60 à 4,40	Limon sable argileux, gris violet, avec strates tourbeuses	35,4	1,16				-		0+	0
4,40 à 4,90	Limon sable argileux et tourbeux vasard, marron, avec quelques végétaux et grains calcaires.	84 124	0,76	76	51	25		4,0	+	0,25 à 0,5
4,90 à 6,50	Tourbe brune argileuse "sèche". Tourbe marron noir, argileuse et onctueuse.	172 158	0,42 0,42						++ +	0,25 0,5
	Argile tourbeuse brune, avec coquillages et squelette de sable très fin.	124	0,56						++	0,25 à 0,5
6,50 à 8,20	Tourbe marron noir compacte, devenant friable et "sèche".	300 204	0,22 0,34						0+ 0	0,25 à 0,5



SONDAGE B.1 - CISAILLEMENT

Profondeur	Nature du sol	n	t	α	tass.	φ	c
: (A partir de la surface de la vase)							
60 cm d'eau	Vase noirâtre avec végétaux.						
0,00 à 2,30	Vase tourbeuse très molle, marron	0,28	0,03	114	650	∠	0,050
	noir, avec débris végétaux	0,56	0,06	116	>1000	négl.	
	rougeâtres et coquillages.						
2,30 à 3,60	Vase gris marron très molle avec						
	végétaux, et squelette sable très						
	fin.						
	Argile limoneuse gris brun,	0,28	0,04	77	180	négl.	#
	vasarde, assez molle, avec	0,56	0,09	68	410		0,050
	coquillages.						
3,60 à 4,40	Limon sable argileux, gris violet,						
	avec strates tourbeuses.						
4,40 à 4,90	Limon sable argileux et tourbeux,						
	vasard, marron, avec quelques	: après consolidation à 0,700					
	végétaux et grains calcaires.						
4,90 à 6,50	Tourbe brune argileuse "sèche".						
	Tourbe marron noir, argileuse et	0,28	0,06	150	325	négl.	0,050
	onctueuse.	0,56	0,09	143	370		à
	Argile tourbeuse brune, avec	0,83	0,09	142	710		0,100
	coquillages et squelette de sable						
	très fin.						
	Arrêt du sondage à 22,10.						

SONDAGE B.1 -- OEDOMETRE

OEDOMETRE		OEDOMETRE		
Nature du sol et profondeur	charges verticales (kg/cm <sup>2</sup> )	% tassement	coefficient de perméabilité k (cm/sec)	Durée cons: labo (h. cumulées)
A 1,70.	0,047	0	9,38 - 10 <sup>-6</sup>	17
	0,177	10,8		41
	0,310	17,7		113
Vase tourbeuse très molle marron noir, avec coquillages et débris végétaux.	0,440	22,7		137
	0,700	27,8	1,48 - 10 <sup>-6</sup>	161
	1,350	35,7		
D.A.S. 0,38	0,700	35,4		
	0,440	35,2		
f. 91,5	0,510	35,0		
	0,177	34,3		
I.P. 33	0,047	33,2		
A 3,30.	0,047	0	4,37 - 10 <sup>-5</sup>	63
	0,177	11,2		
	0,310	14,4		
Argile limonneuse gris brun, vasarde, assez molle avec coquillages.	0,440	17,8		
	0,700	21,7	1,22 - 10 <sup>-5</sup>	111
	1,350	27,6		135
D.A.S. 0,77	0,700	27,5		
	0,440	27,1		
f. 55,5	0,310	27,0		
	0,177	26,6		
I.P. 23	0,047	25,7		

/...

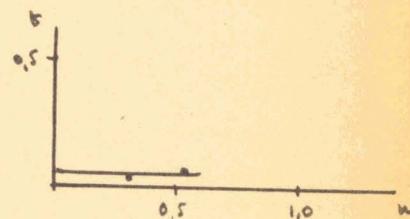
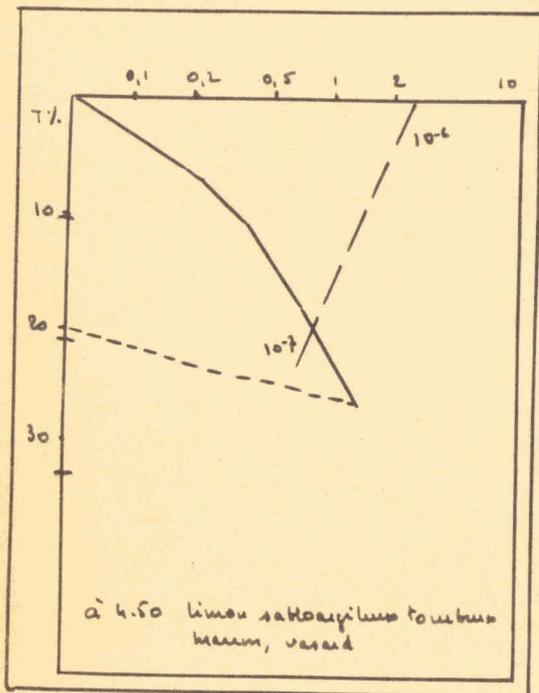
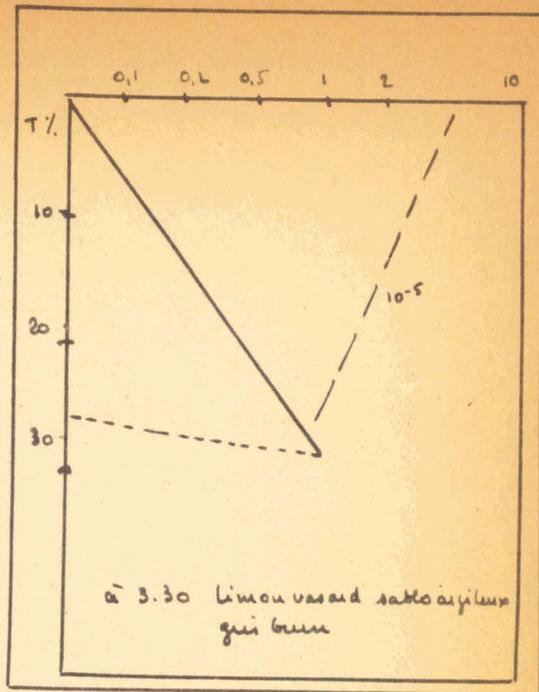
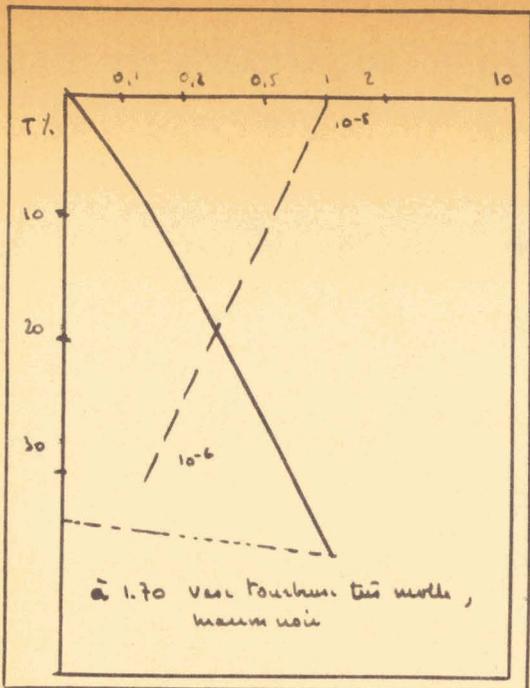
SONDAGE B.1 -- OEDOMETRE ( suite )

		OEDOMETRE					
Nature du sol et profondeur	charges verticales (kg/cm <sup>2</sup> )	$\beta$ tassement	coefficient de perméabilité k (cm/sec)	Durée cons. : labo (h : cumulées).			
A 4,50.	0,047	0	2,09 -- 10 <sup>-6</sup>				
	0,177	4,7		19			
	0,310	8,0		43			
Limons sable argileux et tourbeux,	0,440	10,9		115			
vasard, marron, avec quelques végé-	0,700	16,1	7,85 -- 10 <sup>-7</sup>	139			
taux et grains crayeux .	1,350	21,1					
D.A.S. 0,76	0,700	23,6					
	0,440	25,0					
α f. 104	0,310	22,6					
	0,177	21,9					
I.P. 25	0,047	19,2					

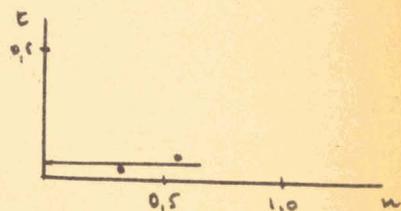
SONDAGE B  
1

Profondeur	I.C.	S.P.T.
(À partir de la surface de lavase)		
60 cm d'eau		
0,00 à 2,30	0	0
2,30 à 3,60	0	0
3,60 à 4,40		0
4,40 à 4,90	0	0
4,90 à 6,50		5
		2
		5
6,50 à 8,20		8
		16
		0

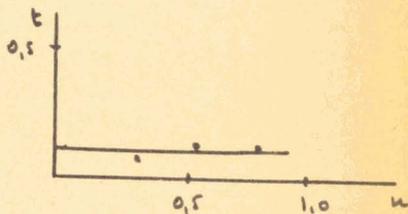
Feuillères - B1



à 1.90  
vase touchant  
 $\varphi$  ngl.  
c 50,050

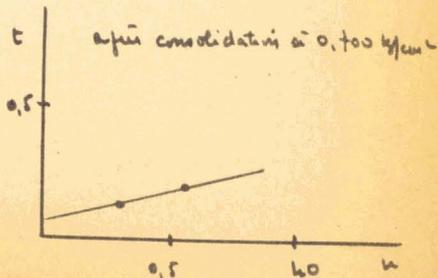
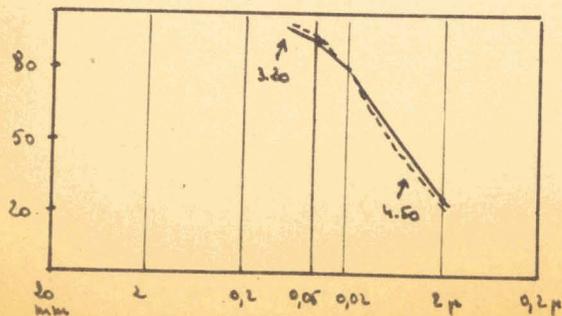


à 3.20  
argile limon vase  
 $\varphi$  ngl.  
c 0,050



à 5.80  
vase main noir  
 $\varphi$  ngl.  
c 0,050  
0,100

% Passant



à 4.60  
limon vase et main

$\varphi$  14°  
c 0,100



ANNEXE CHAPITRE IV

---

VALLÉE DE LA SOMME A FEUILLÈRES

---

SONDAGE

---



Profondeur	Nature du sol	CISAILLEMENT					
		n	t	$\alpha$	tass.	$\varphi$	c.
0 - (1,50)	Gros limon sablo argileux marécageux marron puis rougeâtre avec pigmentation tourbeuse.						
1,95 - 3,90	Argile légère sableuse, grise et verdâtre avec inclusions tourbeuses, compacte.	0,28	0,24	29	45	17°	#
		0,56	0,32	26,6	100		0,150
		0,83	0,42	24,4			
		1,11	0,49	25	28,5		
		0,28	0,12	23,4	80	17°	faible à
		0,56	0,18	23,4	95		négl.
		0,83	0,27	22,3	115		
		1,11	0,41	22,2	85		
3,90 - 5,00	Argile tourbeuse sableuse marron gris assez molle s'enrichissant en tourbe progressivement vers 4.60.	0,28	0,14	31	300	7°	#
		0,70	0,25	27,4	340		0,150
		0,97	0,31	28	432		à
		1,39	0,35	28	470		0,200
		11,57	0,53	26,4	530		
5,00 - 5,60	Tourbe argileuse et sableuse noire et grise, feuilletée et friable à sa partie inférieure (10 cm).	0,28	(0,33)	76,5	82	11°	#
		0,70	0,47	193	250		0,250
		1,39	0,55	185	500		
		2,08	0,85	160	810		
5,60 - 5,80	Argile brune et grise tourbeuse caverneuse (aspect de gruyère).	0,28	0,06	32		négl.	
		0,56	0,25	27,4	250		#
		0,83	0,18	26,6	230		0,200
		1,11	0,25	30	460		
5,80 - 5,90	Sable 0/5 calcaire argileux.						
5,90 - 8,80	Silex + craie + marnes grises avec passages sableux.						
Arrêt du sondage à 8,80.							

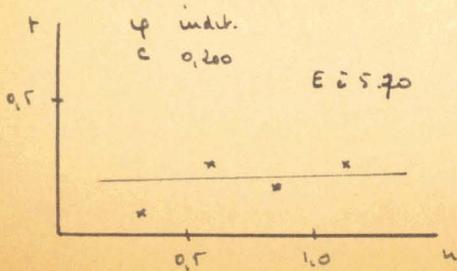
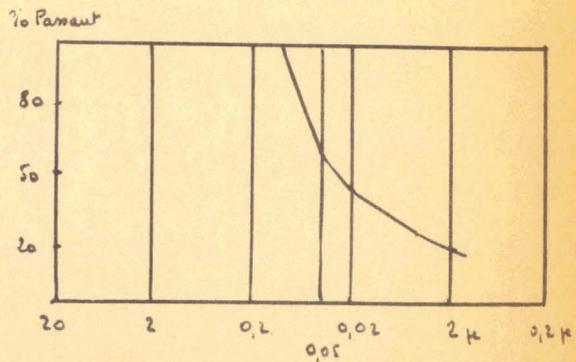
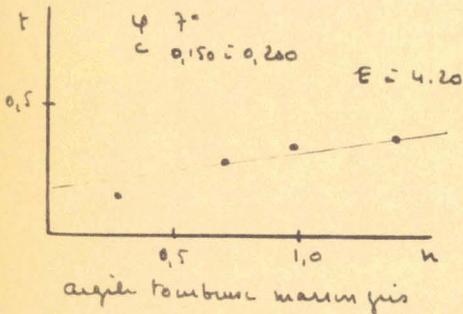
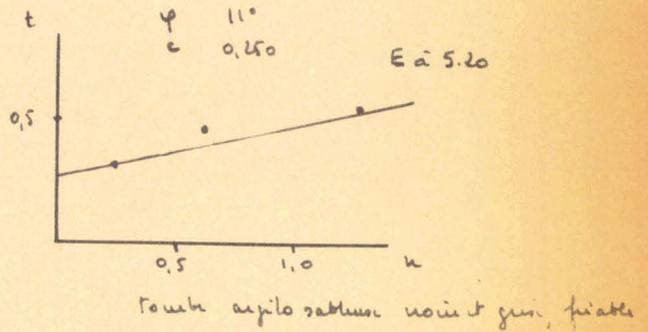
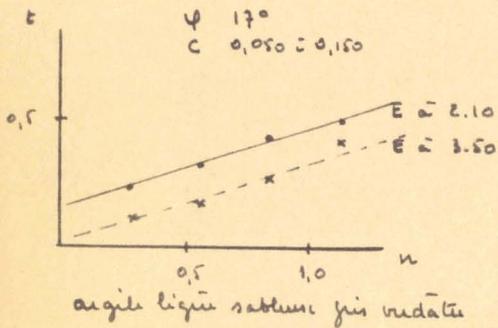
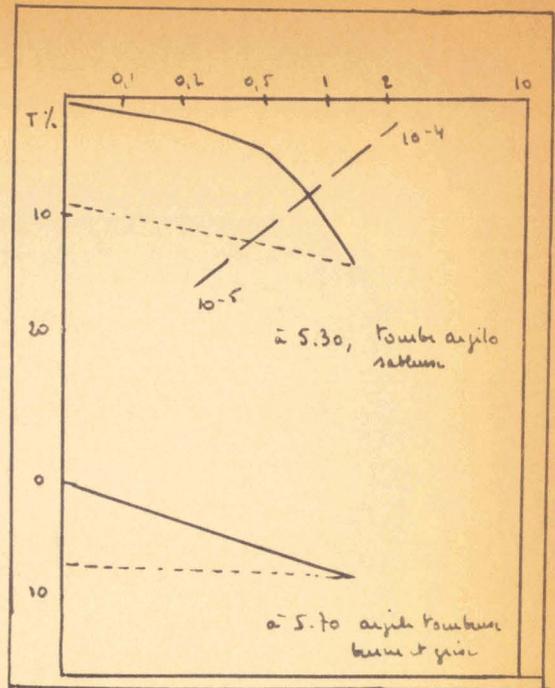
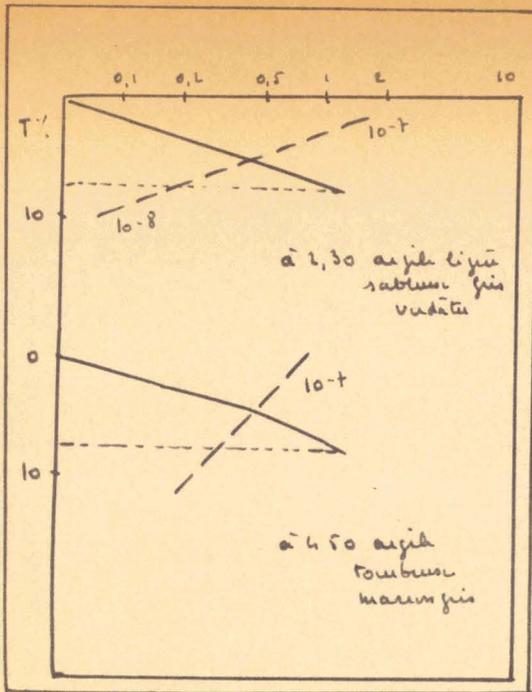
SONDAGE E -- OEDOMETRE

Nature du sol et profondeur		Oedomètre				Durée tass.
Charges verticales kg/cm <sup>2</sup>	% tassement	coefficient de perméabilité k (cm/sec)			labo.	
					(h. cumulées)	
A 2.30.	0	2,9	10	8	43	
Grol limon sablo argileux gris verdâtre compact avec petites inclusions tourbeuses.	7,8	1,5	10	8	67	
	7,6					
	7,1					
D.A.S. 1,38 à 1,62 w f. 25,4						
A 4.50.	2,1	3,07	10	6	118 h.	
	6,7	5,6	10	7	193	
Argile tourbeuse marron gris passant progressivement à la tourbe.	7,8	5,4	10	7	342	
	8,6				461	
	10,0			7	581	
w f. 23,4	12,0	2,7	10			
D.A.S. 1,41.	12,0					
	11,9					
	11,8					
	11,8					
	11,7					

/....

		Oedomètre			
Nature du sol et profondeur	charges	%	Coefficient de perméabilité k (cm/sec.)	Durée tass. Labo. (h. cumulées)	
	verticales kg/cm <sup>2</sup>	tassement			
A 5,30.  Tourbe argileuse et sableuse noire et grise feuilletée et friable.  X finale 197  D.A.S. 0,67	0,047	0,0	9,66	- 10 <sup>-4</sup>	
	0,177	1,4	2,55	118	
	0,310	2,4	3,79	188	
	0,440	3,4	1,87	318	
	0,700	5,8	1,31 et 1,22	416	
	1,350	13,1	3,37 et 3,23	509	
	0,700	12,7			
	0,440	12,1			
	0,310	11,6			
	0,177	10,7			
0,047	9,0				
A 5,70.  Argile brune et grise tourbeuse et caverneuse (aspect de gruyère)  X finale 23,9 D.A.S. 1,60.	0,047	+ 0,7			
	0,700	4,8		37	
	1,350	6,3	2,27	- 10 <sup>-7</sup> 153	
	0,700	6,3			
	0,047	5,6			

# Feuillères - E



S E C O N D E   T H E S E

-----  
Propositions données par la Faculté  
-----

Indice d'hydrophilie des sols

Vu et approuvé

LILLE , le 9 Mai 1963

Le DOYEN de la FACULTE des SCIENCES de LILLE

M. PARREAU .

Vu et permis d'imprimer

LILLE , le 21 Mai 1963

Le RECTEUR de l'ACADEMIE de LILLE ,

G. DEBEYRE .

PAUL PONTEVILLE

INDICE  
D'HYDROPHILIE DES SOLS

---

2<sup>ème</sup> thèse de doctorat

Faculté des Sciences de Lille

INDICE d'HYDROPHILIE

DES SOLS

---

GLOSSAIRE des TERMES EMPLOYES

---

- I - DEFINITION de l'ESSAI
  - II - ESSAIS de CONTROLE de FILLERS pour ENROBES
  - III - MODE OPERATOIRE SUIVI
  - IV - CALCUL d'ERREURS THEORIQUES
  - V - CONDITIONS d'ETUDE et HYPOTHESES de BASE
  - VI - CORRELATION IP - IH
  - VII - CORRELATION LL - IH
  - VIII - CORRELATION log. IP - IH
  - IX - AUTRES CORRELATIONS
  - X - ETUDE EXPERIMENTALE de la DISPERSION
  - XI - CONCLUSIONS
- ANNEXES - I - TABLEAUX des RESULTATS
- II - RELATION IP - Volume apparent dans l'eau

BIBLIOGRAPHIE

GLOSSAIRE des ABBREVIATIONS et SYMBOLES

---

DA	densité apparente (poids / volume apparent)
DAB	densité apparente dans le benzène
f	$\%$ filler du mortier passant à 0,42 = $\frac{0,08}{0,42} \%$
IH	indice d'hydrophilie
IP	indice de plasticité
LL	limite de liquidité
LP	limite de plasticité
m	$\%$ mortier (passant à 0,42) du sol examiné
N	nombre de valeurs
r	Coefficient de corrélation de PEARSON
$\sqrt{\quad}$	écart-type théorique
s	écart-type expérimental
s <sup>2</sup>	variance expérimentale $s^2 = \frac{(x - \bar{x})^2}{N - 1}$
t t'	valeur de la signification du test de corrélation
	$\left\{ \begin{array}{l} t' \text{ valeur calculée} \\ t \text{ valeur lue sur la table de STUDENT} \\ \text{à un seuil donné} \end{array} \right.$
x y	valeurs déterminées des variables x et y
$\bar{x} \bar{y}$	moyenne arithmétique des valeurs des variables x ou y.

I - DEFINITION de l'ESSAI -  
-----

L'indice d'hydrophilie d'un filler a été défini pour la première fois dans le recueil des règles techniques pour la fabrication des enrobés en U.R.S.S., datant de 1955, publié sous la direction de IJICIKHINA et KHANINA.

La connaissance de cet indice nous a été rendue possible par la traduction faite par M. DURRIEU, INGENIEUR en CHEF au LABORATOIRE CENTRAL des PONTS et CHAUSSEES.

L'essai est le suivant :

5 gr. de filler (+ 0,01) sont pesés et placés dans une éprouvette graduée de 50 ml, après trituration au mortier avec quelques ml d'eau distillée. On rince le mortier et on complète l'éprouvette par de l'eau distillée. On agite le filler dans l'eau par un agitateur et on laisse reposer. On réalise le même essai avec du kérosène ou du pétrole.

Après stabilisation des niveaux du filler on lit les hauteurs atteintes dans l'eau et dans le pétrole.

L'indice d'hydrophilie  $h$  est par définition le rapport de l'un à l'autre :

$$h = \frac{V_1}{V_2}$$

$h$  indice d'hydrophilie  
 $V_1$  volume apparent dans l'eau  
 $V_2$  volume apparent dans le kérosène.

Les normes soviétiques imposent  $h < 1,10$ .

On peut donc dire que l'indice d'hydrophilie est le rapport du volume d'une prise d'essai de filler après gonflement dans l'eau (milieu polaire) au volume de la même prise après gonflement dans le kérosène (milieu apolaire).

./...

Nous avons donc, en 1958, d'abord pensé employer systématiquement cet essai pour les fillers utilisés dans la région de ST-QUENTIN pour la fabrication des enrobés, le contrôle des fillers étant des plus restreint. Nous avons ensuite eu l'idée d'étendre cet essai aux sols, le comportement de ces derniers en présence de milieux polaire - apolaire devant dépendre de leur nature.

Les résultats obtenus ont répondu à notre idée initiale. Nous les exposons et analysons ci-après.

Pour des raisons de simplicité d'écriture, et par similitude avec I.P., nous avons donné à l'indice d'hydrophilie l'abréviation I.H., préférant éviter, par l'emploi de **h**, toute confusion avec la notion de viscosité.

./...

II - ESSAIS de CONTROLE de FILLERS pour ENROBES -  
-----

Il y a peu d'essais de contrôle de fillers, exception faite de la mesure de la surface spécifique par le perméabilimètre BLAINE.

Les Anglais préconisent la mesure de la densité apparente dans le benzène (DAB) qui permet de classer le filler en fonction de sa finesse.

Les Soviétiques proposent l'indice d'hydrophilie IH, précédemment défini, et un essai de mesure de vides du filler compacté.

Nous donnons, à titre indicatif, les IH, DAB et DA dans le pétrole de quelques fillers employés dans la région de ST-QUENTIN.

./...

FILLER	I.H.	D.A.B.	DA pétrole
Calcaire de COURBES 1959	0,48	0,32	0,32
1960	0,50	0,39	0,36
	0,45	0,38	0,32
	0,44	0,36	0,31
	0,44	0,39	0,31
1961	0,48	0,37	0,29
	0,48	0,37	0,29
Calcaire de LILLE 1960	0,41	0,35	0,31
	0,43	0,34	0,33
Chaux X.E.H. BELLIGNIES	0,54	0,46	0,42
Chaux éteinte belge	0,55	0,24	0,20
Cendres volantes BEAUTOR	0,77	0,33	0,32
Quartzite filler	0,80	0,71	0,67
C.P.B. 250/315	(1,13)	0,75	0,63

L'examen de ce tableau permet de tirer deux conclusions :

- il y a corrélation entre les D.A. dans le benzène et dans le pétrole, bien que ces dernières soient systématiquement un peu plus faibles ;
- les I.H. de ces différents fillers pour enrobés correspondent aux normes soviétiques (I.H.  $\angle$  1, 10) à l'exception du ciment pour lequel l'essai est discutable. A signaler que les limons servent de filler en U.R.S.S.

Nous pouvons ajouter deux remarques importantes :

- la détermination des I.H. et des D.A.B. a été faite suivant des normes différentes, en employant 5 gr. de matériau dans 25 ml de liquide pour I.H. (1) et 10 gr. de matériau dans 100 ml de liquide pour D.A.B.

Les écarts D.A.B. et D.A. pétrole peuvent en être justifiés.

- les matériaux de nature calcaire donnent toujours de plus faibles valeurs d'I.H., même à finesse égale, que des matériaux siliceux (ainsi les cendres volantes de BEAUTOR ont la même finesse que le calcaire de LILLE et un I.H. presque double).

(1) Le mode opératoire russe imposait 5 gr. de matériau dans 50 ml de liquide. Pour une question de disponibilité de matériel, nous avons ramené ce volume à 25 ml. On verra dans le chapitre X, paragraphe 2 l'influence du type d'éprouvette et de sa contenance sur les résultats d'hydrophilie.

III - MODE OPERATOIRE SUIVI -

Sur chaque sol, les opérations suivantes ont été effectuées.

1) Classification du sol.

- Limites d'ATTERBERG.

Les limites d'ATTERBERG sont les teneurs en eau qui correspondent au passage d'un sol de l'état liquide à l'état pâteux (limite de liquidité .L.) et au passage de l'état pâteux à l'état solide (limite de plasticité L.P.). L'intervalle entre ces deux valeurs définit le domaine de plasticité du sol, et porte le nom d'indice de plasticité I.P.

$$LL - LP = IP$$

Cette notion, initialement agronomique, s'est rapidement répandue en géotechnique routière.

On définit, par convention, la limite de liquidité de la façon suivante : le sol est étalé dans une coupelle, rainuré à l'aide d'un couteau normalisé, et soumis à un certain nombre de chocs (chute de la coupelle 1 cm, à raison de 2 par seconde) ; la teneur en eau pour laquelle le sol se referme sur environ 1 cm de long à 25 chocs est la limite de liquidité.

De même, par convention, la limite de <sup>plasticité</sup> liquidité est la teneur en eau pour laquelle un petit rouleau de sol se fragmente en tronçons d'environ 1 cm de long, quand son épaisseur est de 3 mm.

- Granulométrie.

Les granulométries pour sols, faites dans un but d'identification rapide, se font sur trois dimensions :

module 34	tamis 2	mm
module 28	tamis 0,5	mm
module 20	tamis 0,08	mm

./...

Les sédimentométries ne sont entreprises que pour des identifications poussées.

- Classification H.R.B. (HIGHWAY RESEARCH BOARD)

Classification de sols, employée aux U.S.A., et qui est basée sur les limites d'ATTERBERG et la granulométrie sommaire du sol. Un "indice de groupe" est défini, qui conditionne l'épaisseur de chaussée à prévoir pour le sol considéré, compte tenu du trafic (abaques de STEELE).

L'indice de groupe est donné par la formule :

$$IG = 0,2 a + 0,005 a c + 0,01 b d$$

- a varie de 0 à 40 suivant que le passant à 0,074 (U.S.A.) ou 0,080 (FRANCE) varie de 35 et moins à 75 et plus.
- b varie de 0 à 40 suivant que le passant à 0,074 (U.S.A.) ou 0,080 (FRANCE) varie de 15 et moins à 55 et plus.
- c varie de 0 à 20 suivant que L.L. varie de 40 et moins à 60 et plus.
- d varie de 0 à 20 suivant que I.P. varie de 10 et moins à 30 et plus.

I.G. varie de 0 à 20, et est d'autant plus grand que le sol est plastique (donc mauvais) = de 0 à 4, on a les sables et les graves ; de 4 à 12, les limons ; de 12 à 20, les argiles.

Par ailleurs les sols sont affectés, dans la classification H.R.B., d'une lettre et d'un numéro traduisant schématiquement leur nature, suivant le tableau ci-dessous.

Les sols les plus fréquents, dans la zone AISNE - ARDENNES - SOMME - PAS de CALAIS - OISE, sont les A.2.4, A.2.6 (sables sales), les A.3 (sables propres), les A.4 (limons), les A.6, A7.5, et A7.6 (argiles + plastiques).

./...

classe	passent à			LL	IP	IG	Type de sols
	2 mm	0,5 mm	0,080				
A 1 a	≤ 50	≤ 30	≤ 15		≤ 6	0	Grave.
A 1 b		≤ 50	≤ 25		≤ 6	0	
A 2 4			≤ 35	≤ 40	≤ 10	0	Graviers et sables limoneux ou argileux.
A 2 5			35	≤ 40	≤ 10	0	
A 2 6			≤ 35	≤ 40	≥ 10	≤ 4	(correspondant aux limons A4 et argiles
A 2 7			≤ 35	≥ 40	≥ 10	≤ 4	A6 - A7.5 - A7.6)
A 3		≥ 50	≤ 10			0	Sable propre.
A 4			≥ 35	≤ 40	≤ 10	≤ 8	Limons.
A 5			≥ 35	≤ 40	≤ 10	≤ 12	
A 6			≥ 35	≤ 40	≥ 10	≤ 16	Argiles.
A 7 5			≥ 35	≥ 40	≥ 10	≤ 20	Argiles plastiques organiques.
A 7 6			≥ 35	≥ 40	≥ 10	≤ 20	Argiles plastiques organiques.

2) Densité apparente dans le benzène - D.A.B.

10 gr. de sol sec sont versés dans une éprouvette graduée de 100 ml. On recouvre par environ 70 ml de benzène pur rectifié cristallisable (densité 0,878). On agite vigoureusement après avoir bouché l'éprouvette et on rince le bouchon et les parois par environ 10 à 15 ml de benzène. On place l'éprouvette dans un endroit stable et on lit la hauteur apparente de flocculat dans le benzène après 24 heures. On en déduit la D.A.B.

Caractéristiques de l'éprouvette employée :

capacité	100 ml
hauteur totale	26,0 cm
diamètre extérieur	3,0
diamètre intérieur	2,5
graduation par 1 ml	
marque PROLABO.	

La hauteur apparente du sol dans le benzène ne change en général plus après 10 heures de repos.

3) Indice d'hydrophilie.

5 gr. de sol sec (à 0,10 gr. près) sont versés dans une éprouvette graduée de 25 ml. On recouvre par environ 15 ml d'eau distillée. On bouche et on agite vigoureusement jusqu'à ce que tout le sol soit en suspension. On débouche et on rince aussitôt le bouchon et les parois supérieures de l'éprouvette par 10 ml d'eau environ. On place dans un endroit stable et on laisse déposer.

On réalise la même opération dans une seconde éprouvette, mais avec du kérosène.

./...

On lit après 12 h, puis après 24 h. jusqu'à hauteur constante (l'expérience a prouvé qu'un délai de 24 h. suffisait) et on calcule l'indice d'hydrophilie.

$$I.H. = \frac{\text{hauteur apparente dans l'eau}}{\text{hauteur apparente dans le kérosène}}$$

Le résultat est la moyenne de trois essais menés en parallèle. En cas d'écart importants, on recommence une série de trois.

Préparation du sol : Pour pouvoir comparer les résultats des limites d'ATTERBERG et ceux de l'I.H. nous avons employé pour ce dernier essai le matériau ayant servi aux limites c'est-à-dire le passant à 0,50 mm tamis. Ce passant séché à 110° maximum est broyé au mortier de fer et tamisé à sec jusqu'à ce que tout passe au tamis de 0,50 mm (module 28). La poudre obtenue est homogénéisée avant la prise d'essai.

Caractéristiques des éprouvettes :

capacité	25 ml
hauteur totale	19,0 cm
diamètre extérieur	2,1 cm
diamètre intérieur	1,5 ml
graduation	0,2 ml
marque	PROLABO ou V.T. (base hexagonale)

4) Autres essais.

Un certain nombre d'autres essais ou d'autres observations ont été réalisés, sans que des conclusions ne soient tirées actuellement. Ce sont les suivants :

- coloration du benzène par certains sols ;
- calorimétrie des sols apr attaque chlorhydrique ou acétique ;
- fluidité plus ou moins grande de la suspension du sol.

./...

IV - CALCUL d'ERREURS THEORIQUES -

Les erreurs théoriques calculées ci-dessous varient avec les valeurs déterminées, et ne représentent donc qu'une indication "moyenne".

1) D.A. benzène.

$$D.A.B. = \frac{\text{poids}}{\text{volume apparent}}$$

$$\text{erreur sur le poids} : 10 \text{ g} \pm 0,1$$

$$\text{erreur sur le volume} : v \pm 0,5 \quad v \text{ moyen} = 12 \text{ ml.}$$

$$\underline{\text{erreur moyenne sur DAB} = 0,04}$$

2) Indice d'hydrophilie.

$$I.H. = \frac{\text{hauteur eau}}{\text{hauteur kérosène}} = \frac{D.A. \text{ kérosène}}{D.A. \text{ eau}}$$

$$\text{erreur sur le poids de sol} = 5 \text{ gr} \pm 0,1$$

$$\text{erreur sur la hauteur (ou volume)} = v \pm 0,1 \quad \neq 5 \pm 0,1$$

$$\underline{\text{erreur moyenne sur I.H.} = 0,08}$$

(l'erreur sur D.A. kérosène = 0,04 comme D.A.B.)

Sur trois essais, l'erreur tombe à environ 0,03.

3) Limites d'ATTERBERG.

$$IP = LL - LP$$

- LL était déterminée par 5 essais à teneurs en eau décroissantes. Elle est actuellement déterminée à l'aide de l'abaque L.C.P.C., par deux essais successifs si ces essais donnent les mêmes valeurs sur l'abaque.

./...

En admettant ces deux pesées de sol, avant et après séchage à 0,05 gr. près, les pesées des tares, 6 gr à 5 cg. près; et en prenant un poids moyen de sol prélevé de 20 gr. ; en admettant par ailleurs l'erreur sur le nombre de coups ( = 1 ), on peut estimer l'erreur moyenne sur LL à  $\pm 1$ .

- De même, l'erreur moyenne théorique sur LP serait  $\pm 0.5$ .
- Ceci entraînerait une erreur moyenne théorique sur I.P. de  $\pm 1,5$ .

Il est nécessaire de refaire les réserves initiales : d'une part, les erreurs provenant des manipulations n'ont pas été chiffrées et leur importance peut être grande (sur LP par exemple) ; d'autre part, l'erreur varie suivant les valeurs D.A.B. ou I.H. ou I.P. trouvées.

Une étude expérimentale de dispersion est donnée en fin de note.

Signalons enfin, que, si tous les essais DAB et IH ont été réalisés par la même personne, les LL et IP ont été déterminés de 1959 à 1961 par 5 opérateurs différents.

./...

V - CONDITIONS d'ETUDE et HYPOTHESES de BASE -

- 1) Les essais ont porté sur 161 matériaux ou sols provenant exclusivement de la zone d'action du LABORATOIRE REGIONAL de SAINT-QUENTIN et se décomposant comme suit :

14 fillers pour enrobés

8 sables

17 calcaires et crans

27 limons type A4 (ou à la limite A4/A6)

64 argiles de type A6

31 argiles de type A7-6.

A noter que, ni les tourbes, ni les vases n'ont fait l'objet d'études de ce genre.

Les essais d'hydrophilie et de D.A.B. ont été menés sur les sols après détermination des limites et classification H.R.B. (par des opérateurs différents). Ils portent sur des sols prélevés au hasard, suivant les possibilités du service, depuis l'automne 1959. En période de "pointe", aucun essai comparatif n'a pu être entrepris.

- 2) Après avoir obtenu les résultats d'essais sur les sols indiqués, des études de corrélation ont été entreprises, par les méthodes statistiques, entre :

LL et IH

IP et IH

log. IP et IH.

Pour pouvoir valablement faire l'étude par statistique, nous avons admis les hypothèses de base suivantes :

- chaque variable x et y est liée à l'autre par une relation simple linéaire. La connaissance de l'une permet donc de déterminer l'autre ;
- chaque variable est considérée comme gaussienne.

Les conclusions qui suivent postulent ces hypothèses -  
Elles ne sont donc valables que sous cette réserve.

Remarquons néanmoins que les courbes tracées permettent de justifier graphiquement l'existence des corrélations établies statistiquement.

- 3) Dans certains cas, la corrélation graphique entre les deux variables est telle que l'étude statistique paraît inutile. Ainsi :

D.A. kérosène et D.A. benzène.

- 4) Enfin, pour les couples de variables suivantes :

$\frac{f}{I.P.}$  et IH

m.IP et IH

$\overline{m.IP^2}$  et IH ,

la corrélation graphique est comparable à celle observée pour les variables du 2). Bien qu'aucune étude statistique n'ait encore été entreprise sur ces variables, la validité de leur corrélation paraît très probable.

L'ensemble de ces corrélations fait l'objet des graphiques annexés.

./...

VI - CORRELATION entre I.P. et I.H. -

Sous réserve de la validité des hypothèses de base posées ci-dessus, l'étude statistique de la corrélation entre I.P. et I.H. a été entreprise.

1) Cas des sables.

nombre de couples de valeurs : 8 Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} \text{IP} \quad 8,25 \\ \text{IH} \quad 1,14 \end{array} \right.$

si on néglige les valeurs d'IP  $< 5$ , on trouve :

nombre de couples de valeurs : 5 Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} \text{IP} \quad 11,6 \\ \text{IH} \quad 1,24 \end{array} \right.$

Il y a, dans le cas des sables, un décalage systématique : l'indice d'hydrophilie dépendant essentiellement des fines argileuses est relativement fort, tandis que l'indice de plasticité, influencé fortement par la teneur en sable, est relativement faible.

On peut donc admettre que l'I.H. traduit plus fidèlement que l'IP la nocivité des fines d'un sable argileux ou limoneux.

./...

2) Cas des calcaires et crans.

Nombre de couples de valeurs : 17    Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} IP = 10,8 \\ IP = 0,77 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur IP = 1,947

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 2,434$

variance expérimentale sur IP     $s^2 = 6,558$

soit un écart type expérimental     $s \neq 2,56$ , l'accord est valable.

- écart moyen absolu sur IH = 0,10

soit un écart type théorique  $\sigma = 0,125$

variance expérimentale sur IH     $s^2 \neq 0,0148$

soit un écart type expérimental     $s \neq 0,122$ , l'accord est satisfaisant.

- calcul du coefficient de corrélation :

$$r = \frac{\sum \frac{xy}{N} - \bar{xy}}{s_x s_y} \neq 0,30 \quad \underline{\text{la corrélation est très faible.}}$$

$$\text{écart type } z = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}} \neq 0,22$$

Cette corrélation n'est pas significative au seuil de 0,01 car  $t' < t$

$$t' = \frac{z}{\sqrt{1 - r^2}} \neq 1,22 \quad \begin{array}{l} t \text{ lu sur la} \\ \text{table de} \\ \text{STUDENT} \\ \text{seuil } 0,01 = \\ 2,898 \end{array}$$

le  $t'$  calculé correspond en fait à peu près au seuil de 0,20.

./...

- Il a été remarqué que les calcaires donnaient, tant en IH qu'en IP, des valeurs systématiquement faibles (par rapport à LL par exemple). Les réponses données par l'essai d'hydrophilie sont donc optimistes dans le cas des calcaires, et il serait sans doute souhaitable d'apporter une correction soit par un autre essai, soit simplement si le sol réagit à l'acide chlorhydrique. Le cas des calcaires n'est d'ailleurs pas élucidé au point de vue "sol".

3) Cas des limons.

Nombre de couples de valeurs = 27  
Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} IP = 7,6 \\ IH = 0,89 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur IP = 2,44

soit un écart type théorique  $\sqrt{\quad} \neq 3,05$  (e.m.a.  $\neq 0,8 \sqrt{\quad}$ )

Variance expérimentale sur IP  $s^2 \neq 8,8$

soit un écart type expérimental  $s = 2,967$ , l'accord est satisfaisant.

- écart moyen absolu sur IH = 0,087

soit un écart type théorique  $\sqrt{\quad} \neq 0,109$

Variance expérimentale sur IH  $s^2 \neq 0,010$

soit un écart type expérimental  $s \neq 0,10$ , l'accord est satisfaisant.

- calcul du coefficient de corrélation :

$2 \neq 0,10$  Il n'y a pas de corrélation.

écart type  $s^2 \neq 0,19$ .

./...

Il est certain par ailleurs que la détermination des faibles valeurs de IP est délicate ; on pourrait donc admettre valablement que la non corrélation provient de ces valeurs. L'ensemble des calculs a été repris avec les sols d'IP > 5. Les résultats sont les suivants :

Couple de valeurs : 21                      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} IP = 9 \\ IH = 0,91 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur IP = 1,286  
 soit écart type théorique  $\sigma = 1,61$   
 Variance expérimentale sur IP  $s^2 \neq 2,25$   
 soit écart type expérimental  $s = 1,50$  la concordance est valable.
  
- écart moyen absolu sur IH = 0,075  
 soit écart type théorique  $\neq 0,094$   
 Variance expérimentale sur IH  $s^2 = 0,0097$   
 soit écart type expérimental  $s = 0,098$  bonne concordance
  
- calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,22$                       la corrélation est très faible.  
 $s^2 \neq 0,208$

Cette corrélation n'est pas significative, car :

$$t' = \frac{2 \sqrt{N - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \neq 1,00 < t \text{ lu sur la table de STUDENT.}$$

$t_{0,01} = 2,88$

Ce  $t'$  calculé correspond à peine en fait au seuil de 0,30.

./...

4) Cas des argiles type A6.

Nombre de couples de valeurs = 64	Barycentre	{ IP = 12,8
		{ IH = 1,10

- écart moyen absolu sur IP = 1,750

soit un écart type théorique  $\sigma$  2,19 (e.m.a.  $\neq$  0,8  $\sigma$ )

Variance expérimentale sur IP s2  $\neq$  4,756

soit un écart type expérimental s  $\neq$  2,18 la concordance est excellente.

- écart moyen absolu sur IH = 0,081

soit un écart type théorique  $\sigma$   $\neq$  0,10

variance expérimentale sur IH s2  $\neq$  0,0172

soit un écart type expérimental s  $\neq$  0,131 la concordance est valable.

- calcul du coefficient de corrélation.

r  $\neq$  0,90 la corrélation est forte.

écart type s2  $\neq$  0,1035

la corrélation est hautement significative, car :

t' > t t'  $\neq$  17,33

t lu sur la table de STUDENT  
au seuil de 0,01 = 2,576

0,001 = 3,460

./...

- Ajustement à une droite -

À partir de  $r$ ,  $s_x$ ,  $s_y$ , on peut déterminer l'équation de la droite de régression :

Pour les IP compris entre 10 et 20, nous avons :

$$\underline{IH = 0,39 + 0,055 IP}$$

5) Cas des argiles type A7.6.

Nombre de couples de valeurs = 31      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} IP = 33,2 \\ IH = 1,524 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur IP = 9,33

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 11,7$  (e.m.a.  $\neq 0,8\sigma$ )

Variance expérimentale sur IP :  $s^2 \neq 126,61$

soit écart type expérimental  $s = 11,25$ , la concordance est valable.

- écart moyen absolu sur IH = 0,17

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 0,2$

variance expérimentale sur IH =  $s^2 \neq 0,036$

soit un écart type expérimental  $s = 0,191$ , la concordance est bonne.

- calcul du coefficient de corrélation

$r \neq 0,83$       la corrélation est forte.

écart type  $s^2 \neq 0,06$ .

Cette corrélation est hautement significative, car :

$$t' > t \quad t' \neq 8,04$$

t lu sur la table de STUDENT au seuil de 0,01 = 2,75

0,001 = 3,646

- Ajustement à une droite :

A partir de r,  $s_x$ ,  $s_y$ , il est possible de déterminer la droite de régression :

Pour les IP compris entre 20 et 55 (argiles A7.6),

nous avons :

$$\underline{IH = 1,025 + 0,015 IP}$$

6) Cas général.

Nombre de couples de valeurs : 147      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} IP = 15,75 \\ IH = 1,11 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur IP  $\neq 7,6$

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 9,50$  (e.m.s.  $\neq 0,8 \sigma$ )

Variance expérimentale sur IP =  $s^2 \neq 118,65$

soit un écart type expérimental  $s_x \neq 10,86$  (la concordance  $s/\sigma$  est moyenne).

- écart moyen absolu sur IH  $\neq 0,214$

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 0,267$

Variance expérimentale sur IH =  $s^2 \neq 0,0804$

soit un écart type expérimental  $s_y \neq 0,284$  (la concordance est satisfaisante).

./...

- Calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,86$       la corrélation est forte.

écart type       $s^2 \neq 0,021$

la corrélation est hautement significative, car  $t' > t$

$t' \neq 20,3$        $t$  lu sur la table de STUDENT

seuil 0,01 = 2,576

0,001 = 3,460

- Ajustement à une droite.

A partir de  $r$ ,  $s_x$ ,  $s_y$ , on peut déterminer l'équation de la droite de régression, bien que la courbe la plus probablement représentative ait une allure parabolique.

$$\underline{\underline{IH = 0,765 + 0,022 IP}}$$

Cette droite paraît trop optimiste pour les  $IP < 10$  (bien qu'elle tienne compte des limons et des sables assez exactement) et les  $IP > 35$ .

Elle est trop pessimiste dans l'intervalle  $10 < IP < 35$ .

Nous pensons qu'une représentation parabolique est plus conforme à la réalité, sauf peut être pour les  $IP$  très faibles.

./...

# RELATION ENTRE LP et LH

Indice de Plasticité

LP  
20  
20

0,5

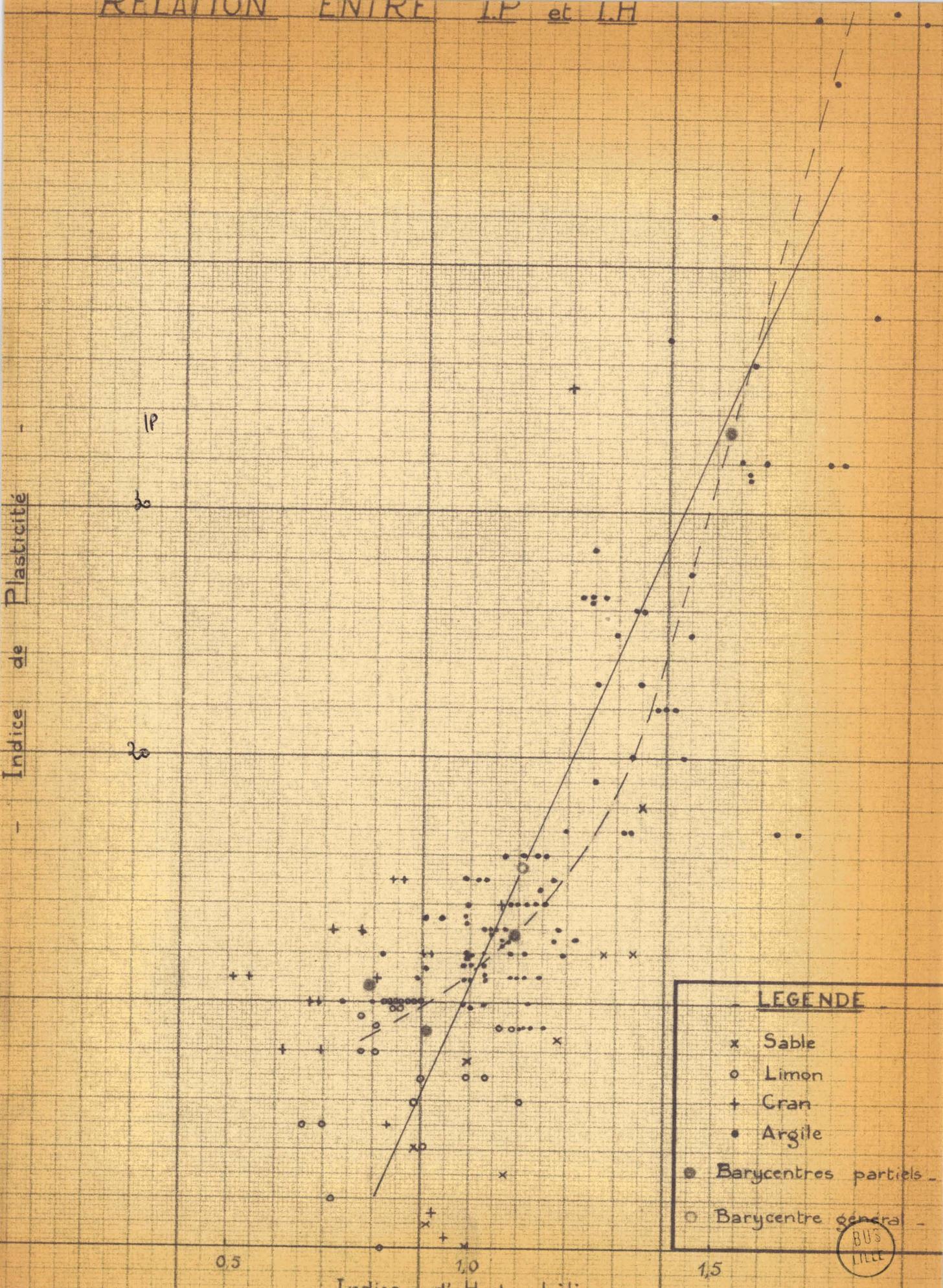
1,0

1,5

Indice de Liquidité

## LEGENDE

- x Sable
- o Limon
- + Gran
- Argile
- Barycentres partiels
- Barycentre général



CORRELATION entre LL et IH -

Nous allons examiner rapidement les diverses classes de sols, puis le cas général.

1) Sables.

Nombre de couples de valeurs = 8      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} LL = 26,6 \\ IH = 1,14 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur LL = 6,875

soit un écart type théorique  $\sigma = 8,592$  (e.m.a  $\neq 0,8\sigma$ )

Variance expérimentale sur LL  $s^2 \neq 67,326$

soit un écart type expérimental  $s \neq 8,20$  ; l'accord est valable.

- écart moyen absolu sur IH = 0,16

soit un écart type théorique  $\sigma = 0,2$

variance expérimentale sur IH  $s^2 \neq 0,034$

soit un écart type expérimental  $s \neq 0,184$  ; l'accord est valable.

- calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,50$  ; la corrélation est moyenne.

écart type  $s^2 \neq 0,26$

Cette corrélation est significative au seuil de 0,10

car  $t' = 1,63$        $t_{lu} 0,01 = 2,75$

$t_{lu} 0,10 = 1,73$

Elle n'est pas significative au seuil de 0,01.

./...

- Ajustement à une droite :

L'équation de régression est donnée à titre indicatif,  
étant donné le petit nombre de mesures :

$$IH = 0,847 + 0,011 LL$$

2) Calcaires et crans.

Nombre de couples de valeurs = 17      Barycentre  $\begin{cases} LL = 27,4 \\ IH = 0,77 \end{cases}$

- écart moyen absolu sur LL = 2,46

soit un écart type théorique  $\sigma = 3,075$  (e.m.a.  $\neq 0,8 \sigma$ )

Variance expérimentale sur LL s2  $\neq 9,717$

soit un écart type expérimental s  $\neq 3,117$  ; l'accord est satisfaisant.

- écart moyen absolu sur IH = 0,10

soit un écart type théorique  $\sigma = 0,125$

variance expérimentale sur IH s2  $\neq 0,0148$

soit un écart type expérimental s  $\neq 0,122$  ; l'accord est satisfaisant.

- calcul du coefficient de corrélation :

r  $\neq 0,06$       Il n'y a pas de corrélation.

./...

3) Limons.

Nombre de couples de valeurs = 27      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} LL = 25,8 \\ IH = 0,89 \end{array} \right.$

- écart moyen absolu sur LL  $\neq 2,459$   
 soit un écart type théorique  $\sigma \neq 3,074$  (e.m.a.  $\neq 0,8\sigma$ )  
 variance expérimentale sur LL  $s^2 \neq 9,537$   
 soit un écart type expérimental  $s \neq 3,09$  ; l'accord est excellent.

- écart moyen absolu sur IH = 0,087  
 soit un écart type théorique  $\sigma \neq 0,109$   
 variance expérimentale sur IH  $s^2 \neq 0,010$   
 soit un écart type expérimental  $s \neq 0,10$  ; l'accord est satisfaisant.

- calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,476$  la corrélation est faible.

écart type  $s^2 \neq 0,15$ .

La corrélation n'est significative qu'au seuil de 0,05 :

$t' \neq 2,705$        $t$  lu sur la table de STUDENT au seuil 0,01 = 2,78.

- Ajustement à une droite :

A partir de  $r, s_x, s_y$ , on peut déterminer l'équation de la droite de régression :

$IH = 0,503 + 0,015 LL$

Cette formule est valable pour les LL compris entre 20 et 30.

./...

4) Argiles type A6.

Nombre de couples de valeurs : 64	Barycentre	{ LL 31,45
		{ IH 1,10

- écart moyen absolu sur LL = 2,50

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 3,125$  (e.m.a.  $\neq 0,8 \sigma$ )

variance expérimentale sur LL  $s^2 \neq 9,428$

soit un écart type expérimental  $s \neq 3,07$  ; la concordance est excellente.

- écart moyen absolu sur IH = 0,081

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 0,101$

variance expérimentale sur IH  $s^2 \neq 0,0172$

soit un écart type expérimental  $s \neq 0,131$  ; la concordance est valable.

- calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,80$  la corrélation est moyenne à forte.

écart type  $s^2 \neq 0,045$

Cette corrélation est significative car  $t' > t$

$t' \neq 10,49$

t lu sur la table de STUDENT  
au seuil de 0,01 = 2,576  
0,001 = 3,460.

- Ajustement à une droite :

A partir de r,  $s_x$ ,  $s_y$ , on peut déterminer l'équation de la droite de régression.

$$\underline{\underline{IH = 0,03 + 0,034 LL}}$$

Cette formule est valable pour les LL compris entre 30 et 40.

./...

5) Argiles type A7.6.

Nombre de couples de valeurs : 31      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} \text{LL} = 59 \\ \text{IH} = 1,524 \end{array} \right.$

- Ecart moyen absolu sur LL = 12,05

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 15,06$  (e.m.a.  $\neq 0,8 \sigma$ )

variance expérimentale sur LL  $s^2 \neq 217,31$

soit un écart type expérimental  $s \neq 14,74$  ; la concordance est valable.

- Ecart moyen absolu sur IH : 0,17

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 0,20$

variance expérimentale sur IH  $s^2 \neq 0,036$

soit un écart type expérimental  $s \neq 0,191$  ; la concordance est valable.

- Calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,92$       la corrélation est très forte.

écart type  $s^2 \neq 0,26$

La corrélation est significative car  $t' > t$

$t' \neq 38$        $t'$  lu sur la table de STUDENT  
au seuil de 0,01 = 2,75  
0,001 = 3,646

- Ajustement à une droite :

A partir de  $r$ ,  $s_x$ ,  $s_y$ , on peut déterminer l'équation de la droite de régression :

$$\underline{\underline{IM = 0,816 + 0,012 LL}}$$

Cette formule est valable pour les LL compris entre 40 et 90.

6) Cas Général.

Nombre de couples de valeurs = 147      Barycentre  $\left\{ \begin{array}{l} \text{LL} \quad 35,6 \\ \text{IH} \quad 1,11 \end{array} \right.$

- Ecart moyen absolu sur LL  $\neq 10,2$

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 12,75$  (e.m.s.  $\neq 0,8 \sigma$ )

Variance expérimentale sur LL :  $s^2 \neq 207,69$

soit un écart type expérimental  $s_x \neq 14,38$  (concordance  $s/\sigma$  moyenne)

- Ecart moyen absolu sur IH  $\neq 0,214$

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 0,267$

Variance expérimentale sur IH :  $s^2 \neq 0,0804$

soit un écart type expérimental  $s_y \neq 0,284$  (concordance satisfaisante)

- Calcul du coefficient de corrélation :

$r \neq 0,90$  la corrélation est forte.

La corrélation générale est légèrement meilleure que pour IP, à cause des sables et calcaires.

écart type  $s^2 \neq 0,0157$

La corrélation est hautement significative car  $t' > t$ .

$t' \neq 25,20$

$t$  lu sur la table de STUDENT  
au seuil 0,01 = 2,576  
0,001 = 3,460.

- Ajustement à une droite :

A partir de  $r, s_x, s_y$ , on peut déterminer l'équation de la droite de régression :

$$\text{IH} = 0,505 + 0,017 \text{ LL}$$

La même réserve peut être faite que celle faite pour IP, à savoir que la représentation la plus probable n'est pas linéaire, mais parabolique.

/...

# RELATION ENTRE LL et I.H

- Limite de Liquidite -

LL

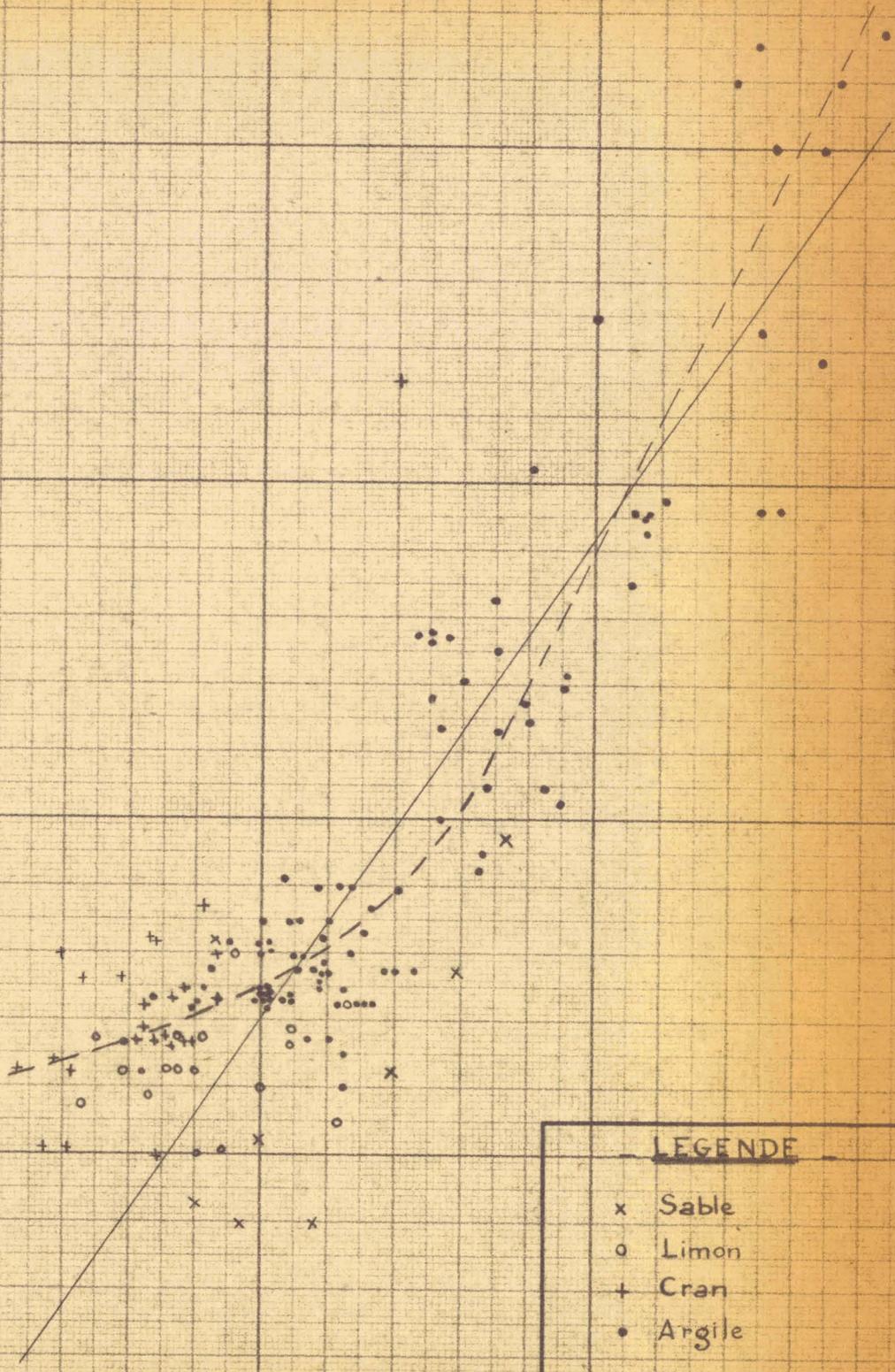
60

40

0.5

1.0

1.5



**LEGENDE**

- x Sable
- o Limon
- + Cran
- Argile



- écart moyen absolu sur log. IP  $\neq$  0,183  
soit un écart type théorique  $\sigma \neq$  0,229 (e.m.a.  $\neq$  0,8  $\sigma$ )  
Variance expérimentale sur log. IP s2  $\neq$  0,066  
soit un écart type expérimental s  $\neq$  0,258 ;  
l'accord est valable.

- écart moyen absolu sur IH  $\neq$  0,215  
soit un écart type théorique  $\sigma \neq$  0,269  
variance expérimentale sur IH s2  $\neq$  0,0853  
soit un écart type expérimental s  $\neq$  0,292 ; l'accord est valable.

- Calcul du coefficient de corrélation :

$$r \neq 0,80$$

la corrélation est forte.

$$\text{écart type s2} \neq 0,031$$

la corrélation est hautement significative, car :

$$t' \neq 15,34 \quad \text{et} \quad t' > t$$

t lu sur la table de STUDENT  
au seuil de 0,01 = 2,576  
0,001 = 3,460

./...

- Ajustement à une droite :

A partir de  $r$ ,  $s_x$  et  $s_y$ , on peut calculer la droite de régression.

$$\underline{IH = 0,110 + 0,89 \log. IP}$$

L'examen de chaque groupe de sols montre que cette relation est très satisfaisante pour les A6 et les A7.6, moins pour les A4.

Comme indiqué dans le chapitre "corrélation IP - IH", les sables s'écartent de la règle ci-dessus, l'activité des fines argileuses influant sur IH, tandis que l'IP est davantage influencé par le sable inerte.

De même, les calcaires et creus ont des IH plus faibles que ne le laisseraient supposer les I.P. L'identification de ces calcaires par un essai à la touche (à HCl par exemple) serait souhaitable.

Il semble néanmoins que dans la plupart des cas, la formule simplifiée suivante permette de passer rapidement et valablement de l'indice d'hydrophilie à l'indice de plasticité.

$$\underline{IH = 0,1 + 0,9 \log. IP}$$

ou même  $\log. IP \neq IH$ . Nous disposons ainsi d'un essai rapide et simple permettant une identification approchée.

N'ayant jamais obtenu d' $IH > 2,0$ , nous proposons de n'utiliser cette formule que jusqu'à cette limite jusqu'à nouvel ordre.

./...

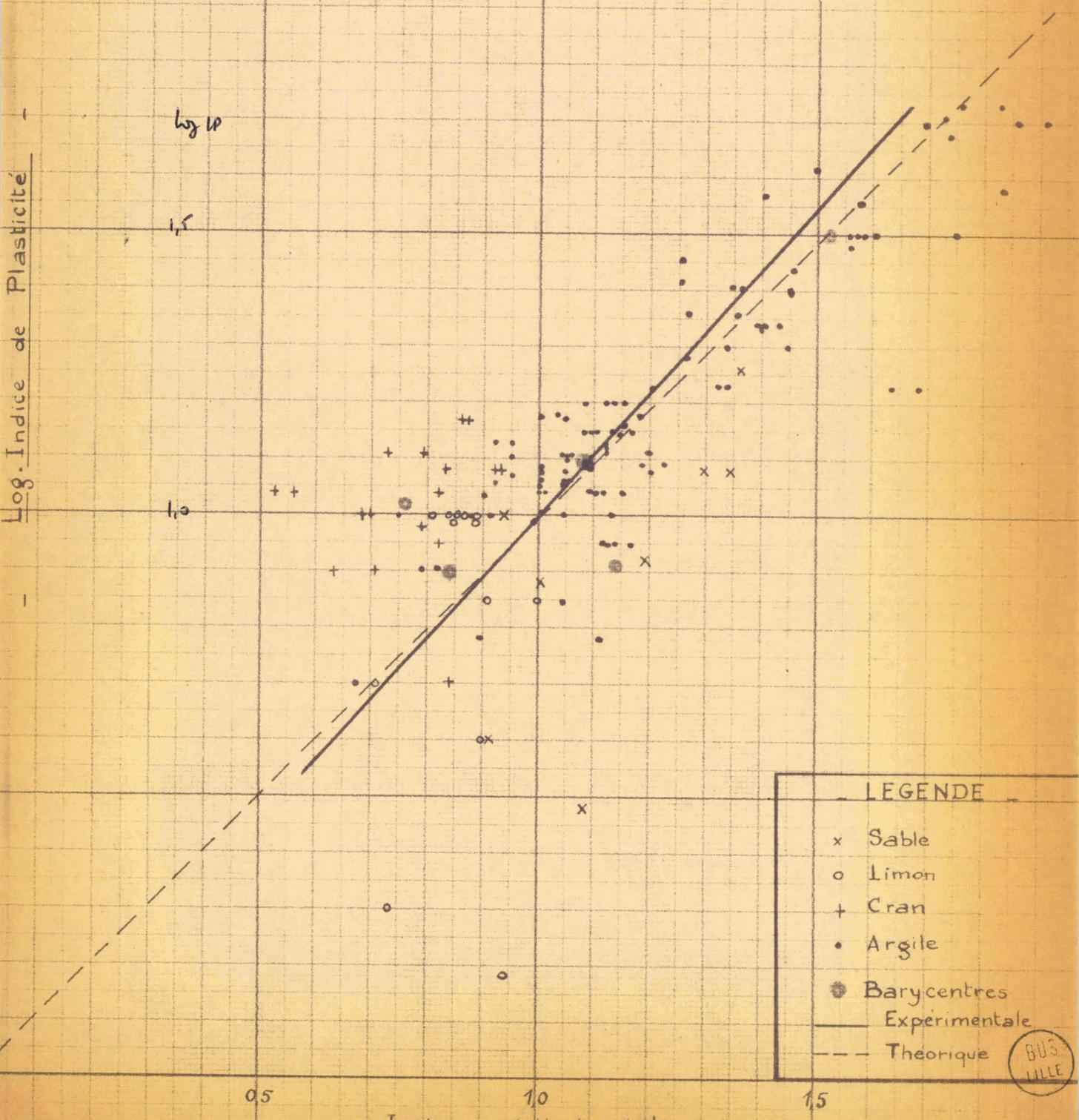
RELATION ENTRE Log LP et LH

Log. Indice de Plasticité

Log LP

1,5

1,0



LEGENDE

- x Sable
- o Limon
- + Cran
- Argile
- Barycentres
- Experimentale
- - - Theorique

BUS LILLE

IX - AUTRES CORRELATIONS :

1) D.A. pétrole et DA benzène :

La corrélation est évidente d'après le graphique, bien que le comportement des diverses catégories de sols apparaisse légèrement différent.

Les fillers et les calcaires se placent bien à 45°, c'est-à-dire que les DAp et DAB sont identiques.

Les sables donnent des valeurs plus élevées dans le pétrole.

Les limons et argiles s'écartent de la droite à 45° pour des DA  $\neq$  0,80 ; les valeurs pétrole étant ensuite systématiquement plus fortes que les valeurs benzène.

Ces divergences s'expliquent de deux manières différentes :

- les constantes diélectriques des liquides sont probablement différentes, et l'influence de la température sur ces constantes n'est pas identique ;
- les poids de matériau et les capacités des éprouvettes (donc la valeur des divisions) ne sont pas les mêmes pour l'essai au pétrole et celui au benzène.

Il n'en reste pas moins que la corrélation est très élevée. On pourrait donc, le cas échéant, remplacer un liquide par l'autre pour mieux normaliser l'essai.

2) m IP ou m  $\frac{IP^2}{IP}$  et IH -

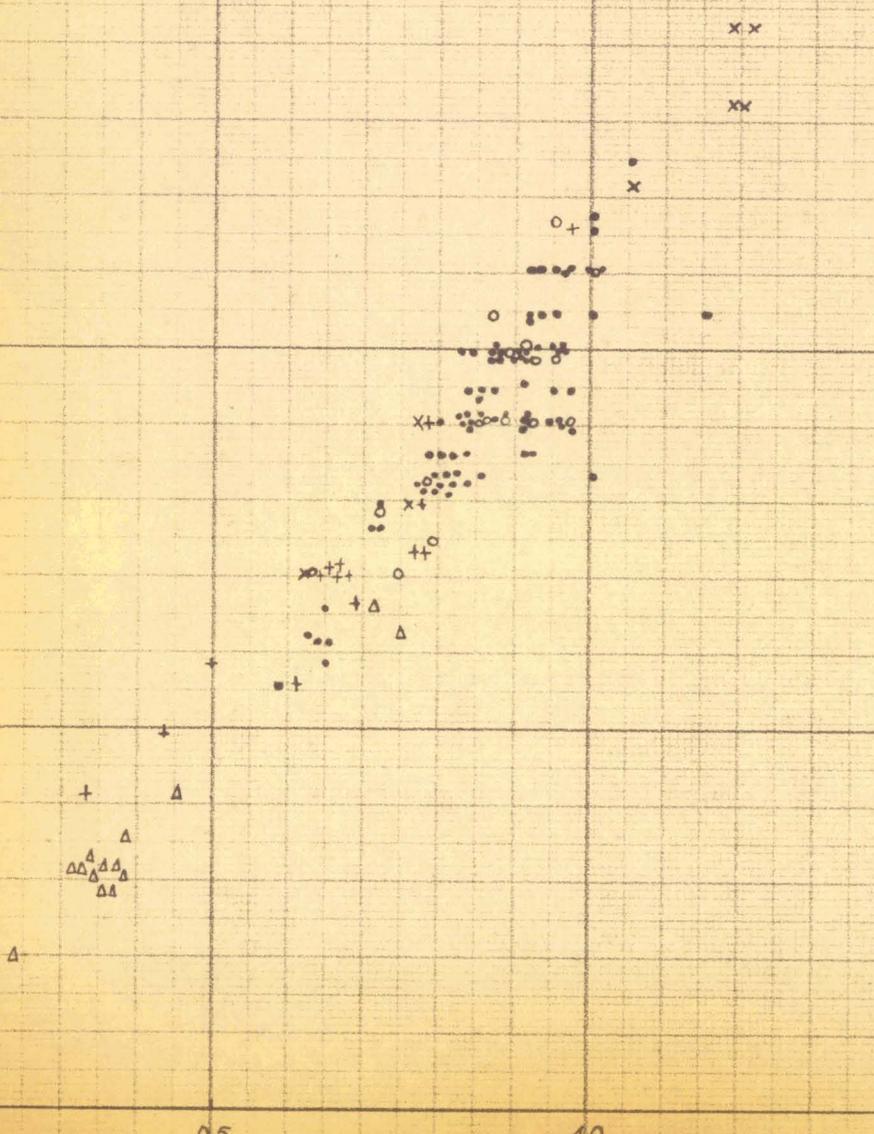
Il nous a paru d'emblée que la caractérisation d'un sol par LL ou IP ne représentait qu'une première approximation, la quantité du mortier présent dans le sol intervenant par ailleurs. La méthode des indices de groupes procède de la même constatation.

Or, pour chaque sol, nous connaissons le passant à 0,42 mm. Il nous a donc paru intéressant, et dans le même esprit que l'on définit un coefficient d'activité d'un sable en fonction de son E.S. et de sa teneur en fines, de tenir compte à la fois de IP et du  $\phi$  de mortier. Ceci nous a conduit aux représentations graphiques suivantes.

./...

# RELATION ENTRE DA PETROLE et DA BENZENE

- D.A. Petrole -



- LEGENDE -

- x Sable
- o Limon
- + Cran
- Argile
- Δ Filler



m. IP et IH -

L'allure de cette représentation graphique est très voisine de celle IP en  $\varphi$  (IH). La dispersion dans la zone des faibles plasticités est peut être un peu moindre.

Bien que le terme m. IP paraisse intéressant, il ne semble donc rien apporter d'essentiel par rapport au terme IP seul. Nous avons alors, en AVRIL 1961, eu connaissance du "facteur de qualité" m.  $\overline{IP^2}$  de FENZY du Laboratoire d'ALGER (Routes, N° 351).

m.  $\overline{IP^2}$  et IH -

FENZY classe les sols en fonction du terme m.  $\overline{IP^2}$  :

;	;	;	2	;
;	Groupe	Nature du sol	m. IP	;
;	;	;	;	;
;	1	Non plastique.	< 500	;
;	2	Faiblement plastique.	500 à 3.500	;
;	3	Assez plastique.	3.500 à 6.000	;
;	4	Sols limono argileux.	6.000 à 15.000	;
;	5	Sols argileux.	15.000 à 60.000	;
;	6	Très argileux.	> 60.000	;
;	;	;	;	;

Nous avons porté sur un même graphique IH en fonction de m.  $\overline{IP^2}$ . Ce dernier terme allant de  $\leq 1.000$  à  $> 200.000$  ; nous avons adopté pour sa représentation une échelle logarithmique, gardant une échelle arithmétique pour IH.

Dans ces conditions, il y a une bonne corrélation graphique entre les deux termes.

Pour des IH compris entre 0,5 et 1,0, nous retrouvons les sols classés par FENZY en 1, 2 et 3, c'est-à-dire les limons, sables et crans.

m. Indice de Plasticité

m.P

3000

2000

0,5

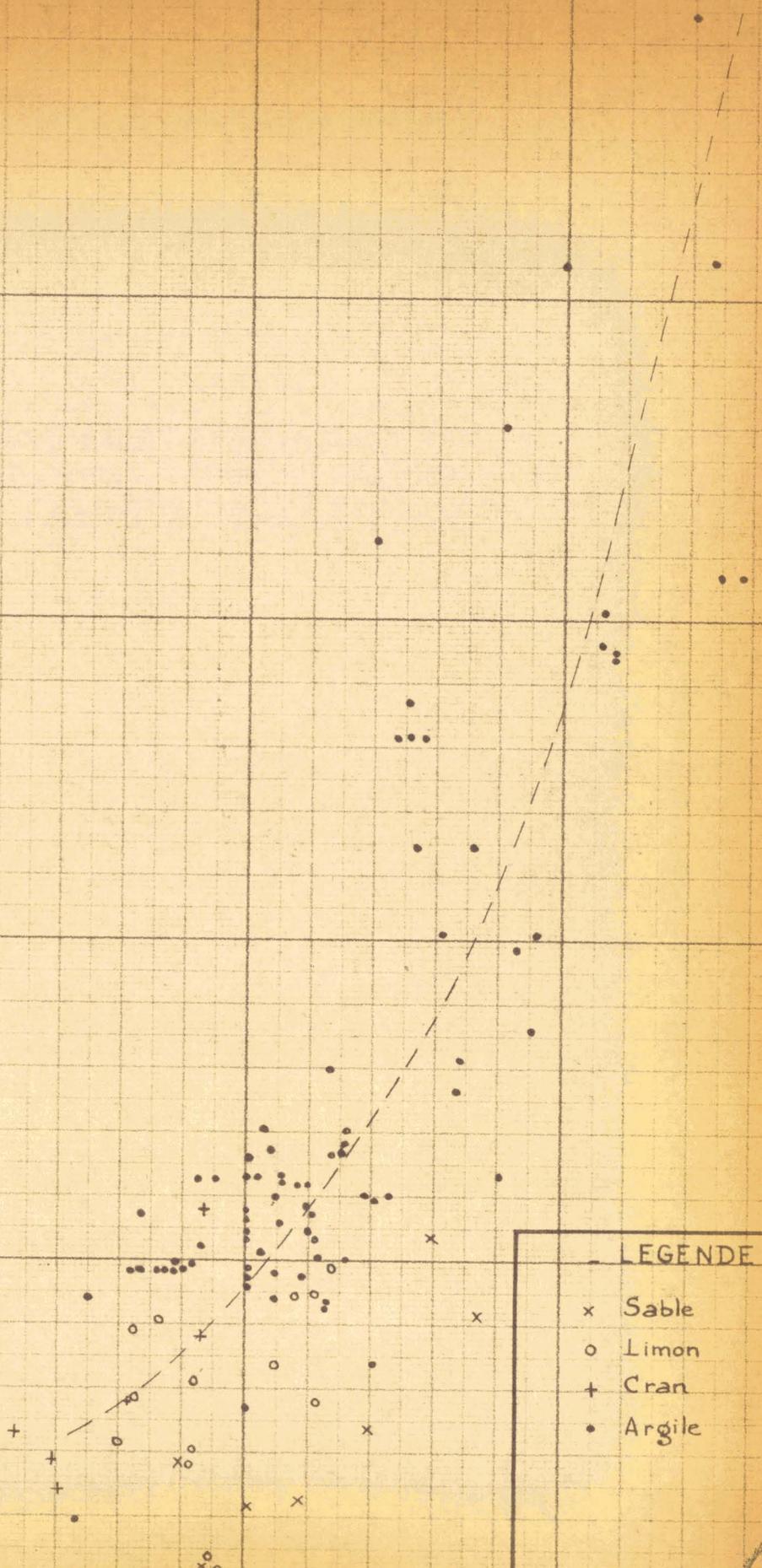
1,0

1,5

Indice d'Hydratation

LEGENDE

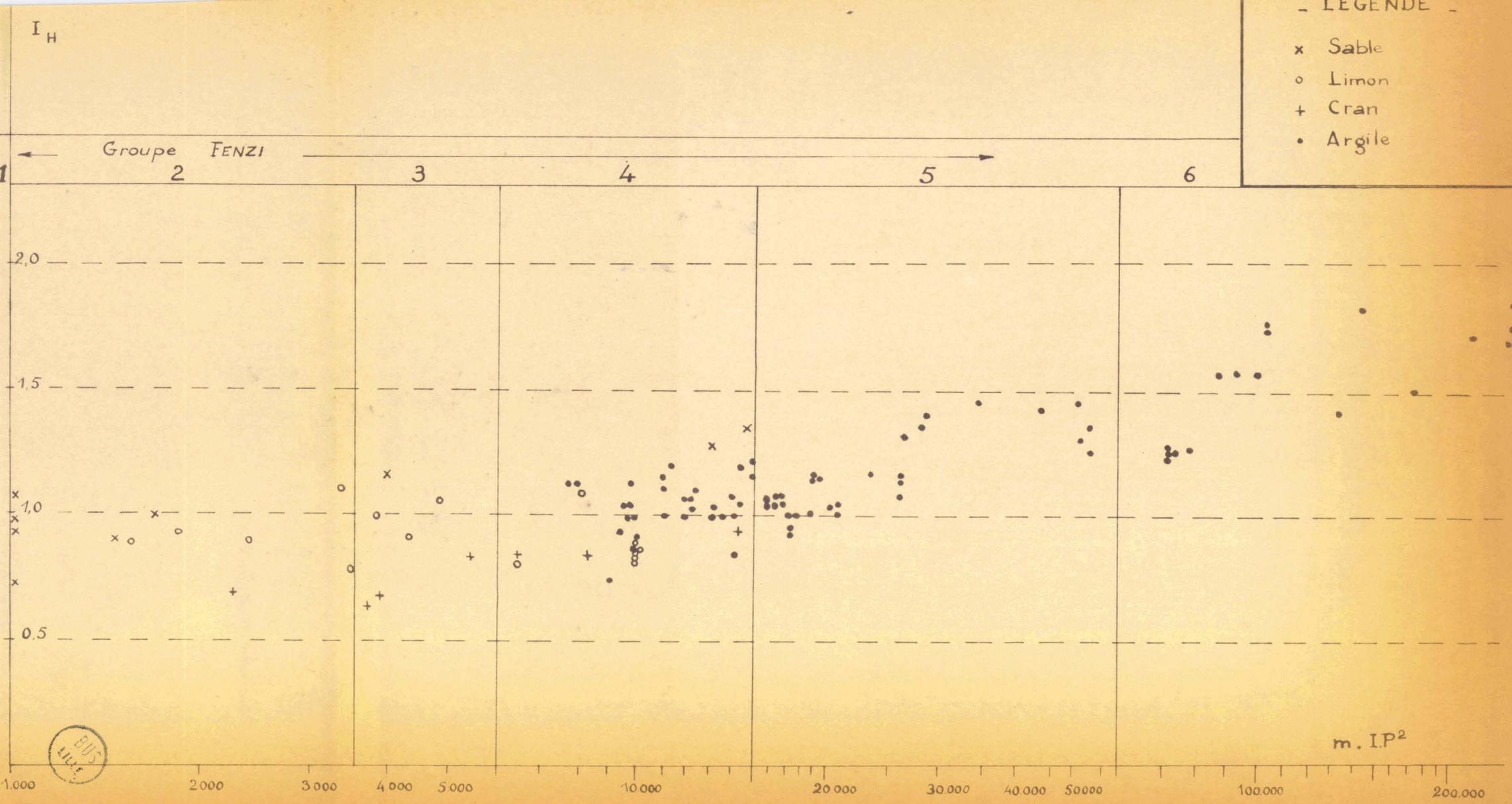
- x Sable
- o Limon
- + Cran
- Argile



# RELATION ENTRE $m.IP^2$ et $I.H$

- LEGENDE -

- x Sable
- o Limon
- + Cran
- Argile



Les sols limono-argileux du groupe 4 de FENZY se trouvent compris entre IH : 0,8 et 1,2.

Les sols argileux du groupe 5 ont des IH compris de 1,0 à 1,5.

Les sols très argileux tendent à être au-dessus de 1,5.

Il est à remarquer par ailleurs qu'il s'agit de sols différents algériens d'une part et picards d'autre part. C'est ainsi que notre expérience locale donnerait plutôt comme limite inférieure aux sols limono-argileux la valeur  $m. IP^2 = 10.000$ , les valeurs plus faibles concernant les limons vrais, les calcaires et sables.

Il n'en reste pas moins vrai que les conclusions se rejoignent.

### 3) IH et f/IP -

Dans le même esprit que pour  $m. IP$  et  $m. IP^2$ , nous avons fait une autre remarque : l'indice d'hydrophilie est effectué sur le mortier, c'est-à-dire sur la fraction inférieure à 0,42 mm, et servant aux limites d'ATTERBERG.

Il nous a semblé que le % de fines ( $< 0,08$  mm) contenues dans ce mortier devait avoir une influence directe sur la plasticité, ce que l'IH pouvait mettre en évidence. A pourcentage relatif identique de fines, IH devait varier dans le même sens que IP.

La représentation graphique  $f/IP = \psi(IH)$  justifie pleinement cette hypothèse. Nous avons une corrélation certaine entre les deux termes, l'allure de la courbe étant par ailleurs assez nettement exponentielle.

On peut remarquer que les sables s'intègrent très bien aux argiles et aux limons, les écarts les plus importants étant encore dus aux calcaires, dont la granulométrie est toujours incertaine. La dispersion des limons paraît, par contre, assez sensiblement réduite.

Il paraît donc possible, par IH et un passant à 80 microns, de définir assez exactement IP quel que soit le matériau. Nous avons, par ailleurs, une relation entre plasticité et granulométrie.

$f = \frac{0,08}{0,42} \%$

I.P

$f/lp$

Indice de Plasticité

15

10

LEGENDE

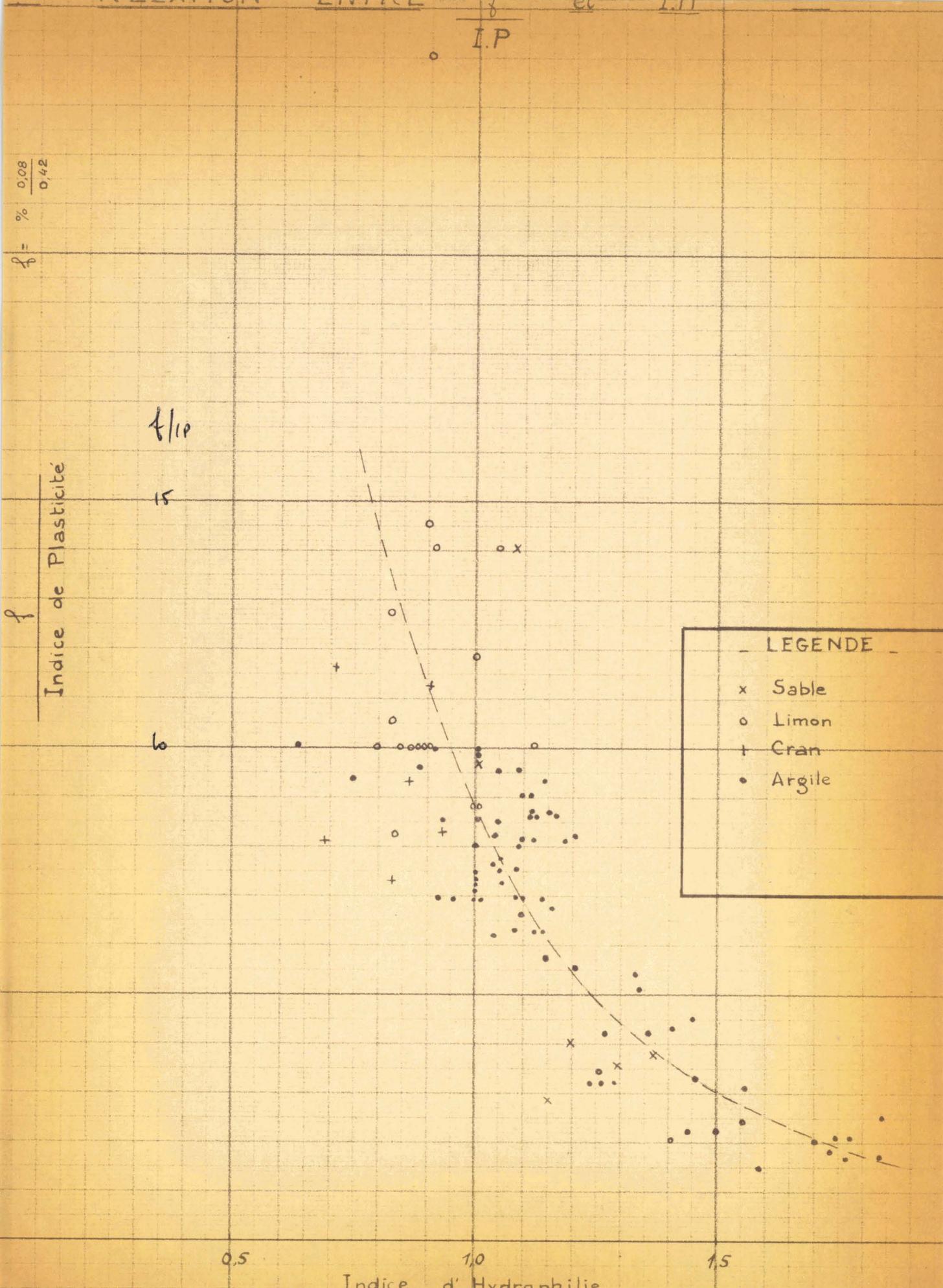
- x Sable
- o Limon
- + Cran
- Argile

0,5

1,0

1,5

Indice d'Hydrophilie



X - ETUDE EXPERIMENTALE de la DISPERSION -

Nous reconnaissons volontiers avoir mené ce travail au départ, davantage par besoin de vérifier une éventuelle corrélation que sur une hypothèse théorique précise.

L'influence de divers facteurs sur les résultats n'a été mise en évidence que progressivement. Le but de cette étude complémentaire sommaire est de permettre d'en apprécier l'importance.

Les facteurs étudiés ci-après sont :

- dispersion propre des limites d'ATTERBERG ;
- influence du type des éprouvettes graduées ;
- influence de la nature du pétrole ;
- influence du poids de la prise d'essai ;
- influence du temps de sédimentation ;
- influence de la granulométrie et du mode de préparation du sol ;
- influence de la structure "fine" du sol.

Les résultats provenant de ces essais complémentaires n'ont pas été portés sur les graphiques.

1) Dispersion des limites d'ATTERBERG.

Quatre sols avaient été conservés en vue de l'étude de ces facteurs :

- une argile violacée très plastique type A7.6
- trois argiles + limoneuses, d'origine crayeuse, à la limite des A4 et des A6.

Trois de ces matériaux ont effectivement servi ensuite.

Sur ces quatre sols, quatre opérateurs différents ont effectué les limites d'ATTERBERG.

Sol	Opérateur	L.L.	L.P.	I.P.	Dispersion	I.P.
1	A	28,5	21	7,5	moy. : 9 + 1	
	B	29,5	19,5	10		
	C	26	16	10		
	D	28	20	8		
2	A	28,5	19,5	9	moy. : 9,5 + 1,5	
	B	30	18	12		
	C	25	16	9		
	D	28	20	8		
3	A	33,5	23,5	10	moy. : 12 + 2	
	B	33,5	21,5	12		
	C	34	19	15		
	D	34	22	12		
4	A	60	27	33	moy. : 29 + 4	
	B	51	26	25		
	C	53	24	29		

Comme prévu et annoncé chapitre "Calcul d'erreurs théoriques", d'une part, la dispersion sur IP trouvée expérimentalement est plus élevée que celle calculée ; d'autre part, la dispersion croît avec la valeur d'IP.

Il semble qu'on puisse la chiffrer raisonnablement à 10 % au moins.

2) Influence du type d'éprouvettes.

Trois types d'éprouvettes ont été employés :

- 250 ml au 1/5, comme décrit dans le mode opératoire ; non bouchée ;

- 25 ml au 1/2,	hauteur totale	15,0 cm
	diamètre extérieur	2,1 cm
	diamètre intérieur	1,8
	graduation	0,5 ml

non bouchée.

- "émeri" 50 ml,	hauteur totale	20,5 cm
	diamètre extérieur	3,0 cm
	diamètre intérieur	2,6 cm
	graduation	1 ml

bouchée émeri.

Ces éprouvettes ont toujours été semblables pour l'essai à l'eau et l'essai au pétrole. Les résultats d'hydrophilie n'auraient donc pas dû être différents d'un type d'éprouvette à un autre.

Le tableau ci-après rassemble les résultats. Aucun essai n'a été réalisé sur le sol 2, trop voisin du sol 1.

./...

Sol	250 ml au 1/5	25 ml	émeri	
1	0,87	0,86	0,76	Prise de 5 g
	0,94	0,85	0,98	Prise de 10 g
3	0,98	0,88	0,97	5 gr
	0,96		1,00	-
	0,96	1,00	1,00	-
	0,94		1,00	10 gr
4	1,38	1,53	1,46	5 gr
	1,43	1,47	1,50	
	1,48		1,43	
	1,44		1,50	
	1,43		1,44	
	1,49		1,40	
	1,40		1,43	
	1,44		1,43	
	1,49		1,43	
	1,48			
	1,48			
	1,47			
1,47				

Il y a certes de la dispersion, tant d'une éprouvette à une autre, que pour une même éprouvette. Cette dispersion nous semble, due essentiellement :

- à l'erreur de pesée initiale différente sur la prise pour l'eau et celle pour le pétrole ;
- à la nature du sol, ceci étant particulièrement valable pour le sol 4, argile bigarrée, dont les grains même fins, sont de nature variable.

Il n'en reste pas moins vrai qu'il semble rationnel d'uniformiser le type d'éprouvette employée. Le modèle 250 ml gradué en 1/5 ml paraît convenir.

Remarquons encore que chaque mesure a été comptabilisée dans le tableau, alors que l'I.H normal proviendrait de la moyenne de 3 mesures.

3) Influence de la nature du pétrole.

Des essais ont été menés d'une part avec le pétrole ayant servi à l'ensemble des déterminations initiales, d'autre part, avec un nouveau pétrole. Les résultats ont été groupés dans le tableau ci-dessous.

L'ancien pétrole est indiqué entre parenthèses - prises de 5 gr.

Sol	50 ml au 1/5	25 ml	émeri
3	0,98	0,88	0,97
	0,96		1,00
	0,96		1,00
	(1,04)	(1,03)	(1,08)
4	1,38	1,53	1,46
	(1,42)	(1,54)	1,50
			1,43
			1,50
			1,44
			1,40
			1,43
			1,43
			1,43
			(1,50)

Il semble y avoir peu de différence significative entre les deux pétroles, bien que l'écart - faible - paraisse systématique.

./...

4) Influence du poids de la prise d'essai.

Trois poids différents ont été utilisés : 5 gr, 10 gr, 20 gr, dans les mêmes éprouvettes. Les résultats sont indiqués ci-dessous :

Sol	750 ml au 1/5	25 ml	émeri	poids
1	0,87	0,86	0,76	5 gr.
	0,94	0,85	0,98	10 gr.
	0,88			20 gr.
3	0,98	0,88	0,97	5 gr.
	0,94	1,00	1,00	10 gr.
	0,93			20 gr.
4	1,38			5 gr.
	1,68			10 gr.

Comme on pouvait le prévoir, l'influence du poids est d'autant plus sensible que le matériau examiné est plastique. On a certainement avantage à employer, pour un volume donné de liquide, un poids suffisamment important pour réduire les erreurs relatives, mais suffisamment faible pour que la dispersion dans le liquide se fasse dans de bonnes conditions.

Il était intéressant de suivre l'évolution des D.A. dans l'eau et le pétrole en fonction du poids de prise. Les résultats sont très sensiblement homogènes pour un poids donné, mais diminuent en fonction de l'importance de la prise. Il semble donc bien que la prise de 5 gr. de sol soit suffisante.

Par contre, la relation entre LL ou IP et DA eau s'est révélée moins intéressante que celle avec IH, bien qu'ayant la même forme parabolique, mais inversée.

1	D.A. eau			D.A. pétrole			Poids						
	250 ml	25 ml	émeri	250 ml	25 ml	émeri							
	0,83	0,81	0,83	0,73	0,70	0,64	5						
	0,83	0,91	0,83	0,78	0,77	0,86	10						
	1,02			0,89			20						
3	0,83	0,89	0,83	0,81	0,78	0,83	5						
	0,83	0,86	0,80	0,80	0,86	0,81							
	0,82		0,83	0,80		0,80							
	(0,89)	(0,84)	(0,77)	(0,93)	(0,86)	(0,83)							
	0,98		0,83	0,93		0,83	10						
	1,03			0,97			20						
3	0,91	0,91		0,83	0,86		5						
P	0,86	0,86		0,83	0,83								
RIE)	0,89	0,86		0,86	0,83								
	0,88	0,91		0,85	0,86								
	0,88			0,85									
	0,57	0,54	0,50	0,50	0,48	0,48	0,77	0,77	0,71	0,71	0,71	0,74	5
	0,54	0,53	0,50	0,51	0,50	0,51	0,78	0,76	0,71	0,71	0,71	0,72	
	0,53	0,52					0,78	0,75					
	0,52		0,53		0,55		0,78		0,77		0,71		
	(0,57)		(0,50)		(0,50)		(0,81)		(0,77)		(0,77)		
	0,54		0,49		0,53		0,91		0,85		0,77		10

./...

5) Influence du temps de sédimentation.

Il semble certain que le temps initialement respecté de 24 h. minimum soit toujours largement suffisant.

Déjà, à 12 h., pour la plupart des sols, la sédimentation a atteint sa valeur définitive ainsi qu'en témoignent les résultats suivants :

Sol		12 h.	24 h.	éprouvette
N° 1	5 gr.	0,86	0,87	150 ml 1/5
		0,85	0,86	25 ml
		0,75	0,76	émeri
	10 gr.	0,94	0,83	150 ml
		0,85	0,85	25 ml
		1,00	0,98	émeri
	20 gr.	0,86	0,88	150 ml
		=====		
		N° 3	5 gr.	0,97
0,86	0,88			25 ml
1,00	0,97			émeri
10 gr.	0,94	0,94	150 ml	
	1,00	1,00	25 ml	
	0,93	1,00	émeri	
20 gr.	0,93	0,93	150 ml	
	=====			
	N° 4	5 gr.	1,35	1,38
1,47			1,53	25 ml
1,29			1,46	émeri
1,50			1,50	
1,43			1,43	
1,50			1,50	

./...

Sol	12 h.	24 h.	éprouvette
N° 4 (suite) 5 gr.	1,44	1,44	
	1,40	1,40	
	1,43	1,43	
	1,43	1,43	
	1,43	1,43	
10 gr.	1,60	1,68	250 ml

6) Influence de la granulométrie et du mode de préparation du sol.

Le matériau séché à une température  $\leq 110^\circ$  est ensuite concassé au mortier et passé à sec au tamis de 0,5 jusqu'à absence de refus. Il y a recyclage des matériaux autant de fois que nécessaire.

La poudre obtenue est mélangée à la spatule avant la prise.

Pour voir si ce concassage avait de l'importance, on a mené en parallèle deux séries d'essais sur le sol 4 (A.7.6) en procédant comme ci-dessus pour une fraction, et en concassant seulement à 2 mm pour l'autre. Les différences sont sensibles comme en témoigne le tableau ci-après.

Ces différences ne proviennent pas du gonflement dans l'eau : les D.A. eau sont constantes mais des D.A. pétrole qui dépendent de l'état de division du matériau. Le temps de gonflement est plus long pour les "gros".

Fin		gros	
I.H.	D.A. eau	I.H.	D.A. eau
		12 h.	24 h.
1,43	0,54	1,42	1,60
1,48	0,53	1,37	1,54
1,44	0,53	1,42	1,58
1,43	0,54	1,44	1,56
1,49	0,53	1,48	1,60
1,40	0,53	1,49	1,59
1,44	0,53		
1,49	0,53		
1,48	0,54		
1,48	0,54		
1,47	0,53		
1,47	0,53		

En fait, ce problème de concassage ne se pose que pour les argiles plastiques, les argiles limoneuses ; les limons passent assez rapidement à 0,5 mm ~~mm~~. Il est indispensable de maintenir cette dimension comme valeur maxima des grains.

7) Influence de la structure du sol.

Un essai a été mené sur trois prises différentes du même échantillon de sol, chaque prise étant soumise aux essais de préparation à 0,42 par voie humide, puis décantation et séchage, enfin broyage et tamisage à 0,50.

La première prise a donné	:	0,92	0,92	0,94
La deuxième	:	0,97	1,00	1,00
La troisième	:	0,95	0,97	0,97.

La faible dispersion de chaque série laisse supposer que la dispersion entre séries provient de légères différences de la structure même du sol, ceci ne constituant qu'une hypothèse.

./...

## C O N C L U S I O N S

---

Essai intrinsèque (et non "manuel" comme les limites), ne demandant qu'un matériel réduit, et de faibles quantités de sol, rapide et commode, pouvant donc être employé sur chantier, tel est l'indice d'hydrophilie des sols.

Il demande encore une justification théorique qui semble être d'ordre diélectrique. Il peut n'être valable - quant aux courbes expérimentales obtenues - que pour des sols régionaux ou appartenant à des formations géologiques identiques.

Il semble aussi que le pétrole employé doive être bien défini.

Mais ses erreurs ne paraissent pas supérieures aux erreurs faites sur les limites d'ATTERBERG et son usage est plus simple.

Il permettra peut être une meilleure connaissance de la "structure fine" des sols, le cas des calcaires restant tout à fait particulier.

SAINT-QUENTIN, le 5 NOVEMBRE 1961.

ANNEXE I

---

TABLEAUX des RESULTATS

---

TABLEAU A - SABLES

8 sables.

L.L.	I.P.	I.H.
33	1	0,93
16	3	1,08
17	4	0,90
21	7,5	1,00
25	8,5	1,19
31	12	1,29
31	12	1,34
39	18	1,36

./...

TABLEAU B - CALCAIRES et CRANS

17 calcaires.

LL	IP	IH
20	5	0,84
25	8	0,63
25	8	0,71
27,5	9	0,82
26,5	9,5	0,79
25,5	10	0,69
32	10	0,70
27	11	0,53
27	11	0,56
29	11	0,82
29,5	12	0,83
29,5	12	0,93
32	12	0,93
30,5	13	0,73
30,5	13	0,79
25	15	0,86
25	15	0,87



./...

TABLEAU C - LIMONS

27 sols classés A4 ou à la limite des A4 et des A6 (+ 1 non classé)

LL	IP	IH
(23,5)	(NP)	(0,83)
32	0,5	0,96
20,5	1,5	0,94
23	2	0,73
25	4	0,90
20,5	5	0,67
20,5	5	0,71
20	6	0,90
22	6	1,11
27	7	0,91
24	7	1,00
27,5	7	1,04
25	8	0,79
25	8	0,82
27	9	1,07
27	10	0,75
27	10	0,81
27	10	0,84
27	10	0,85
27	10	0,85
29,5	10	0,86
27	10	0,87
27	10	0,88
28	10	0,88
27	10	0,90
30	10	0,91
29	10	1,00
26,5	10	1,04

TABLEAU D - ARGILES

64 argiles de type A6 et 31 argiles de type A7.6

LL	IP	IH
24	9	1,12
26	9	1,12
26	9	1,11
26	9	1,16
27	9	1,10
26,5	10	1,04
29	10	1,13
32	10	0,90
29	11	1,00
29	11	1,00
29	11	1,00
29	11	1,04
29	11	1,04
29	11	1,11
29	11	1,15
30	11	1,09
31	11	1,10
29,5	11,5	1,00
29,5	11,5	1,00
29,5	11,5	1,04
31,5	11,5	0,92
29	12	1,00
29	12	1,04
30	12	1,00
30	12	1,00
30,5	12	1,09
36	12	1,20
31	12,5	1,08
31	12,5	1,09
31	12,5	1,09
31	12,5	1,18
31	12,5	1,22
30	13	1,12
31	13	1,05
31	13	1,08
31	13	1,19

TABLEAU D (suite)  
-----  
1

LL	IP	IH
32	13	1,05
32	13	1,05
34	13	1,04
32,5	13,5	0,92
32,5	13,5	0,95
32,5	13,5	1,00
32,5	13,5	1,00
29	14	1,14
32	14	1,00
32	14	1,13
33	14	1,08
33	14	1,09
34	14	1,10
35	14	1,16
33,5	14,5	1,15
34	15	1,00
34	15	1,04
35	15	1,18
36,5	15	1,03
29	16	1,15
36	16	1,08
36	16	1,12
36	16	1,13
36	17	1,20
37	17	1,32
37	17	1,63
37	17	1,68
38	17	1,33

./...

TABLEAU D (suite)

2

LL	IP	IH
40	19	1,26
41	20	1,44
42	20	1,33
42	22	1,42
46	22	1,40
47	22	1,39
45,5	23	1,26
45,5	23	1,35
48,5	25	1,45
50	26	1,35
53	26	1,34
51	26,5	1,25
48	27,5	1,45
47,5	28,5	1,25
54	30	1,55
58	31,5	1,57
58	31,5	1,57
58,5	32	1,55
58,5	32	1,73
59	32	1,60
67	36	1,57
61	37	1,40
67,5	38	1,82
70	42	1,49
69	47,5	1,73
84	50	1,69
87	50	1,91
84	50,5	1,85
86	51	1,72
80	54	1,75
80	54	1,82

A N N E X E II

---

RELATION IP / VOLUME APPARENT dans l'EAU

---

./...

Accessoirement, nous avons cherché s'il n'y avait pas une relation plus simple entre l'indice de plasticité d'un sol et son gonflement, mesuré par la détermination du volume apparent de ce sol dans l'eau. Il serait en effet possible alors d'éviter la difficulté causée par la granulométrie et le concassage du sol sec (voir chapitre X - Etude expérimentale de la dispersion - paragraphe 6).

Nous n'avons examiné que le cas général.

- nombre de couples de valeurs 172

<u>Barycentre</u>	IP	17,5
	VA eau	6,75

- écart moyen absolu sur IP = 9,04

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 11,30$  (e.m.a  $\neq 0,8 \sigma$ )

variance expérimentale sur IP  $s^2 \neq 163,90$

soit un écart type expérimental  $s \neq 12,80$

la concordance est valable.

- écart moyen absolu sur VA eau = 1,616

soit un écart type théorique  $\sigma \neq 2,02$

variance expérimentale sur VA eau  $s^2 \neq 4,32$

soit un écart type expérimental  $s \neq 2,08$

la concordance est excellente.

- calcul du coefficient de corrélation.

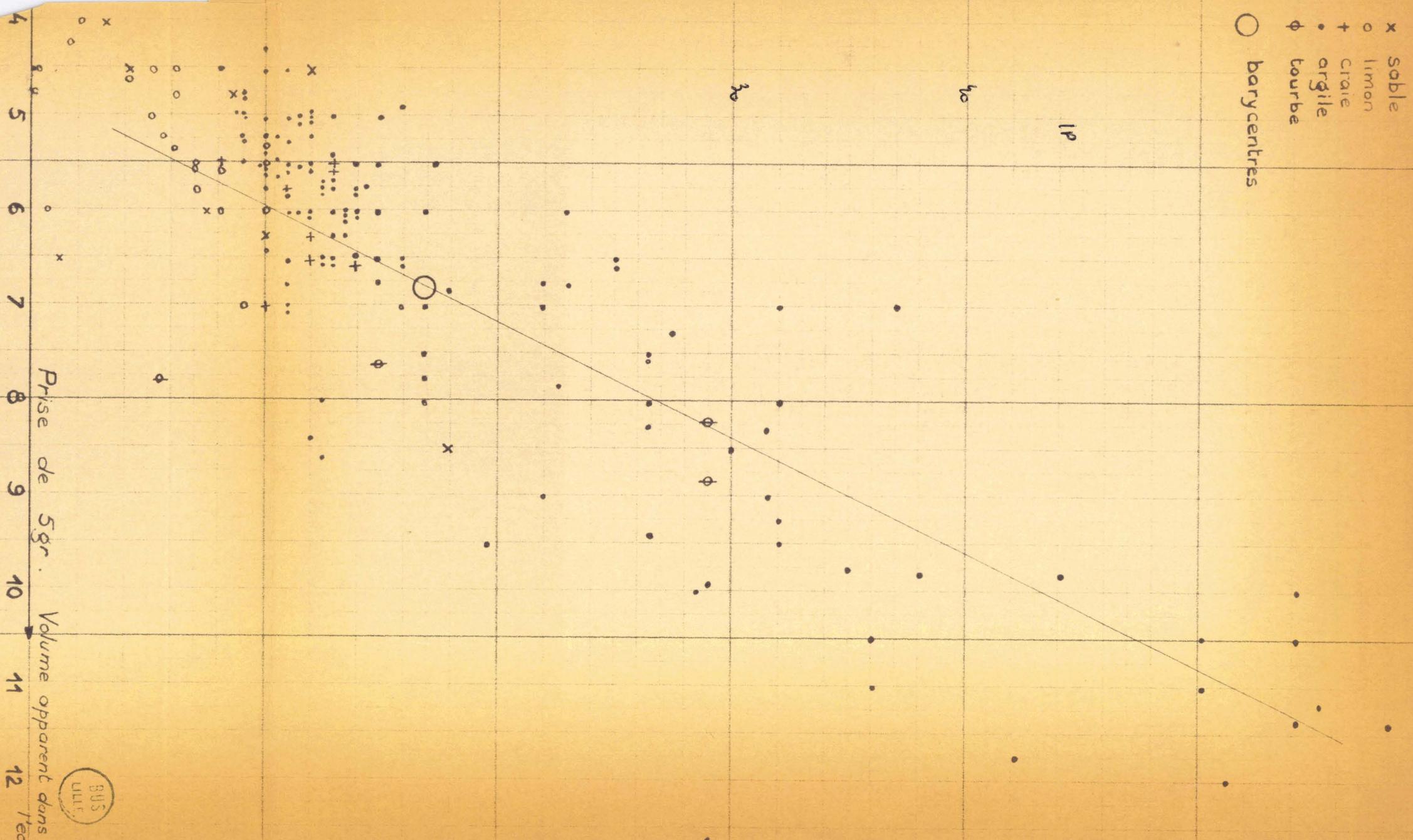
2  $\neq$  0,76 corrélation moyenne - forte.

écart type  $\sigma$  2  $\neq$  0,03.

./...



- x Sable
- o limon
- + Craie
- argile
- φ tourbe
- barycentres



895  
LILLE

I.P.	Volume apparent dans l'eau de 5 gr. de sol
0	4,5
0	4,75
0,5	6,0
1	6,5
1,5	4,25
2	4,0
3	4,0
4	4,5
4	4,5
5	4,5
5	5,0
5	5,25
5,5	5,20
5,5	7,80
6	4,5
6	4,75
6	5,3
7	5,5
7	5,5
7	5,75
7,5	6,0
8	4,5
8	5,5
8	5,5
8	6,0
8,5	4,75
9	4,75
9	4,75
9	5,0
9	5,25
9	5,25
9	5,5
9	7,0
10	4,25
10	4,5
10	5,0
10	5,25
10	5,25
10	5,3
10	5,5
10	5,5
10	5,5
10	5,5

./...

I.P.	Volume apparent dans l'eau de 5 gr. de sol
10	5,75
10	6,0
10	6,25
10	6,4
10	7,0
10,5	5,2
10,5	5,4
10,5	5,6
11	4,5
11	5,0
11	5,25
11	5,5
11	5,5
11	5,75
11	5,75
11	6,0
11	6,5
11	6,75
11	7,0
11	7,0
11,5	5,0
11,5	5,0
11,5	5,5
11,5	6,0
12	4,5
12	5,0
12	5,0
12	5,0
12	5,2
12	5,5
12	5,5
12	6,0
12	6,0
12	6,25
12	6,5
12	8,4
12,5	5,75
12,5	5,75
12,5	5,75
12,5	6,5
12,5	6,5
12,5	8,0
12,5	8,6

./...

I.P.	Volume apparent dans l'eau de 5 gr. de sol.
13	5,0
13	5,4
13	5,5
13	5,5
13	5,6
13	5,75
13	6,0
13	6,25
13	6,5
13	6,5
13,5	6,0
13,5	6,0
13,5	6,0
13,5	6,25
14	5,5
14	5,75
14	5,75
14	6,0
14	6,0
14	6,5
14	6,5
14,5	5,75
15	5,0
15	5,5
15	6,0
15	6,5
15	6,75
15	7,6
16	4,9
16	6,5
16	6,5
16	7,0
17	6,0
17	7,0
17	7,5
17	7,75
17	8,0
17,5	5,5
18	6,8
18	8,5
20	9,5

./...

I.P.	Volume apparent dans l'eau de 5 gr. de sol
20	13,0
22	6,75
22	7,0
22	9,0
23	6,0
23	6,75
25	6,5
25	6,5
26,5	7,5
26,5	7,5
26,5	8,0
26,5	8,25
26,5	9,4
27,5	7,5
28,5	10,0
29	8,2
29	8,8
29	9,9
29	12,6
30	8,5
31,5	8,25
31,5	9,0
32	7,0
32	8,0
32	9,25
32	9,5
35	9,75
36	10,5
36	11,0
37	7,0
38	9,8
42	11,75
44	9,8
47,5	13,0
50	10,5
50	11,0
50	13,0
50	13,0
51	12,0
54	10,0
54	10,5
54	11,3
55	11,2
56	13,8
58	11,4



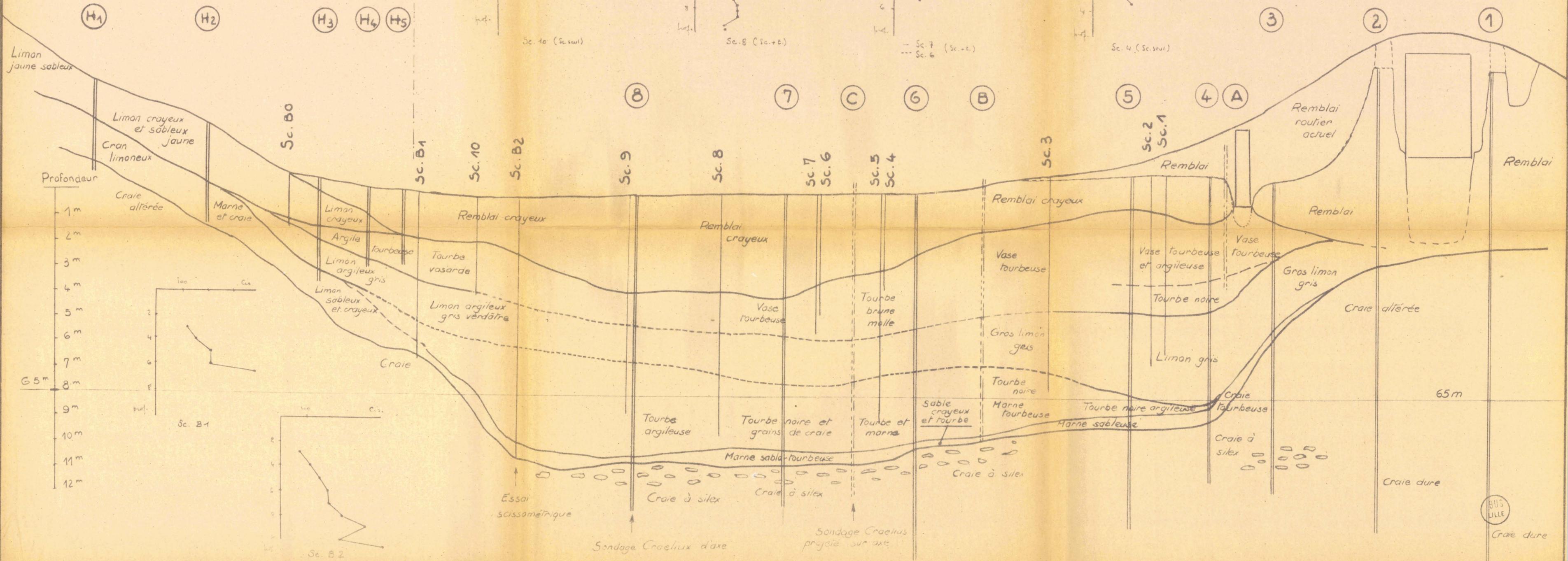
**- ECHELLES -**

- Hauteurs: 1/100  
- Longueurs: 1/1000

Limite du marais

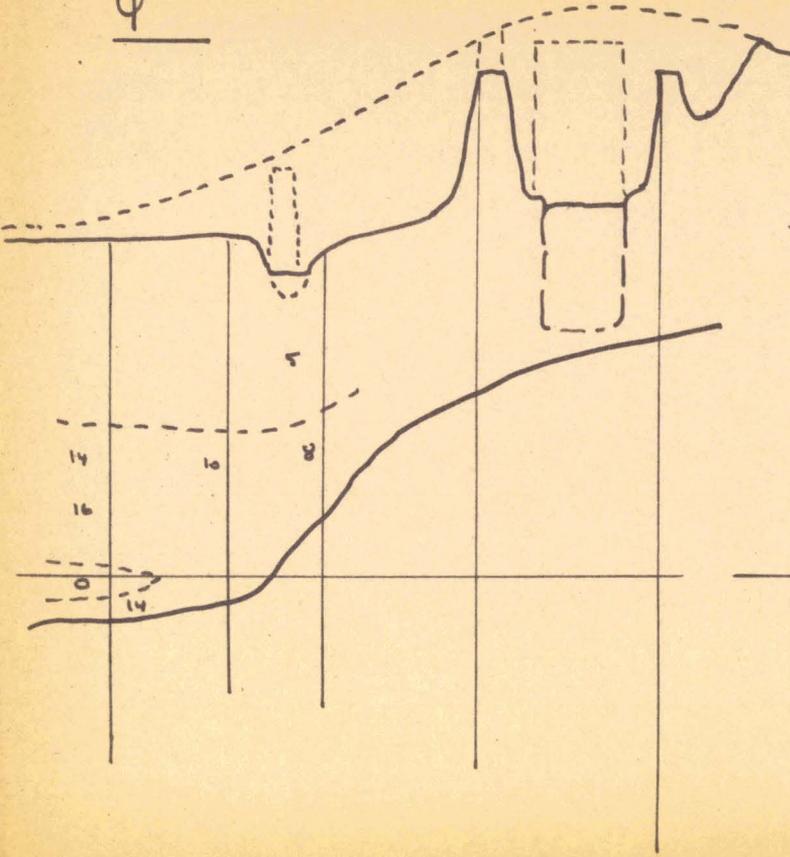
LA SOMME

CANAL DE S<sup>r</sup> QUENTIN

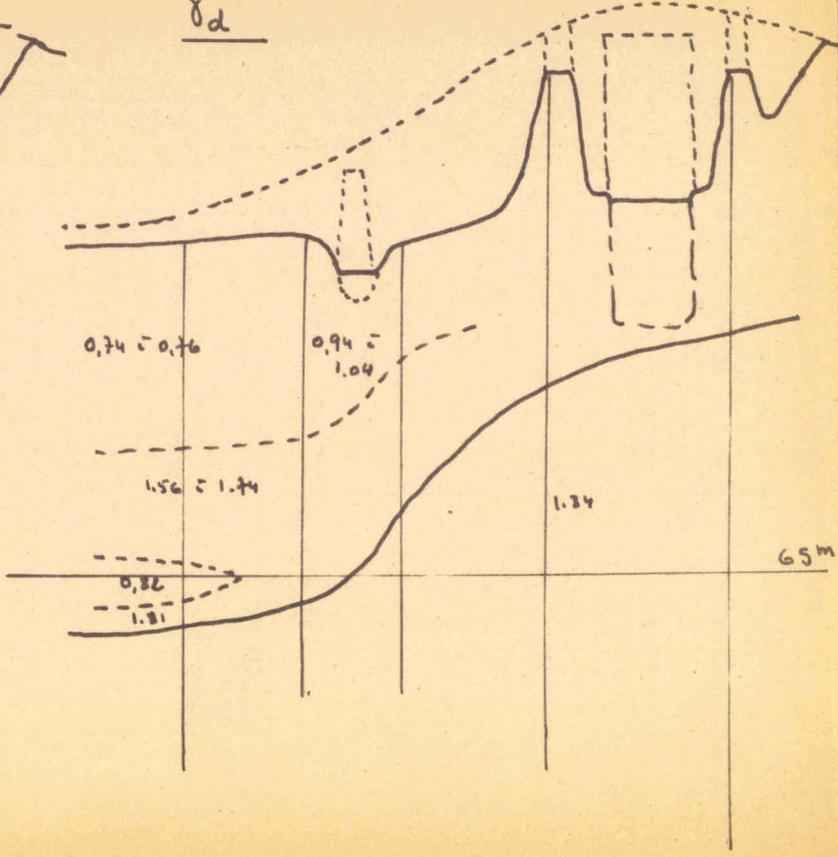


BUS LILLE  
Craie dure

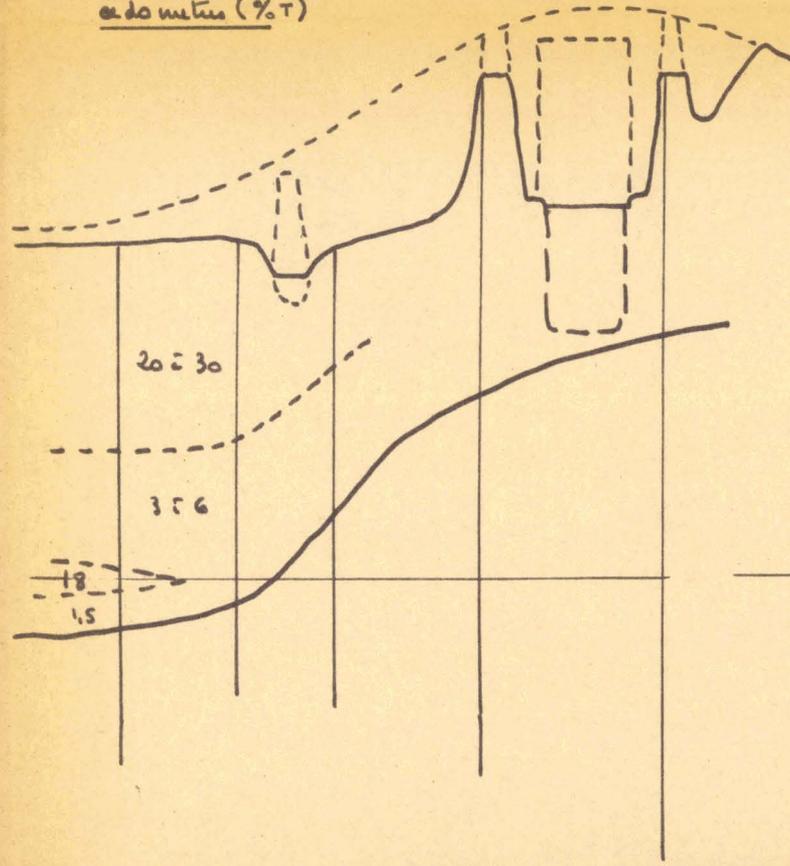
Y



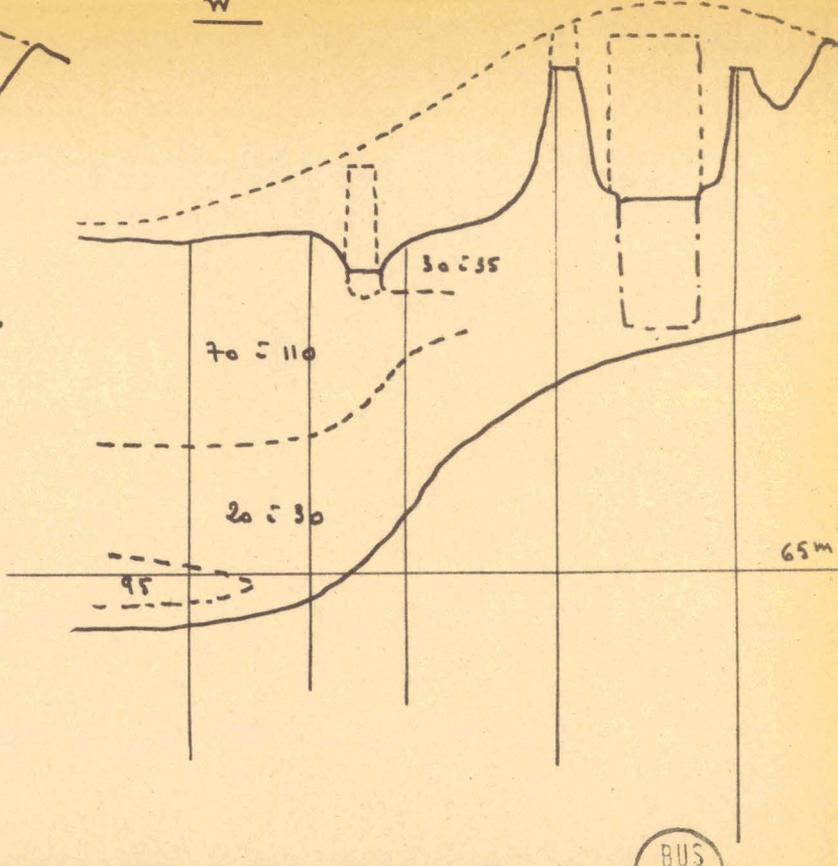
Yd



ex do nitus (%T)



W



ROUVROY

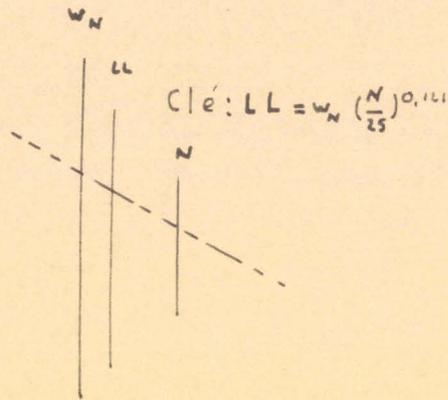
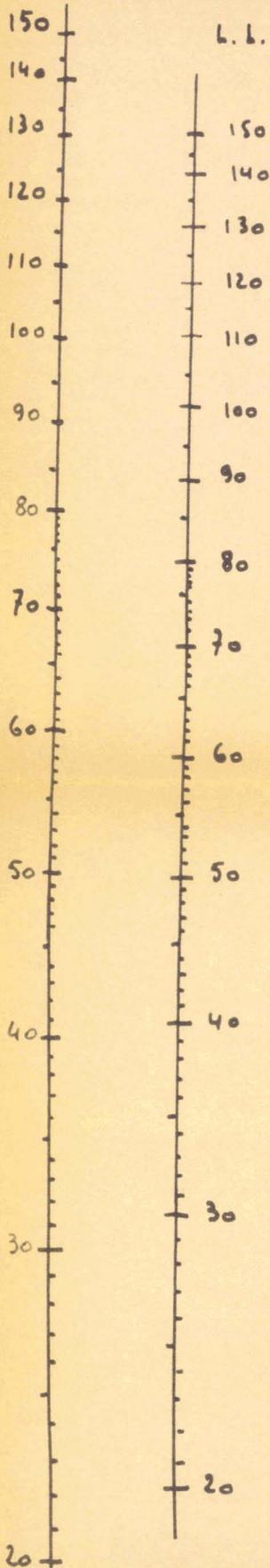


W % à N coups

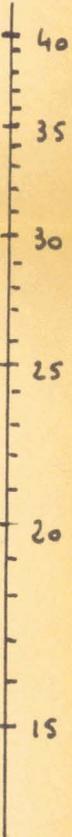
# DÉTERMINATION

de la

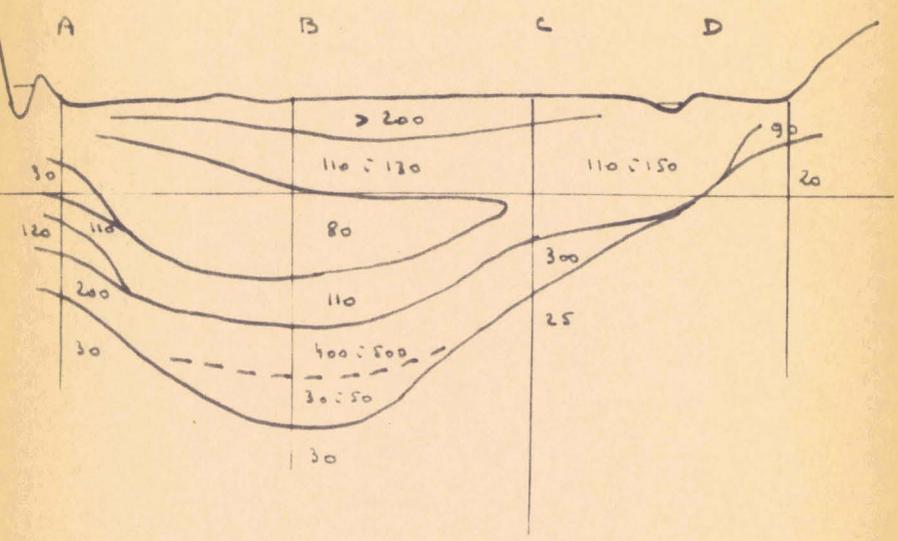
# LIMITE de LIQUIDITÉ



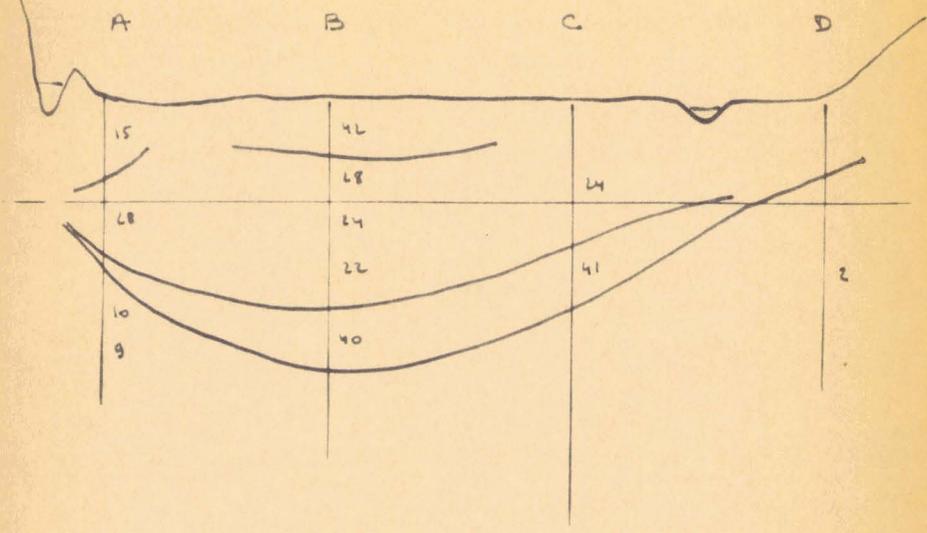
N Nombre de coups



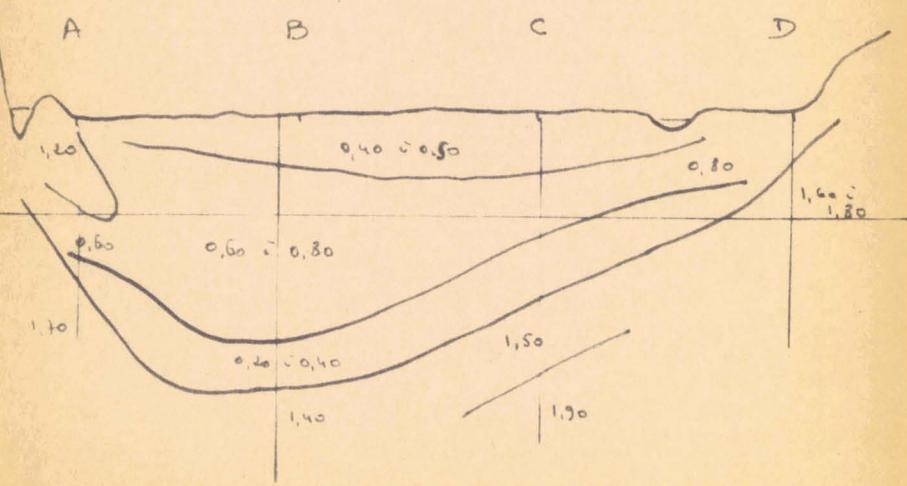
W



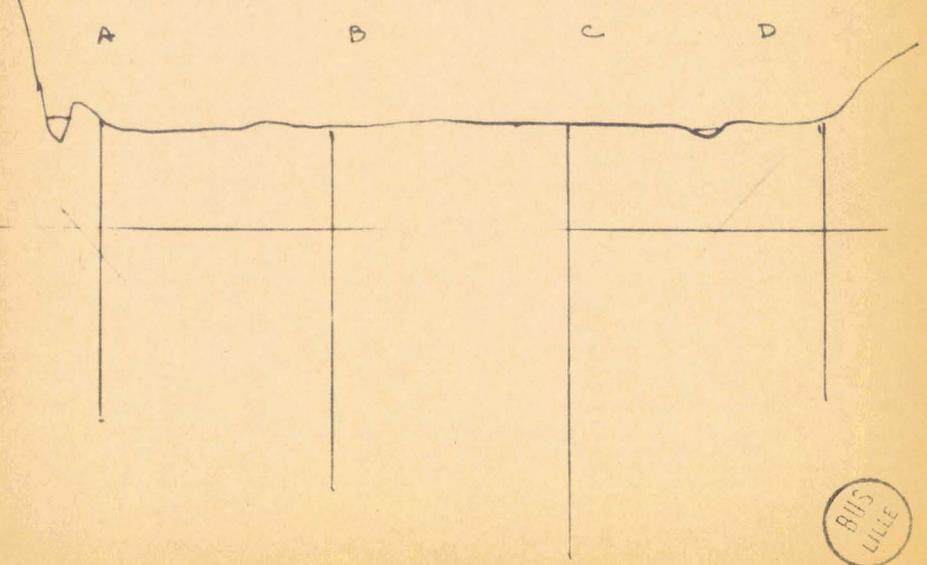
de la vallée



Yd



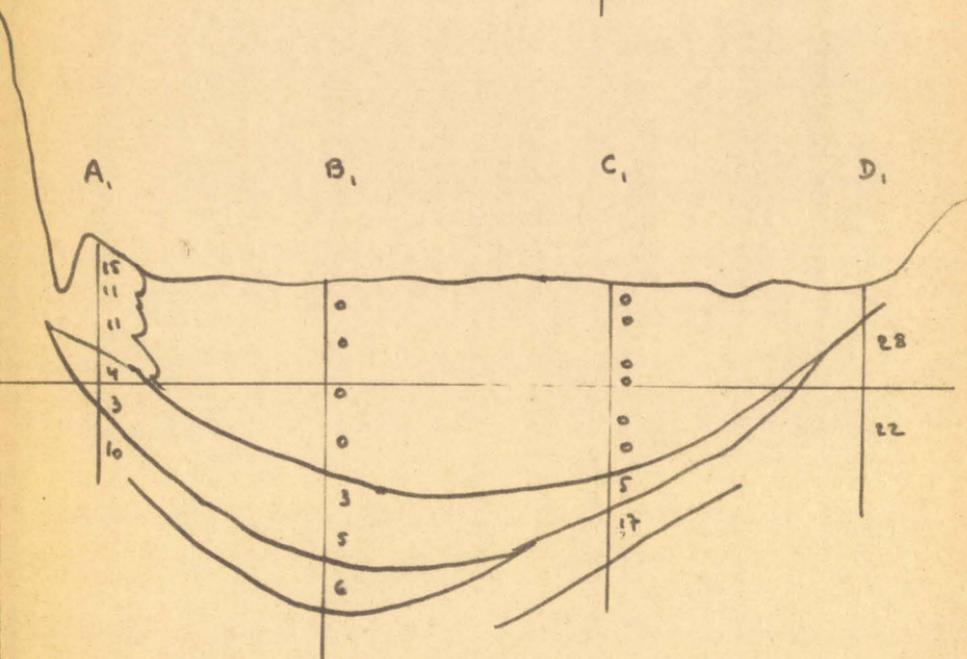
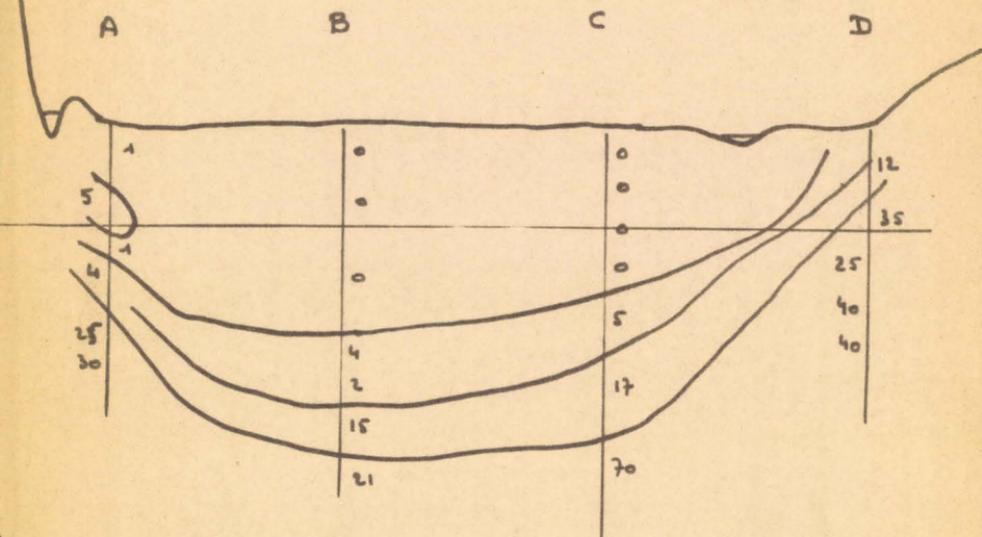
φlc



St Mard

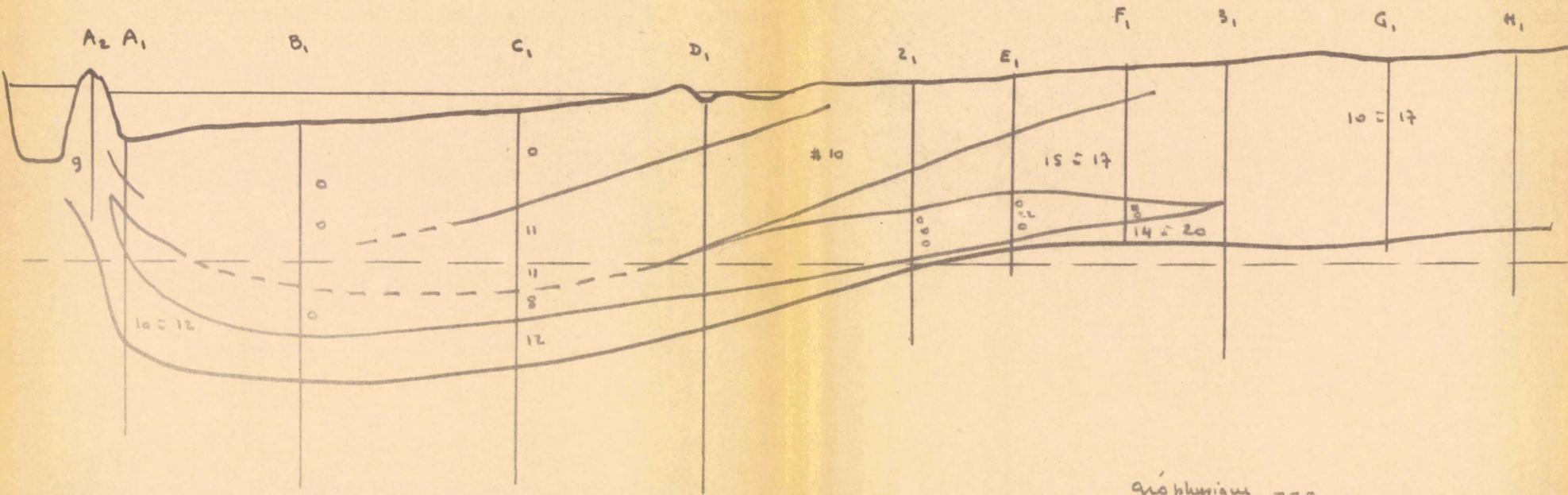


résultats de la pénétration



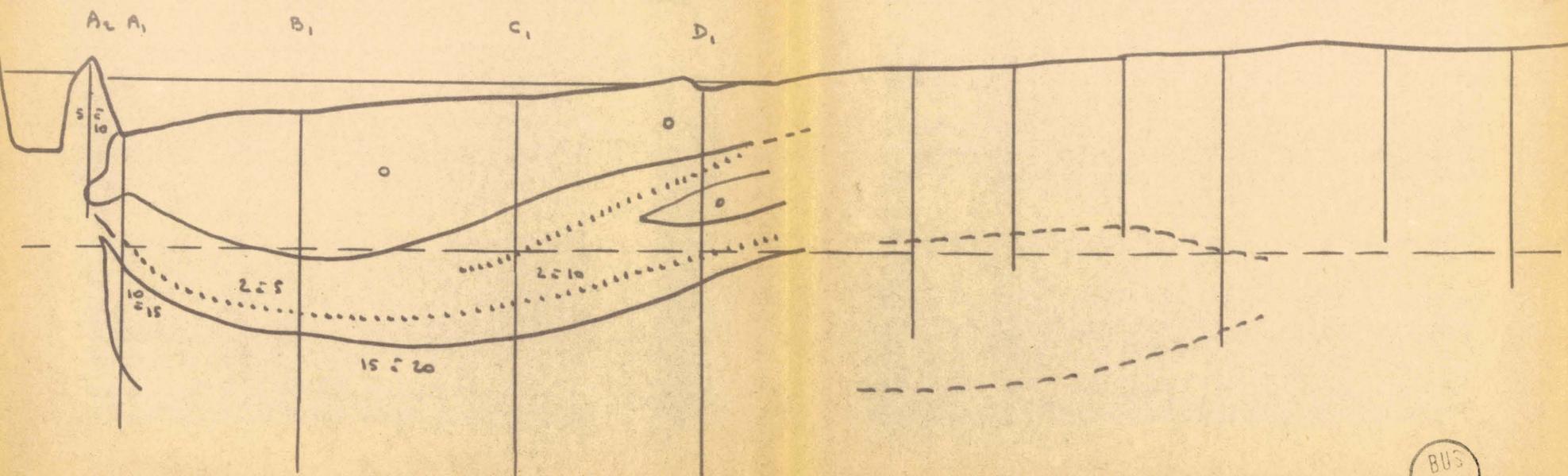
ST Mard





Résistance à la pénétration { — limite de zone  
 ..... parties + résis basés  
 dans une zone

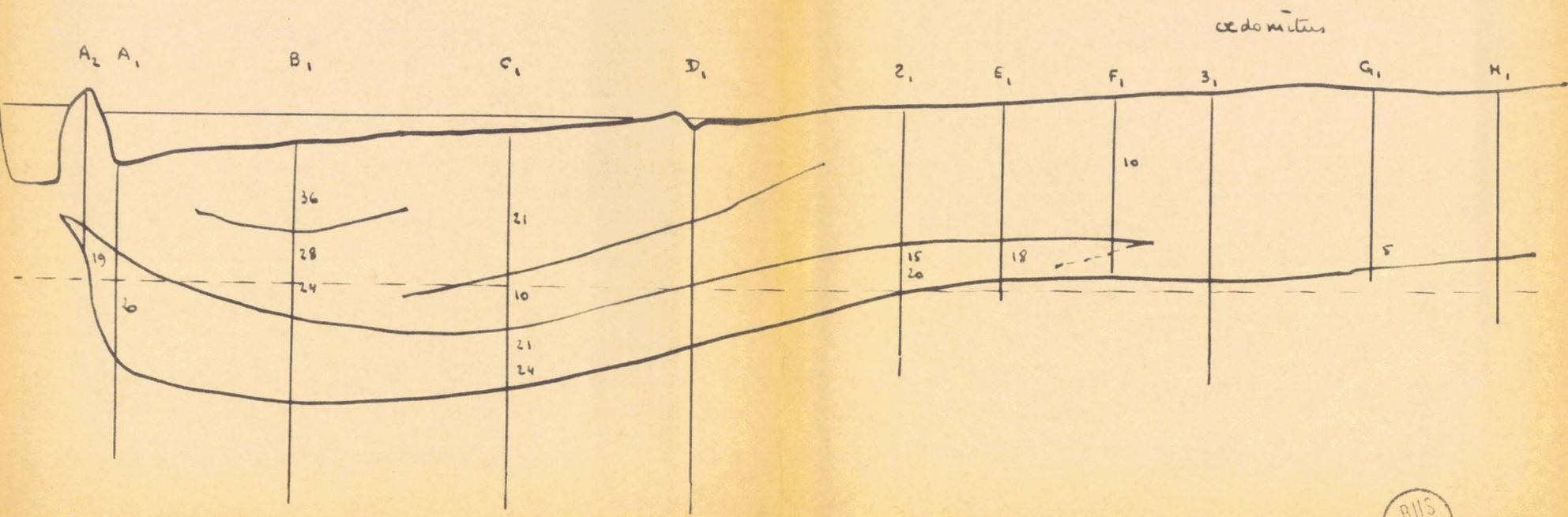
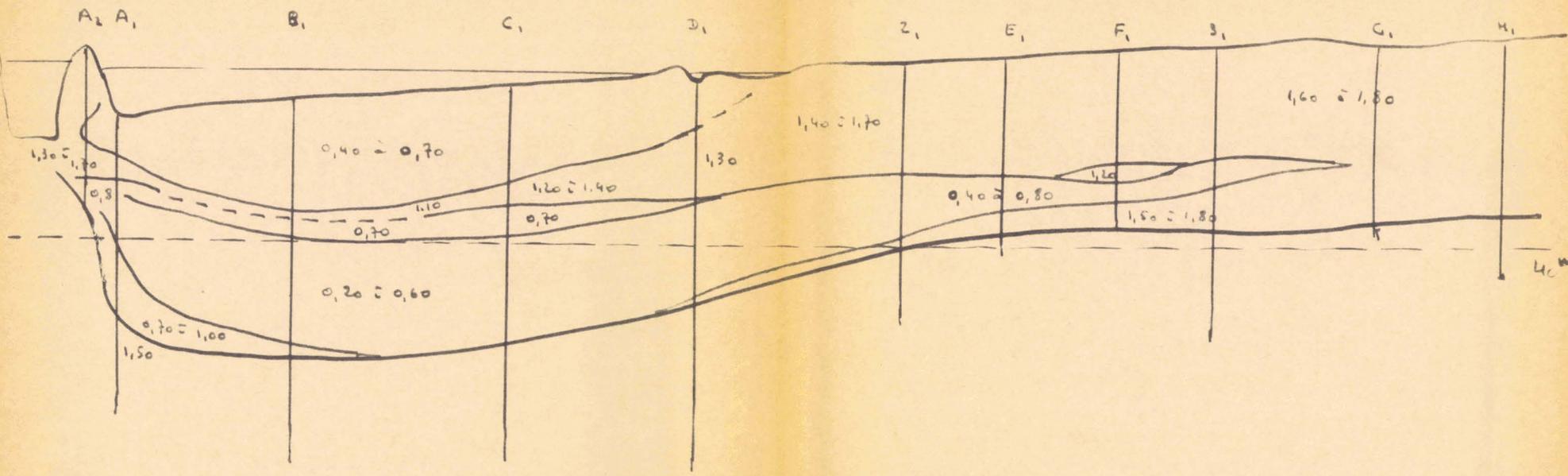
Z1 E1 F1 S1 G1 H1



Fevillères

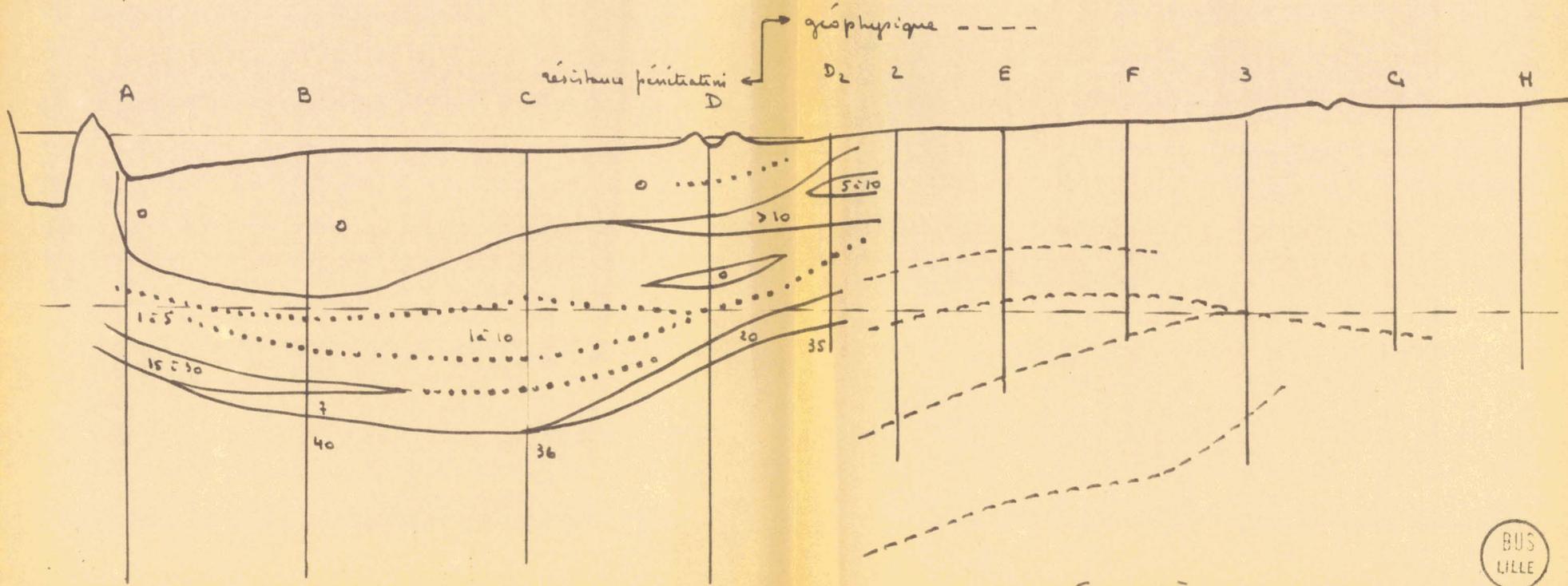
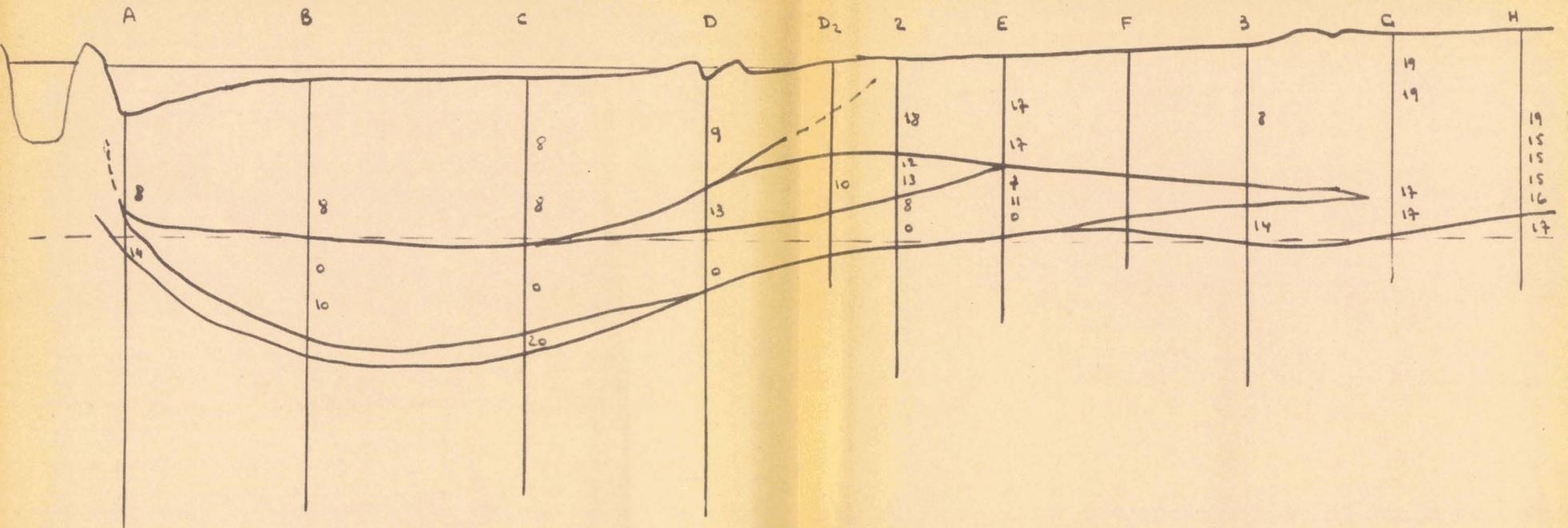


$\gamma_d$



Feuillères



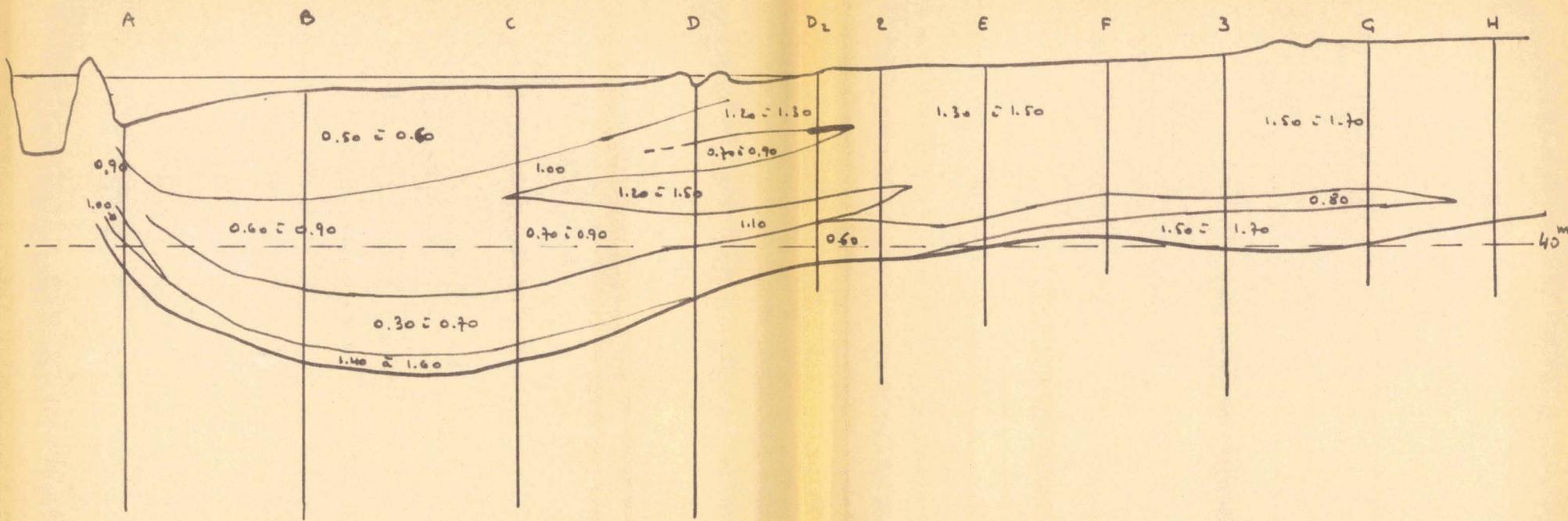


●●● parties + résis basés à l'interface d'une zone  
 — limite de zone

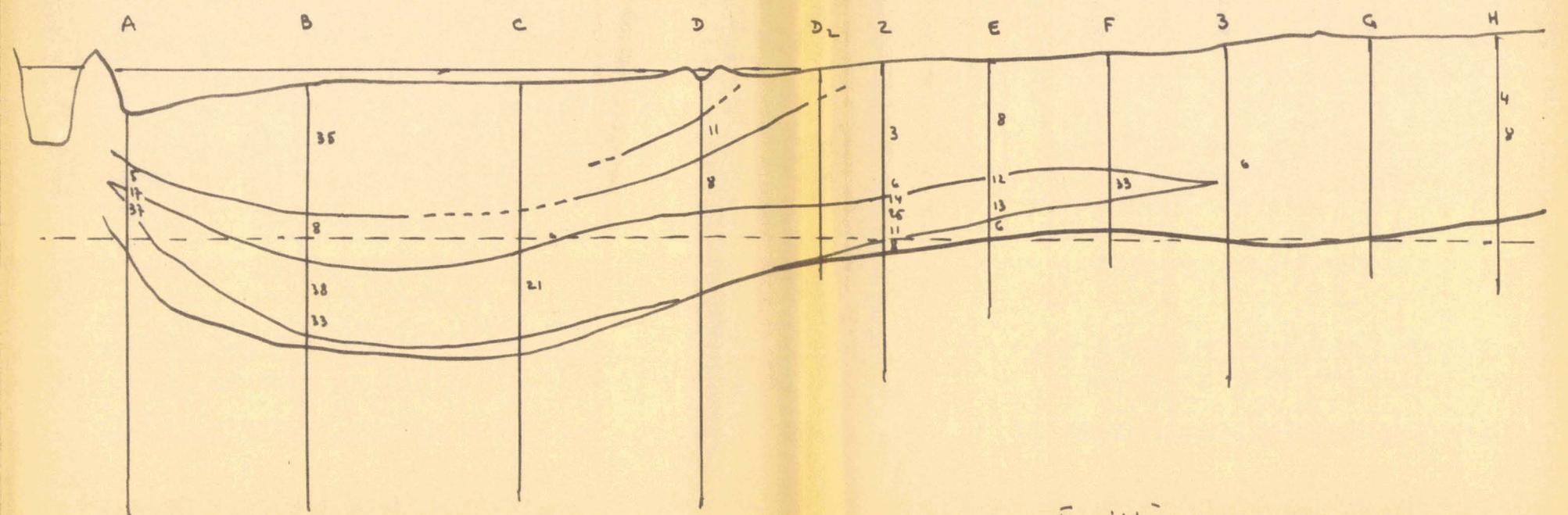
Fevillères



$\gamma_d$

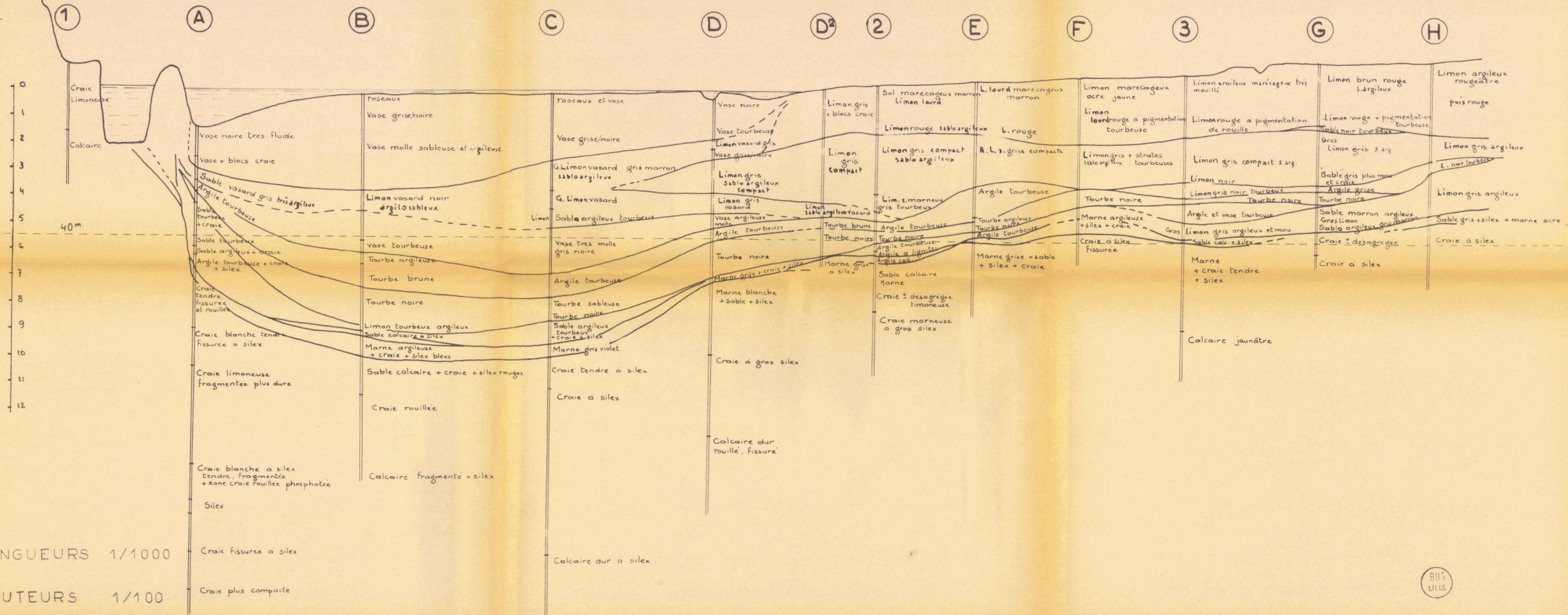


oedomètres

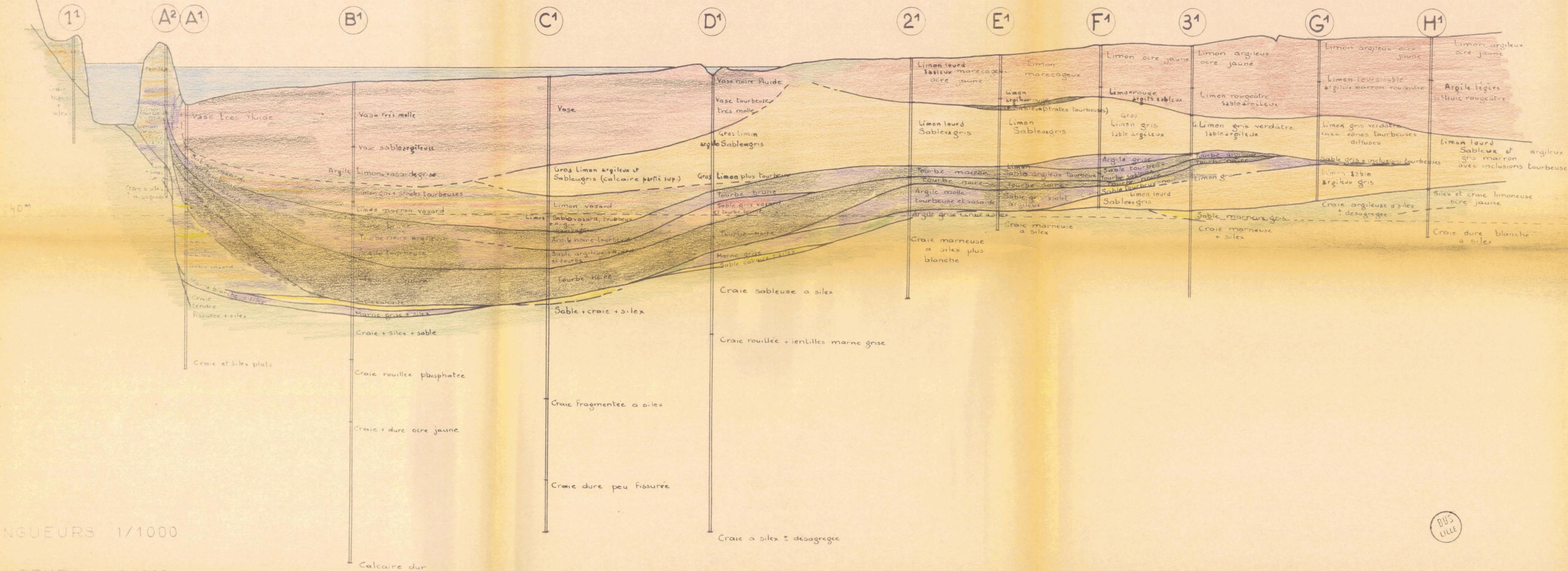


Feuillères

# TRAVERSÉE DE LA VALLÉE DE LA SOMME À FEUILLÈRES



# FEUILLERES



LONGUEURS 1/1000

HAUTEURS 1/100

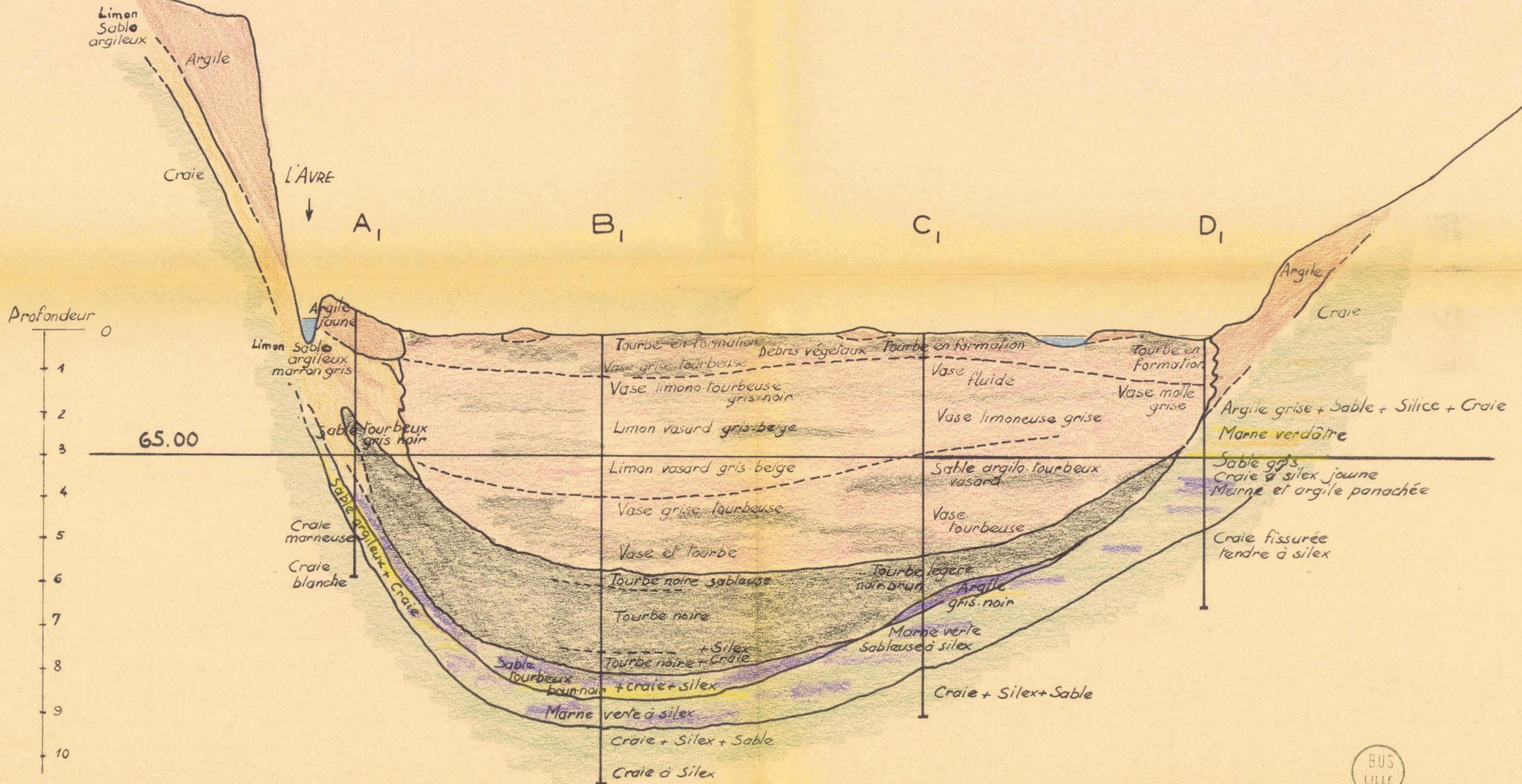
BUS LILLE

# ANNEXE Avre

## ECHELLES

— LONGUEURS : 1/1000

— HAUTEURS : 1/100

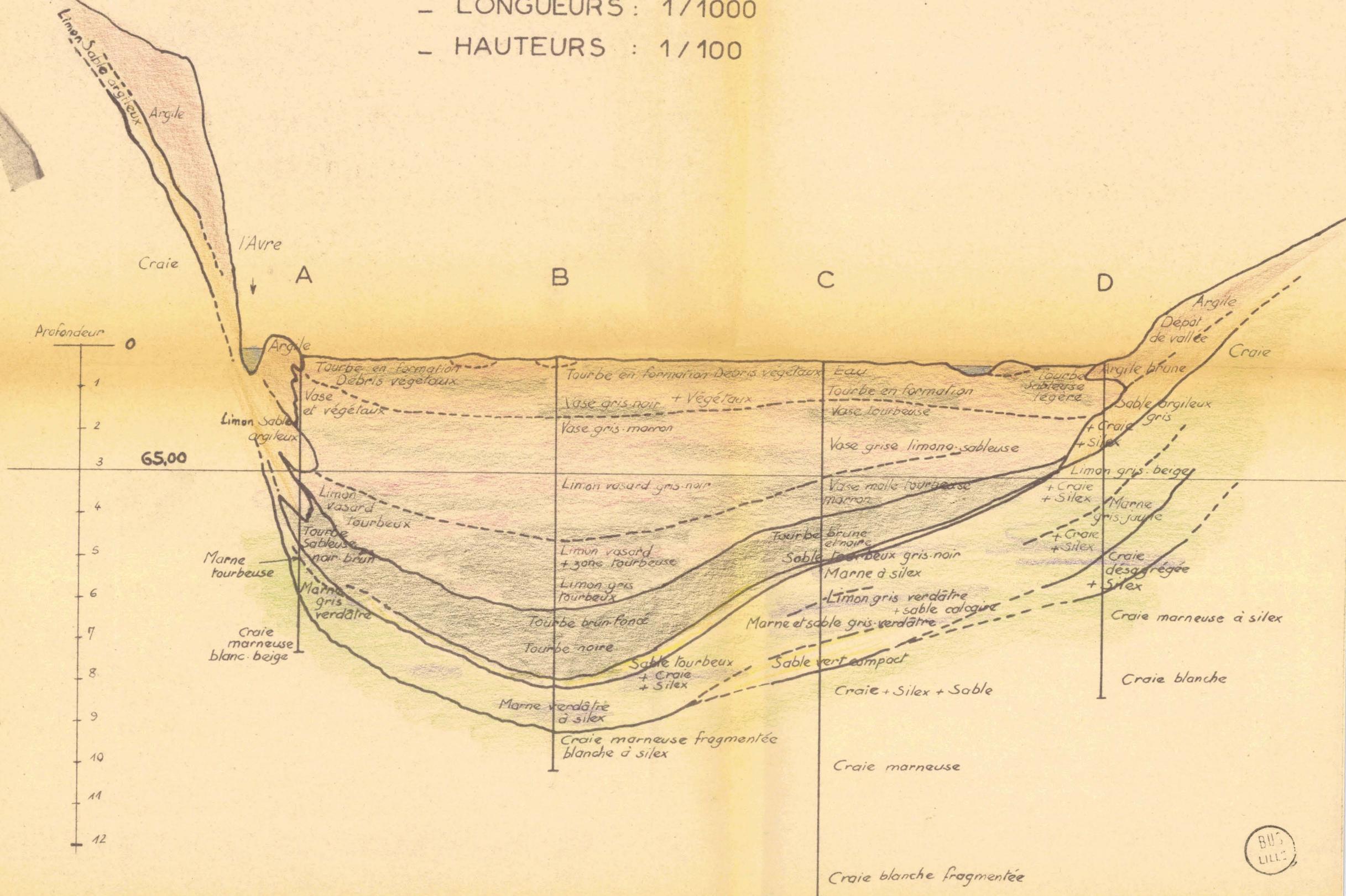


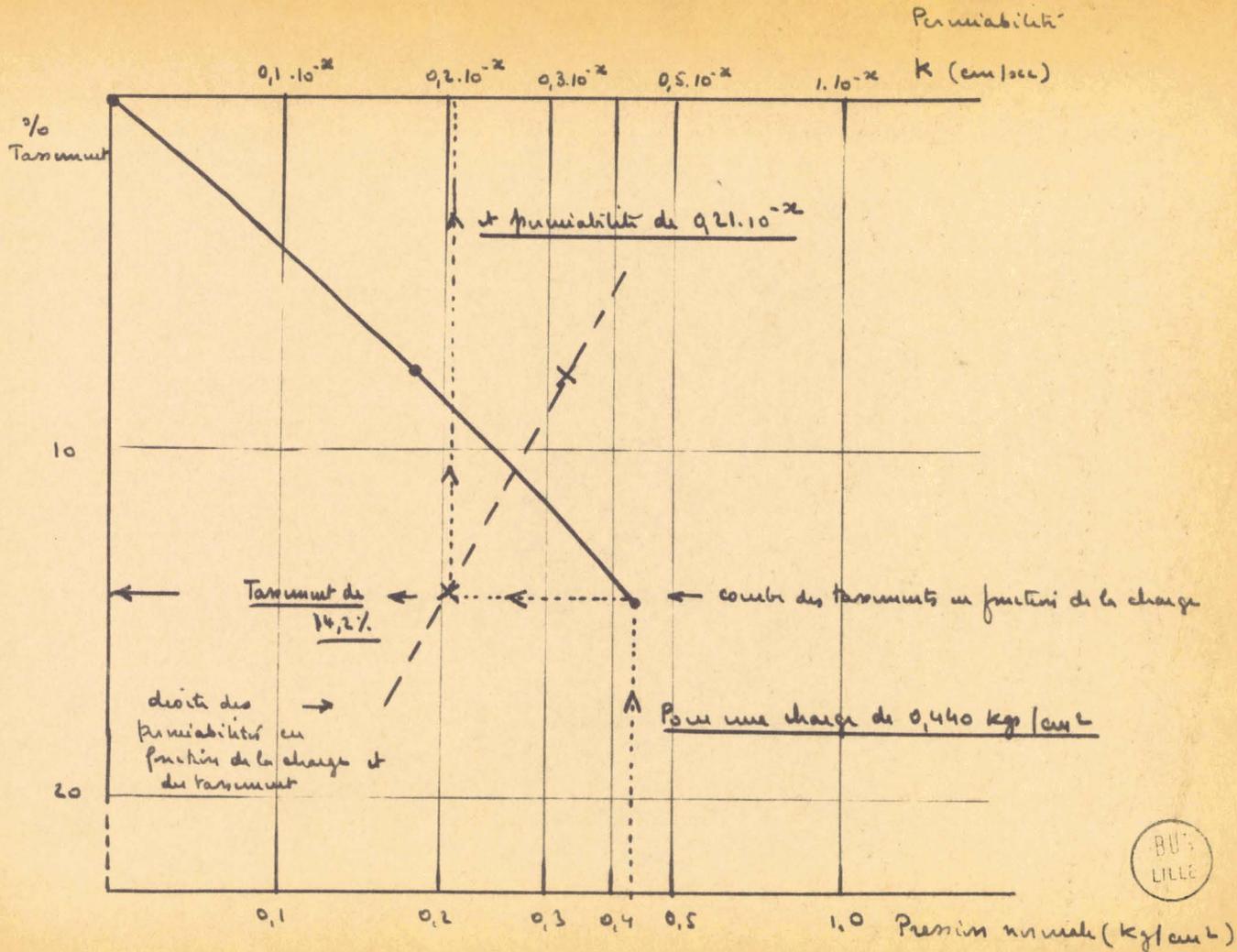
# ANNEXE Avre

## ECHELLES

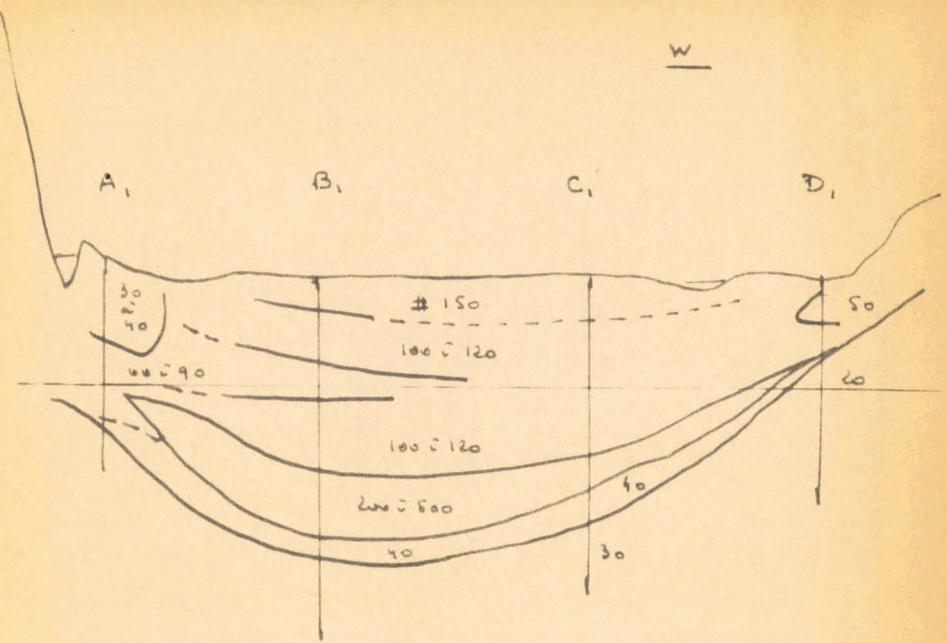
- LONGUEURS : 1/1000

- HAUTEURS : 1/100

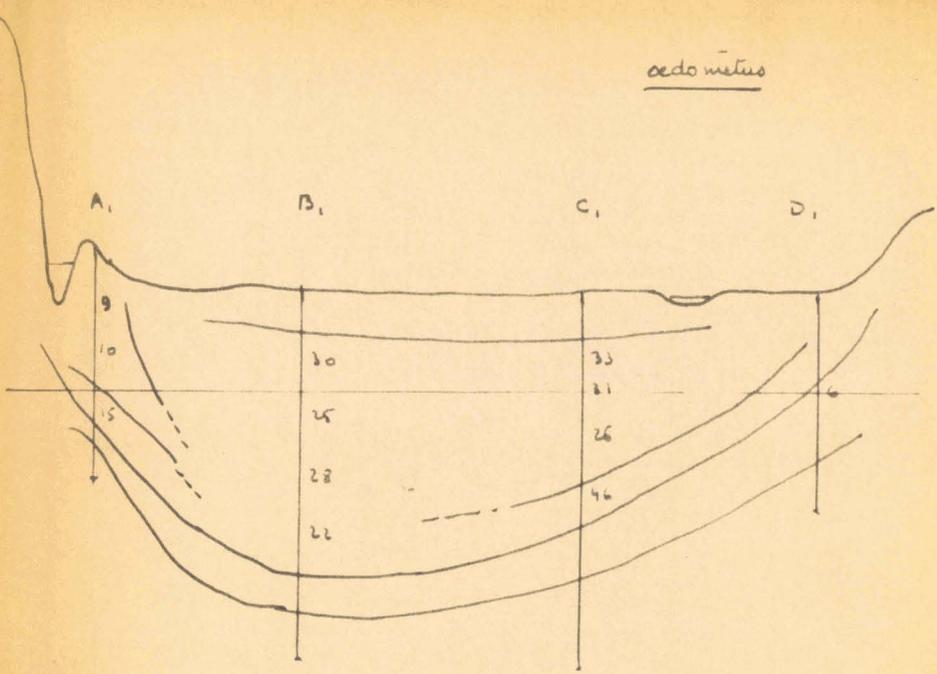




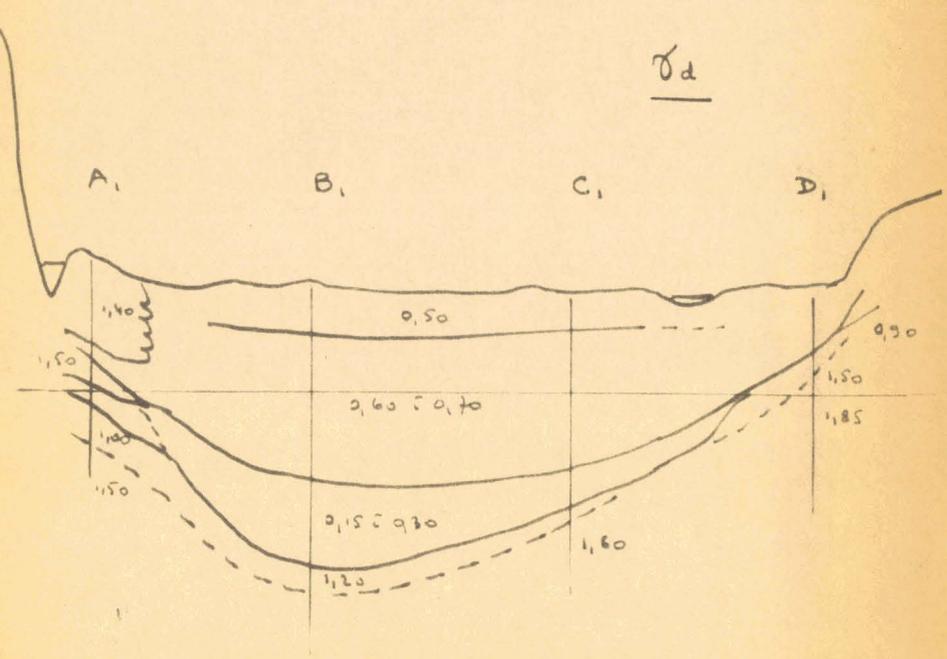
W



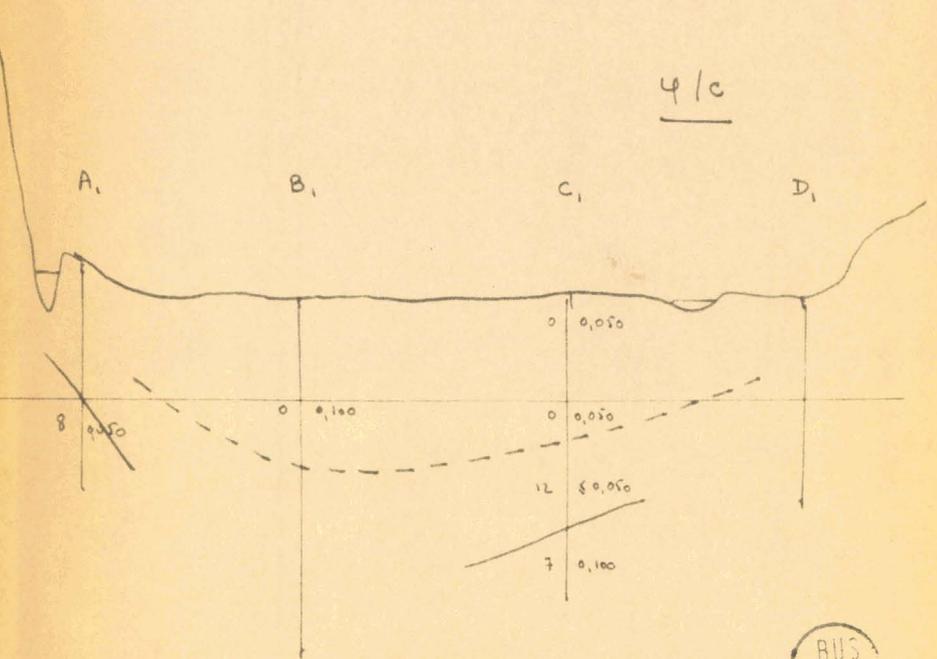
oedo metus



σd



4/c



ST Mard