

N° d'ordre :

IB3a

TH - KB1a

THÈSES

présentées à

LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

pour l'obtention du titre
de Docteur de l'Université de Paris
(mention Sciences)

par

Jean-Robert MARTY

Première thèse :

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES BOULBÈNES

Deuxième thèse :

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 7 mai 1969, devant la Commission composée de :

Président : M. GLANGEAUD

Examineurs } MM. LUCAS
HENIN (Rapporteur)
CASTANY

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE PARIS

P R O F E S S E U R S

Doyen.....

M. ZAMANSKY

M. MONNIER.....	T	Physiologie générale
M. PIVETEAU.....	T	Paléontologie
M. ROCARD.....	T	Physique (E.N.S.)
M. LAFFITTE.....	T	Chimie générale
M. CARTAN.....	T	Mathématiques (E.N.S.)
M. FAVARD.....	T	Géométrie supérieure
M. COULOMB.....	T	Physique du globe
Mlle COUSIN.....	T	Biologie animale (S.P.C.N.)
M. CHRETIEN.....	T	Chimie minérale
M. DRACH.....	T	Zoologie
M. KASTLER.....	T	Physique (E.N.S.)
M. EPHRUSSI.....	T	Génétique
M. RIVIERE.....	T	Géologie (S.P.C.N.) et Sédiment (Orsay)
M. GAUTHERET.....	T	Biologie végétale (P.C.B.)
M. LUCAS R.	T	Recherches physiques
M. THOMAS A.	T	Biologie cellulaire
M. ARNULF.....	T	Optique appliquée
M. MORAND.....	T	Physique enseignement
M. SOLEILLET.....	T	Physique (P.C.B.)
M. FORTIER.....	T	Mécanique Exp. des Fluides
M. PETIT.....	T	Biologie maritime
M. QUENEY.....	T	Météo et dynamique atmosphérique
M. GALLIEN.....	T	Embryologie
M. EICHORN.....	T	Botanique
M. DE CUGNAC.....	T	Biologie vég. (S.P.C.N.)
Mlle CAUCHOIS.....	T	Chimie physique
M. THEILLIER.....	T	Physique du globe
M. L'HERITIER.....	T	Biologie générale (Orsay)
M. GRIVET.....	T	Radioélectricité (Orsay)
M. PONCIN.....	T	Mécanique générale
M. DU BREIL.....	T	Arithmétique et théorie des nombres
M. QUELET.....	T	Chimie organique
M. CAGNIARD.....	T	Géophysique appliquée
M. CHAMPETIER.....	T	Chimie macromoléculaire
M. CUVILLIER.....	T	Micropaléontologie
M. JUNG.....	T	Géologie

M. TRILLAT.....	T	Microscopie et diffraction électronique
M. WIEMANN.....	T	Chimie organique et struc.
M. JACQUINOT.....	T	Spectroscopie et Physique céleste (Orsay)
M. VASSY.....	T	Physique de l'atmosphère
M. DESTOUCHES.....	T	Théorie physique
M. DUBOIS J.E.....	T	Chimie organique
M. LANOTTE.....	T	Zoologie (E.N.S.)
M. MICHEL A.....	T	Chimie minérale (Orsay)
M. OLMER.....	T	Energétique générale
M. ROUAULT.....	T	Electricité (Orsay)
M. GAUTHIER.....	T	Mécanique appliquée
M. BARCHEWITZ.....	T	Chimie physique
M. BROSEL.....	T	Physique atomique
M. BUSER.....	T	Physiologie comparée
M. CAMUS.....	T	Physiologie végétale
M. CASTAING.....	T	Physique II Thermod. (Orsay)
M. CURLIEN.....	T	Minéralogie et Cristallographie
M. MOYSE.....	T	Physiologie végétale (Orsay)
M. NOIROT.....	T	Evolution des Etres Organ.
M. PANNETIER.....	T	Chimie générale
M. POSSOMPES.....	T	Zoologie
M. PULLMANN.....	T	Chimie quantique
M. TEILLAC.....	T	Physique nucléaire et radioactivité
M. TONNELAT.....	T	Biologie physico-chimique
M. VILLE.....	T	Econométrie
M. WILLEMART.....	T	Chimie (P.C.B.)
M. DODE.....	T	Chimie (Orsay)
M. FREYMANN.....	T	Recherches physiques
M. AMIEL.....	T	Chimie générale
M. HOCART.....	T	Minéralogie et Crystallo.
M. MATHIEU J.P.....	T	Physique optique
M. COUTEAUX.....	T	Cytologie
M. MAY.....	T	Zoologie
M. CHOQUET.....	T	Théorie des fonctions et Topologie
M. FELDMANN.....	T	Biologie végétale marine
M. GUINIER.....	T	Physique des solides (Orsay)
M. JOST.....	T	Physiologie comparée
M. FORTET.....	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique
M. SCHWARTZ.....	T	Calcul diff. et intégral
M. CHOUARD.....	T	Physiologie végétale
M. MALAVARD.....	T	Aviation (Techn. Aéronaut.)
M. BRELOT.....	T	Calcul diff. et intégral
M. NORMANT.....	T	Chimie organique
M. BENARD.....	T	Chimie minérale
M. BUVAT.....	T	Botanique (E.N.S.)
M. DUGUE.....	T	Statistiques mathématiques
M. SOULAIRAC.....	T	Psychophysiologie
M. ULRICH.....	T	Physiologie végétale appl.
M. MARECHAL.....	T	Optique théori. et appliq.
M. KIRRMANN.....	T	Théories chimiques

M. CHADEFAUD.....	T	Botanique
Mlle LE BRETON.....	T	Physio. de la nutrition
M. LELONG.....	T	Application de l'analyse à la géométrie
M. DEVILLERS.....	T	Anatomie et Histol. comp.
M. EHRESMANN.....	T	Topologie algébrique
M. FRANÇON.....	T	Physique (S.P.C.N.)
M. GLANGEAUD.....	T	Géographie phys. et géol.
M. GODEMENT.....	T	Mathématiques (M.C.P.)
M. PISOT.....	T	Tech. Mathém. de la Phys.
M. ROCH.....	T	Géologie
M. SCHATZMANN.....	T	Astrophysique
M. TERMIER.....	T	Géologie générale
M. ZAMANSKY.....	T	Mathématiques générales
M. LENNUIER.....	T	Physique (M.G.P.)
M. RIZET.....	T	Génétique (Orsay)
M. ROUTHIER.....	T	Géologie appliquée
Mme TONNELAT.....	T	Physique théorique
M. DIXMIER.....	T	Mathématiques (M.P.C.)
M. SOUCHAY.....	T	Chimie générale
M. AIGRAIN.....	T	Electrotechnique générale
M. BRUSSET.....	T	Chimie systématique
M. LEVY M.	T	Physique théorique des hautes énergies (Orsay)
Mme CHAIX.....	T	Chimie biologique
Mme HUREL-PY	T	Biologie végétale (P.C.B.)
M. PIAUX.....	T	Chimie (M.P.C.)
M. BRUN.....	T	Mécanique théorique des fluides I
M. LEDERER.....	T	Chimie biologique (Orsay)
Mme DUBREIL.....	T	Mathématiques (Agrég.)
Mme LELONG.....	T	Mathématiques II (E.N.S.)
M. BELLAIR.....	T	Géologie (S.P.C.N.)
M. COTTE.....	T	Physique électricité
M. JULIA.....	T	Analyse supérieure et algèbre supérieure
M. PRENANT.....	T	Anatomie et Histologie comparée
M. GRASSE.....	T	Evolution des êtres organisés
M. PREVOST.....	T	Chimie organique
M. WYART.....	T	Minéralo. et Cristallog.
M. TEISSIER.....	T	Zoologie
M. MANGENOT.....	T	Biologie végétale (Orsay)
M. AUGER.....	T	Physique quantique et relativité
M. GUINOCHET.....	T	Biologie végétale (S.P.C.N.) (Orsay)
M. ROLLET.....	T	Chimie minérale
Mlle JOSIEN.....	T	Chimie (S.P.C.N.)
M. CHEVALLEY.....	T	Géométrie algèbr. et théorie des groupes
M. ARNOULT.....	T	Electronique (Orsay)
M. CHAPELLE.....	T	Physique (Orsay)
M. DELANGE.....	T	Mathématiques I (Orsay)
M. DENY.....	T	Mathémat. génér. (Orsay)
M. GERMAIN.....	T	Mécan. théor. des fluides

M. LUCAS G.....	T	Géologie
M. ALLARD.....	T	Chimie physique
M. BERTHELOT.....	T	Physique des particules fondamentales
M. BRICART.....	T	Météorologie et Physique de l'Atmosphère
Mme ALBE-FESSARD.....	T	Psychophysiologie
M. FRIEDEL.....	T	Physique des solides (Orsay)
M. JULIA M.	T	Etude des moléculaires naturelles complexes
M. LENDER.....	T	Biologie animale (S.P.C.N.) (Orsay)
M. MAGAT.....	T	Physico-chimie des radio-éléments
Mlle QUINTIN.....	T	Electrochimie
M. MONOD.....	T	Chimie du métabolisme
M. BEJOIT.....	T	Physiol. animale (Orsay)
M. DE POSSEL.....	T	Analyse numérique
M. CHARLOT.....	T	Chimie analytique
M. LEMEE.....	T	Ecologie (B.M.P.V.) (Orsay)
M. GUERIN.....	T	Chimie (M.P.C.) (Orsay)
M. CHATELET M.	T	Chimie (P.C.B.)
M. JEAN.....	T	Physique nucléaire (Orsay)
M. MATTLER.....	T	Physique (S.P.C.N.)
M. BERGERARD.....	T	Zoologie (Orsay)
M. BERTEIN.....	T	Electronique (Orsay)
M. BOU ISSIERES.....	T	Chimie des radioéléments (Orsay)
Mme COUTURE.....	T	Thermodynamique et Méc.Physique
M. ELLENBERGER.....	T	Géologie des grandes du globe
M. FRANC.....	T	Biologie animale (P.C.B.)
M. SCHNELL.....	T	Botanique tropicale (Orsay)
M. STOLKOWSKI.....	T	Physiologie végétale
M. ACHER.....		Chimie biologique
M. BAUDOIN.....		Biologie animale (P.C.B.)
M. BEAMONT.....		Biologie animale (S.P.C.N.)
M. BLAMONT.....	T	Géophysique ionosphère
M. BOUREAU.....	T	Botanique
M. CURIE D.		Physique (M.G.P.)
M. DURAND-DELGA.....	T	Géologie
M. FREON.....	T	Chimie organique (Orsay)
M. HELLER.....	T	Physiologie végétale
M. TORTRAT.....	T	Calcul des probabilités
M. CAILLEUX.....	T	Géologie (S.P.C.N.)
M. MAGNAN.....		Physique (S.P.C.N.)
M. DAUDEL.....	T	Mécanique ondulatoire
Mlle FOURCROY.....		Biologie végétale (S.P.C.N.)
Mme CHOQUET-BRUHAT.....	T	Mécan.analytique et mécan.céleste
Mlle VEIL.....		Physiologie générale
M. LWOFF.....	T	Microbiologie
M. SIESTRUNCK.....	T	Mécan. phys. et expérim.
M. LACOMBE.....	T	Métallurg.des métaux nucléaires
M. CROCHARD.....	T	Physique (P.C.B.) (Orsay)
M. CABANNES.....	T	Mécanique générale
M. LESIEUR.....	T	Mathématiques I (Orsay)
M. MAZET.....	T	Mécanique générale (Orsay)

M. NATAP.....	T	Physique nucléaire et radioactivité (Orsay)
M. ECHALIER.....		Biologie animale (P.C.B.)
M. BARRAUD.....		Physiologie cellulaire
M. LIORÉ.....		Physiologie végétale (Orsay)
M. DARS.....		Géologie struc. et Géologie appliquée
M. CAMEFORT.....	T	Botanique (agrégation)
M. VICHNIEWSKY.....	T	Mécanique industrielle
M. BLAQUIÈRE.....		Electronique (Orsay)
M. ARNOUS.....	T	Physique théorique
M. TATIBOUET.....		Chimie (C.S.U. Orléans)
M. MALLIAVIN.....	T	Mathém.propé. (Orsay)
M. GAUDEMAR.....		Chimie propéd.
M. PÉREZ Y JORBA.....		Physique expér.des Hautes-Energies (Orsay)
M. DAVID.....	T	Chimie (agrégation) (Orsay)
M. BROUSSE.....	T	Mécanique théorique

Le Secrétaire Général :

M. R. POULAIN

à mes parents

à ma femme

Je voudrais exprimer ici ma profonde et respectueuse reconnaissance à Monsieur le Professeur GLANGEAUD qui a bien voulu me témoigner constamment une bienveillante sollicitude, et me faire l'honneur d'accepter la présidence du jury.

Je voudrais remercier également Messieurs les Professeurs LUCAS et CASTANY qui se sont intéressés à mon travail et ont aimablement accepté de faire partie de mon jury.

Je voudrais aussi adresser ma profonde gratitude à Monsieur HENIN, Chef du Département Agronomie de l'I.N.R.A., qui a suivi et orienté mon travail avec un intérêt toujours bienveillant et qui a permis la réalisation et l'aboutissement de ces recherches.

Ma respectueuse gratitude va également à Monsieur BUSTARRET, Directeur Général de l'I.N.R.A. et à Monsieur DROUINEAU, Inspecteur Général, pour les moyens de travail et les facilités qu'ils m'ont accordés pour mener à bien cette étude.

Je suis heureux d'exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur BLANCHET, pour l'aide, les conseils et les encouragements qu'il m'a toujours prodigués.

Je n'oublie pas que ce travail n'a pu être mené à son terme que grâce à la collaboration de toute une équipe : en premier lieu, je dois remercier Monsieur FIORAMONTI qui m'a toujours fait bénéficier de son expérience et de sa compétence, également Mademoiselle COURAU, Messieurs MAERTENS et PUECH dont les conseils m'ont toujours été très précieux. Tous mes remerciements aussi aux autres membres de l'équipe, en particulier Mademoiselle DESWEEEMER et Monsieur HILAIRE, qui au laboratoire ou sur le terrain ont pris une part active et parfois ingrate à ce travail, et Madame JUAN qui a assuré avec beaucoup de gentillesse et d'application la présentation de cet ouvrage.

Enfin, je tiens à associer dans mes remerciements tous mes collègues de l'I.N.R.A. qui ont bien voulu se pencher sur les différents problèmes soulevés par mes études et contribuer ainsi à la réalisation de ce travail.-

T A B L E D E S M A T I E R E S

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	
I - <u>LA DENOMINATION BOULBENE EN LANGUE VERNACULAIRE</u>	1
II - <u>LES BOULBENES PARMi LES AUTRES GRANDS TYPES DE SOLS DU</u> <u>SUD-OUEST : TERREFORTS et SABLES FAUVES</u>	3
III - <u>SITUATION DES BOULBENES - LES DIFFERENTS TYPES</u>	4

PREMIERE PARTIE

CARACTERES GENERAUX DES BOULBENES

I - <u>PROFILS TYPiQUES DES SOLS DE BOULBENES</u>	9
A/- LES ELEMENTS GROSSIERS.....	10
B/- LES PROFILS.....	11
1 - Boulbène profonde	
2 - Boulbène sur horizon argileux	
3 - Boulbène sur lit de cailloux et graviers	
4 - Boulbène sur grep	
a)- cas général en sol caillouteux	
b)- cas particulier en sol non caillouteux	
II - <u>ELEMENTS CONSTITUTIFS DES BOULBENES</u>	18
A/- GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE	
1 - Méthodes utilisées	
2 - Résultats de l'analyse granulométrique	
3 - Différenciation suivant le support alluvial.....	19
4 - Comparaison aux autres sols voisins : terreforts et sables fauves.....	20
a)- diagramme de texture	
b)- représentation de la granulométrie par le procédé géométrique de R. BETREMIEUX	

	Pages
5 - Granulométrie de la fraction inférieure à 2 μ	24
a) - technique utilisée	
b) - résultats	
 B/- NATURE MINERALOGIQUE DES CONSTITUANTS MINERAUX	
INFERIEURS A 2 μ	26
1 - Technique de séparation	
2 - Résultats obtenus	
C/- LA MATIERE ORGANIQUE DES BOULBENES.....	34
 III - <u>ORIGINE GEOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE PROBABLE DES BOULBENES...</u>	37
A/- GEOLOGIE DES SITES DE BOULBENES	
1 - Les terrasses alluviales.....	38
2 - Les alluvions anciennes.....	40
a)- les cailloux et graviers	
b)- les dépôts de surface : les limons	
B/- PEDOLOGIE.....	43
1 - Le lessivage.....	43
2 - Les concrétions ferro-manganiques.....	44
3 - Chaînes de sols.....	47
4 - Les problèmes climatiques.....	51
5 - Essai de classification.....	53
 IV - <u>CONCLUSIONS DE LA PREMIERE PARTIE</u>	55

DEUXIEME PARTIE

LES PROPRIETES PHYSIQUES

I - <u>LA STRUCTURE DES BOULBENES</u>	57
A/- STRUCTURE OBSERVEE A DIFFERENTES HUMIDITES.....	
1 - Horizon de surface	
a)- humidité élevée	
b)- faible humidité	
c)- sol très sec	
2 - En profondeur	

	Pages
B/- STABILITE STRUCTURALE.....	59
1 - Les tests classiques de stabilité	
2 - Résultats globaux	
3 - Interprétation détaillée.....	61
a)- la notion de stabilité à l'eau	
b)- le rôle des prétraitements	
c)- résultats obtenus.....	62
4 - Signification des variations des taux d'agrégats.....	64
a)- variation du taux d'agrégat alcool	
b)- variation du taux d'agrégat benzène	
- le rôle des matières organiques	
- efficacité de la matière organique sur la	
stabilité de la structure	
c)- le rôle des hydroxydes de fer	
5 - L'indice K.....	68
C/- CROUTES DE BATTANCE.....	69
1 - Les possibilités de formation	
2 - Observations et résultats.....	70
a)- description	
b)- les résultats analytiques	
D/- LA POROSITE DES BOULBENES.....	74
1 - Densité apparente	
a)- en sols non caillouteux	
b)- en boubènes caillouteuses ou graveleuses	
2 - Micro et macro-porosité.....	77
II - <u>LE COMPORTEMENT HYDRIQUE DES BOULBENES</u>	79
A/- TENEURS EN EAU CARACTERISTIQUE	
1 - La capacité au champ déterminée in situ.....	80
2 - le pF 4,2	81
3 - Relation pF - teneurs en eau.....	82
4 - Les réserves hydriques utilisables.....	84
B/- DYNAMIQUE DE L'EAU EN BOULBENE	85
1 - La réhumectation des boubènes.....	86
2 - Le dessèchement des boubènes.....	91

	Pages
III - <u>COMPORTEMENT MECANIQUE DES BOULBENES</u>	97
1 - Cohésion des mottes	
2 - Limites d'ATTERBERG	100
3 - Effritement - Fissuration	104
IV - <u>CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE</u>	106

TROISIEME PARTIE

CONSEQUENCES AGRONOMIQUES

I - <u>GENERALITES</u>	107
II - <u>POSSIBILITES D'AMELIORATION</u>	110
A/- <u>L'ASSAINISSEMENT</u>	
1 - Ados et fossés ouverts	111
2 - Le drainage	112
B/- <u>LE SYSTEME DE CULTURE</u>	
1 - L'importance des rotations et de l'assolement en boulbènes	113
2 - L'irrigation des boulbènes	
a)- difficultés d'implantation de cultures	116
b)- résultats d'essais d'irrigation en boulbènes..	117

CONCLUSIONS GENERALES

..... 125

BIBLIOGRAPHIE	130
---------------------	-----

" General impressions are never to be trusted. Unfortunately when they are of long standing they become fixed rules of life and assume a prescriptive right not to be questioned. Consequently, those who are not accustomed to original inquiry.... cannot endure the idea of submitting their sacred impressions to cold-blooded verification. But it is triumph of scientific men to rise superior to such superstitions, to desire tests by which the value of beliefs may be ascertained, and to feel sufficiently masters of themselves to discard contemptuously whatever may be found untrue ".

Sir Francis GALTON

INTRODUCTION

Le rôle d'une Station Agronomique consiste à rechercher et définir les meilleures conditions des productions agricoles actuelles ou souhaitables en fonction de la conjoncture économique. L'agronome doit donc partir d'une connaissance des problèmes agricoles, et les situer dans un cadre géographique défini principalement par la nature des terres et les caractéristiques du climat.

Cette démarche ne fait que rationaliser une attitude traditionnelle : les agriculteurs ont depuis très longtemps caractérisé leurs sols en les comparant entre eux, ce qui les a conduits à leur donner des noms rappelant à l'origine, leur nature ou leur comportement.

C'est ainsi que les boubènes, qui font l'objet essentiel de ce travail, correspondent à une famille de sols qui, dans le temps, était synonyme de "bonne terre" pris surtout dans le sens de "facile à travailler avec une seule paire de boeufs".

I - LA DENOMINATION BOULBENE EN LANGUE VERNACULAIRE

Ce terme de "boubène" est d'usage très ancien. Nous pouvons constater que de nombreux lieux-dits portent ce nom de longue date : ainsi un château du XVème siècle a donné son nom de Laboubène à une commune du Nord-Ouest de Castres. P. MENGAUD (1924) cite une famille toulousaine du nom de "La Boubène" qui apparaît sur des documents datés de 1603; ces indices nous permettent donc de penser que ce vocable était courant dès le XVIème siècle.

...../.....

Vraisemblablement ses origines se retrouvent dans la langue romane provençale ; d'après MISTRAL, l'étymologie découlerait du latin pulvis "poussière", en provençal aurait donné "bolbo" grain de poussière, ce qui caractérise directement la nature du matériau qu'il désigne.

Ce mot fut ensuite plus ou moins déformé par les dialectes locaux de même souche, languedocien et gascon, qui l'ont colporté d'Est en Ouest. C'est ainsi qu'il fut altéré en boulbèno, bourbaine, boubée, boubéo, et qu'il a vu son usage s'étendre dans tout le Sud de la France : Lauragais, Gascogne, Pyrénées, Causses du Quercy, et Périgord.

Ce terme défini étymologiquement par la grosseur des constituants minéraux, s'est trouvé associé, peu à peu, aux nombreux éléments du comportement issus des observations empiriques des agriculteurs. Dans le contexte régional, cela permettait justement de distinguer les boulbènes des terreforts voisins d'une part (terre forte, terre-fort), beaucoup plus riches en argiles et par conséquent offrant plus de ténacité, ce qui en rend le labour pénible, des terrains plus légers d'autre part, sables fauves et sables des Landes, de travail encore plus facile que les boulbènes. L'expression boulbène réunit ainsi un ensemble de qualités et de propriétés dont une synthèse a été faite par le Comte François de NEUFCHATEAU dans le "Dictionnaire d'Agriculture Pratique" publié à Paris en 1827. Ces observations décrivent précisément ce que l'on entend par "la terre que l'on appelle boulbène est blanchâtre...." elle se rencontre ordinairement à la gauche des rivières. Ses parties sont " plus ténues que la cendre de nos foyers..... se laisse pénétrer par les " pluies, et devient comme de la bouillie..... se dessèche sans se fendre et " requiert par la chaleur du soleil une dureté considérable. La gelée n'a " aucune prise sur elle..... son épaisseur..... est d'environ deux centimètres: " elle pose sur des bancs d'argile colorés..... par l'oxyde de fer.... " (et renfermant) des conglomérations ayant la dureté et l'apparence de la " pierre brûlée, on les appelle communément grep. Il résulte des caractères " que nous venons d'exposer, que ce que les cultivateurs appellent boulbène, " n'est autre que de l'argile, mêlée de silice".

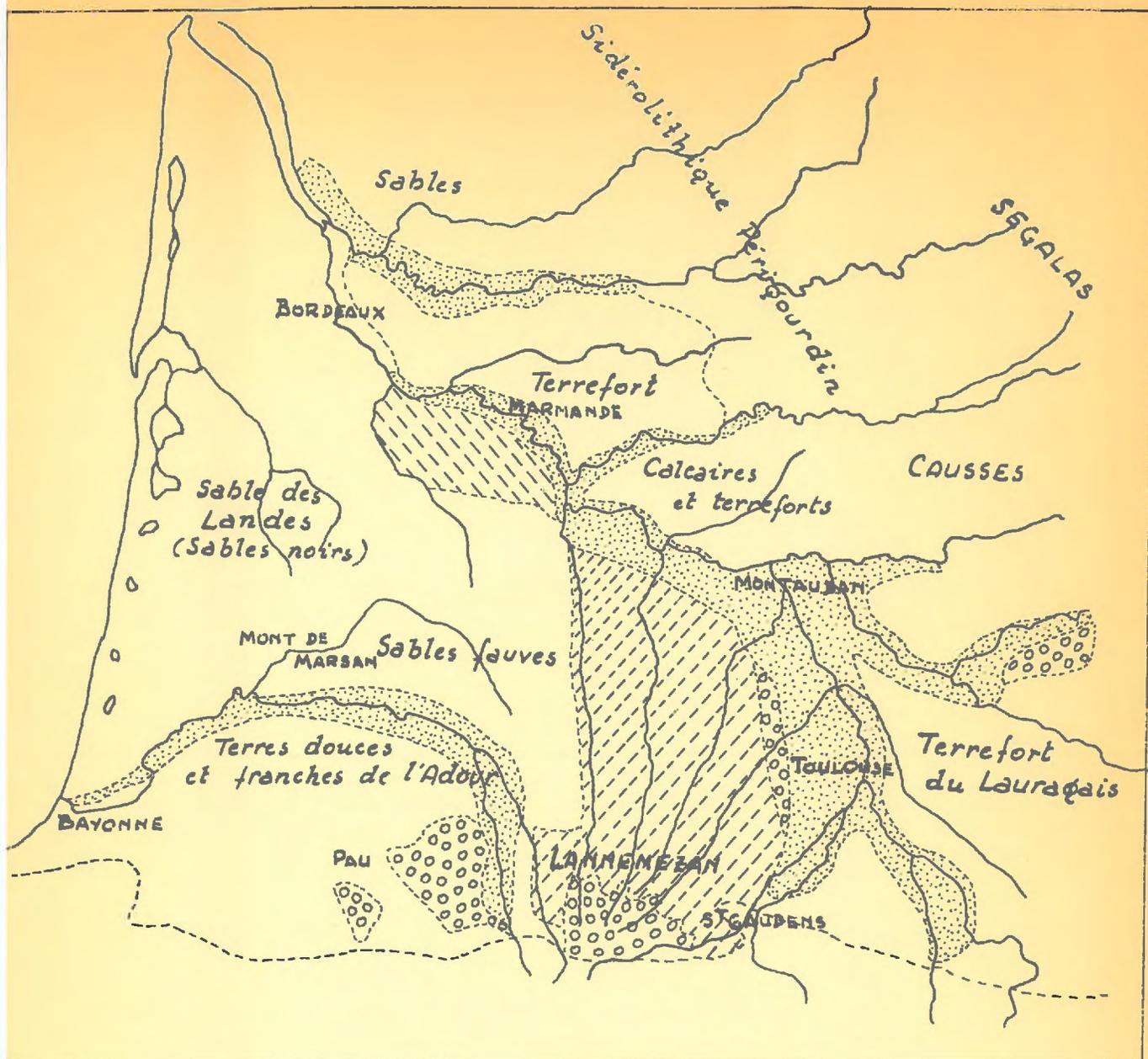
Cette appellation s'applique donc à un ensemble de sols dont les propriétés physiques, tributaires du matériau, constituent le caractère primordial, et présente pour l'agronome moderne une réelle utilité. Toutefois, ces dénominations établies par comparaison sont systématiquement faussées du fait que la référence n'est pas toujours la même. Nous voulons dire par là, qu'à côté d'une formation très argileuse, une autre formation moins argileuse peut déjà être considérée comme boubène, alors qu'au voisinage de formations sableuses, un sol légèrement argileux recevra la dénomination de terrefort.

Pour expliciter ce terme vernaculaire, délimiter son champ d'application, définir sa valeur agronomique, nous aurons à préciser chacun des éléments précédents au moyen d'arguments chiffrés, et expliquer quelques uns des mécanismes essentiels de leur comportement.

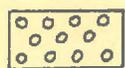
Le problème qui se pose donc au chercheur, consiste à rechercher les critères objectifs, et autant que possible absolus, permettant de préciser les limites des appellations vernaculaires. Ayant ainsi redéfini les types, il devra évidemment en préciser l'extension géographique et essayer de comprendre la raison de cette distribution. Revenant enfin à la démarche primitive du praticien, qui avait été conduit à caractériser son milieu par un comportement, il lui faudra alors en préciser les propriétés.

II - LES BOULBENES PARMI LES AUTRES GRANDS TYPES DE SOLS DU SUD-OUEST : TERREFORTS et SABLES FAUVES - (Graphique 1)

Lorsqu'on parcourt le pays Aquitain, on constate que la répartition des boubènes se fait essentiellement en fonction de la morphologie. Evidemment, ces sols légers, sensibles à l'érosion, n'ont pu subsister depuis leur mise en place et n'ont pu évoluer sous leur forme actuelle que dans les situations peu accidentées. De larges couloirs alluviaux, généralement constitués de plateaux étagés dont les sols essentiellement limoneux donnent les boubènes, se succèdent et s'opposent aux croupes molassiques uniformément recouvertes d'une formation argileuse correspondant aux terreforts (argile grumeleuse de coulière : G.ASTRE, 1959).



zone a boubènes



prédominance de boubènes caillouteuses



boubènes et terreforts de l'Armagnac
(non différenciés sur la carte)



boubènes et sables du Queryan
(non différenciés sur la carte)

Graphique 1. - CARTE SCHEMATIQUE SITUANT LES ZONES
OÙ PRÉDOMINENT LES BOULBÈNES.

(d'après Enjalbert)

L'importance de ces plaines alluviales est considérable. Citons que la plaine de la Garonne a 20 km de large à la hauteur de Toulouse, celle de l'Ariège à Pamiers 11 km, et celle du Tarn et de la Garonne à Montauban 15 km. Les vallées de ces grandes rivières sont dissymétriques, le cours d'eau est dominé par un versant raide de rive droite, taillé dans les formations molassiques, tandis qu'il a laissé sur sa gauche un vaste système de glacis et de terrasses. Cette disposition alluvionnaire se fait sentir dans les petites vallées comme dans les grandes : par exemple, dans la vallée du Girou, la rive droite est constituée par des côteaux de terrefort, tandis que les boubènes caillouteuses forment une bordure en pente douce du côté gauche (LEYMERIE, 1881).

A l'Ouest ce type de relief subsiste à échelle plus réduite, bien que dans sa plus grande largeur la vallée de l'Adour s'étale sur près de 8 km. On peut ainsi comparer aux grands systèmes alluvionnaires du Toulousain, les vallées dissymétriques de la Gascogne. Là encore s'opposent les boubènes des plateaux limoneux et les terreforts des argiles à galets (glaises bigarrées) situées en position dominante. L'importante formation des sables fauves se manifeste ici, portant en général des terres plus douces que les boubènes; toutefois les caractères de celles-ci peuvent apparaître lorsque ces sables présentent une dominante limoneuse.

La topographie joue ici, plus qu'ailleurs, un rôle important dans les possibilités de transports latéraux et de remaniements, susceptibles d'enrichir les sables fauves en éléments fins ou grossiers, et de modifier ainsi leur texture d'origine. (DELMAS et al, 1956, 1959).

III - SITUATION DES BOULBENES, LES DIFFERENTS TYPES -

Le domaine des boubènes s'étend donc à l'ensemble des nappes d'alluvions anciennes limoneuses, parfois même à celles de la basse plaine, soit à la plus grande partie des glacis et des terrasses fluviatiles des grandes rivières, aux alluvions anciennes des rivières de moindre importance, aux plaines des cuvettes d'évidement (plaine de Revel par exemple), enfin aux anciens dépôts du piedmont (Lannemezan).

..../...

Par ailleurs, des boubènes se rencontrent en zone plate de terrefort, par suite de l'évolution de dépôts fins siliceux constituant des placages sur les formations molassiques, ou encore sur ce même type de matériau masquant les sables fauves.

Suivant l'intensité des pentes et leur orientation par rapport aux vents dominants, la transformation et l'évolution du sol sont liées aux phénomènes de décapage, de transport par l'eau ou par le vent, de lessivage, ou à ces actions conjuguées. C'est ainsi que toute formation siliceuse à limons fins, recouvrant des versants de faible pente, ou s'accumulant au bas des talus, a donné des boubènes. C'est le cas de surfaces importantes de l'Astarac où ces sols portent les noms de bouvée ou boubée.

Malgré leur faible relief, les terrasses alluviales ne sont pas à l'abri des effets de l'érosion. Ce phénomène est surtout visible au niveau des talus séparant les terrasses, ainsi qu'à la moindre rupture de relief pour chacun des plateaux. On rencontre alors des sols qui s'éloignent de la boubène à la fois par leur aspect et leur comportement, les rougets (de couleur rougeâtre) plus chargés en hydroxyde de fer et en argile et mieux structurés, des sols plus argileux ayant les caractéristiques des terreforts, ou encore des sols plus franchement sableux. La succession sur de courtes distances de terres aux caractères sensiblement différents suivant leur position topographique constitue des chaînes de sols, ayant comme facteur commun le matériau limoneux d'origine, et dont les variations portent sur les taux d'argile et de fer ainsi que sur la proportion de cailloux et de graviers. Dans ce dernier cas les transitions sont franches : la présence ou l'absence d'éléments grossiers étant liée au décapage ou au recouvrement d'un horizon caillouteux. Dans l'exemple que nous décrivons, malgré le faible pourcentage de pente, l'entraînement latéral des éléments fins ou pseudo solubles dû aux effets de l'érosion aboutit à des apports continuels de surface vers les parties basses. L'évolution pédologique ne se manifeste alors dans son intégrité que sur les zones où les phénomènes d'érosion ne sont plus capables de la contrarier ou de la masquer. Ainsi apparaît, dans quelques cas, une mosaïque de sols qui tend à rompre l'homogénéité de ces formations limoneuses.

On conçoit donc la nécessité, pour l'agriculteur, de préciser les limites pour lesquelles une terre correspond à l'appellation de boubène. Pour cette famille de sols, aux caractéristiques par trop largement définies, divers qualificatifs ont permis une classification empirique basée sur les différences de situation ou de nature.

D'après leur site on distingue couramment :

...../...

- les boubènes des plateaux : en coteaux molassiques, sur quelques croupes ou versants à faible pente. Ce sont des sols issus d'apports alluviaux et éoliens anciens qui ont pu s'ajouter aux produits de décomposition d'un faciès siliceux de la molasse, toutefois l'altération de ces différents éléments a été si poussée qu'ils ne peuvent plus être identifiés les uns des autres (ENJALBERT, 1960),

- les boubènes des vallées dissymétriques,

- les boubènes des glacis et des hautes terrasses.

Ces deux dernières situations intéressent la plus grande partie de l'ensemble des sols de boubène, soit environ le quart de la surface totale du Sud-Ouest de la France, exception faite des sables des Landes.

D'après l'aspect, la nature ou le comportement du sol, différents types se diversifient dans chacune de ces situations et particulièrement dans les deux derniers cas. L'utilisateur s'est trouvé amené à définir des types de transition au moyen d'une nomenclature dont les appellations courantes sont les suivantes :

- boubènes blanches : de couleur très claire quand elles sont sèches, ce sont celles qui possèdent les caractères typiques les plus accentués : battantes, froides, et qui serviront de base à cette étude,

- boubènes franches : aux caractères moins accusés que les précédentes, elles constituent l'intermédiaire entre les boubènes blanches et les terres douces lorsque la teneur en sables grossiers augmente,

- boubènes bâtardes : renferment plus d'argile que les boubènes franches et dans le cas des boubènes de plateaux, tendent vers les terreforts en conservant toutefois des caractères de battance fortement accusés,

- boubènes douces : conservant le caractère de sol léger, limoneux mais peu battant, elles se rencontrent surtout en basse plaine où elles font la liaison avec les terres franches (terres de rivière),

..../...

- boulbènes sableuses : enrichies en sables, lorsque le caractère sableux domine, on passe aux sols sableux,

- boulbènes caillouteuses, ou boulbènes graveleuses ou à graviers, suivant la taille des éléments grossiers : sont susceptibles de présenter indifféremment les caractères précédemment définis. La présence de cailloux en surface a, dans cette classification, prédominé sur tous les autres facteurs de nature ou de comportement. Ces sols se rencontrent préférentiellement en bordure des glacis alluviaux ou des hautes terrasses, dans ces cas ils passent progressivement aux rougets par décapage de l'horizon A. Lorsque ces sols sont en partie issus de la nappe caillouteuse, en l'absence de limons de couverture, on tend alors vers les terres douces à graviers.

Ces diverses appellations sont uniquement basées sur l'observation de l'horizon de surface habituellement travaillé, de plus il est souvent malaisé d'obtenir l'accord des agriculteurs sur les limites attribuées à l'une ou l'autre de ces appellations.

Dans ce pays de contrastes qu'est le Sud-Ouest, où l'on a pu dire que "le sol change à chaque pas", les agriculteurs sont parvenus cependant à schématiser leur terroir en trois grands ensembles : terreforts, boulbènes, sables fauves.

En ce qui concerne les boulbènes, il nous a paru nécessaire et d'actualité, au moment où se pose avec plus d'acuité l'aménagement des grands ensembles régionaux, de participer à leur caractérisation et de définir de manière scientifique leur appellation traditionnelle.

Pour ce faire, plutôt que d'utiliser la classification précédente, qui nous paraît conduire à des confusions par suite de son imprécision, nous avons préféré analyser de manière approfondie la nature et le comportement de différents profils typiques. A partir de ce choix, il nous sera possible d'étendre le bénéfice de nos recherches à l'ensemble des boulbènes, compte tenu des légères différences qui définissent les types voisins intermédiaires avec les autres grandes familles de sols.

Nous préciserons d'abord les caractères texturaux et minéralogiques des boubènes. Nous aborderons ensuite l'étude des propriétés physiques liées au matériau ainsi défini; ceci nous permettra d'interpréter l'ensemble de leur comportement en dégagant leurs propriétés agronomiques, leur potentialité, leur aptitude culturale et en envisageant les possibilités d'amélioration.

Nous croyons parvenir ainsi à l'objectif que nous nous sommes fixé : la caractérisation rationnelle des boubènes.-

P R E M I E R E P A R T I E

C A R A C T E R E S G E N E R A U X D E S B O U L B E N E S

I - PROFILS TYPIQUES DES SOLS DE BOULBENES

L'usage ancien s'est contenté de classer les boubènes principalement selon l'aspect de la couche de terre arable. Cependant, l'évolution de l'agriculture a fait ressortir l'importance de la nature et de la profondeur du sous-sol sur le comportement de ces sols. (LIWERANT, 1939, 1946 - TELLIEZ et al 1959). En effet, on rencontre sous une surface relativement homogène une grande diversité des horizons sous-jacents et les nombreux résultats analytiques obtenus depuis quelques années à la Station d'Agronomie de Toulouse, ainsi que la prospection détaillée d'un secteur d'alluvions anciennes ont confirmé l'importance que revêt le sous-sol dans le comportement des boubènes (MARTY et FIORAMONTI, 1965).

C'est pourquoi nous avons complété cette classification en utilisant comme critère de différenciation la nature du sous-sol, ce qui nous mène à distinguer 4 profils typiques de ces sols :

- 1°- Boubène profonde - (Fronton - Villaudric)
- 2°- Boubène sur horizon argileux -(St. Clar 1)
- 3°- Boubène sur lit de cailloux et graviers - (Labastidette)
- 4°- Boubène sur grep consolidé
 - a)- Boubène caillouteuse - (Plaisance)
 - b)- Boubène non caillouteuse - (St. Clar 2)

.../...

Nous nous efforcerons de compléter ou de préciser des connaissances déjà acquises en conservant une orientation essentiellement agronomique à notre travail. C'est ainsi que la caractérisation des profils, effectués uniquement en sols cultivés, procédera davantage de l'analyse du profil cultural (S.HENIN et al, 1960) que de la pédologie; nous espérons ainsi pouvoir définir les boubènes principalement par leurs propriétés et leur comportement, liés à la nature des matériaux et au système de culture. Avant d'aborder l'étude de ces profils types, nous aurons à considérer la présence des cailloux et des graviers.

A/- LES ELEMENTS GROSSIERS

En boubène, les cailloux, éléments supérieurs à 5 cm, sont généralement roulés, plus ou moins ovoïdes, les graviers compris entre 2 mm et 5 cm sont parfois moins arrondis et dans le cas des cuvettes d'évidement leurs arêtes sont à peine émoussées. Ces éléments peuvent apparaître en surface, soit au hasard des courants qui ont participé à leur dépôt, soit à la suite de l'érosion qui a entraîné les limons de recouvrement.

La présence et la proportion de ces éléments grossiers dans le profil dépendent de nombreux facteurs et leur apparition ou leur disparition soudaine peut sembler anarchique. Toutefois, quelques tendances générales ont été observées : ainsi lorsque les cailloux sont absents superficiellement on rencontre en général un horizon argileux en profondeur (MALTERRE, 1956). Au contraire, des boubènes caillouteuses dès la surface sont l'indice que la proportion de cailloux ou de graviers risque d'augmenter avec la profondeur, et la présence de grep devient probable.

Nous pouvons donc avoir des boubènes très caillouteuses (profil 4a) ou peu caillouteuses (profil 3) ou encore ne renfermant pratiquement pas d'éléments supérieurs à 2 mm (profil 2). Ces différents types se rencontrent indifféremment quel que soit le niveau de la terrasse; cependant les sols caillouteux se manifestent avec une plus grande fréquence sur les hautes terrasses et les niveaux supérieurs.

...../...

La présence ou l'absence de cailloux confère à ces sols un caractère d'hétérogénéité qui est, comme nous le verrons par la suite, plus apparent que réel. C'est pourquoi nous considérerons essentiellement ces éléments comme susceptibles de diminuer la potentialité des terres qui en renferment, tout en rendant leur travail plus pénible. Dans l'étude des profils nous tiendrons compte de leur taux, alors que l'analyse texturale ne portera uniquement que sur la terre fine débarrassée au préalable des cailloux et des graviers.

B/- LES PROFILS

1 - PROFIL I : BOULBENE PROFONDE

Description d'un profil sur alluvions anciennes du Tarn (notation Fx de la carte géologique). Graphique 2

Verger enherbé temporairement, situé à Villaudric (observations effectuées 8 ans après défoncement à 40 cm).

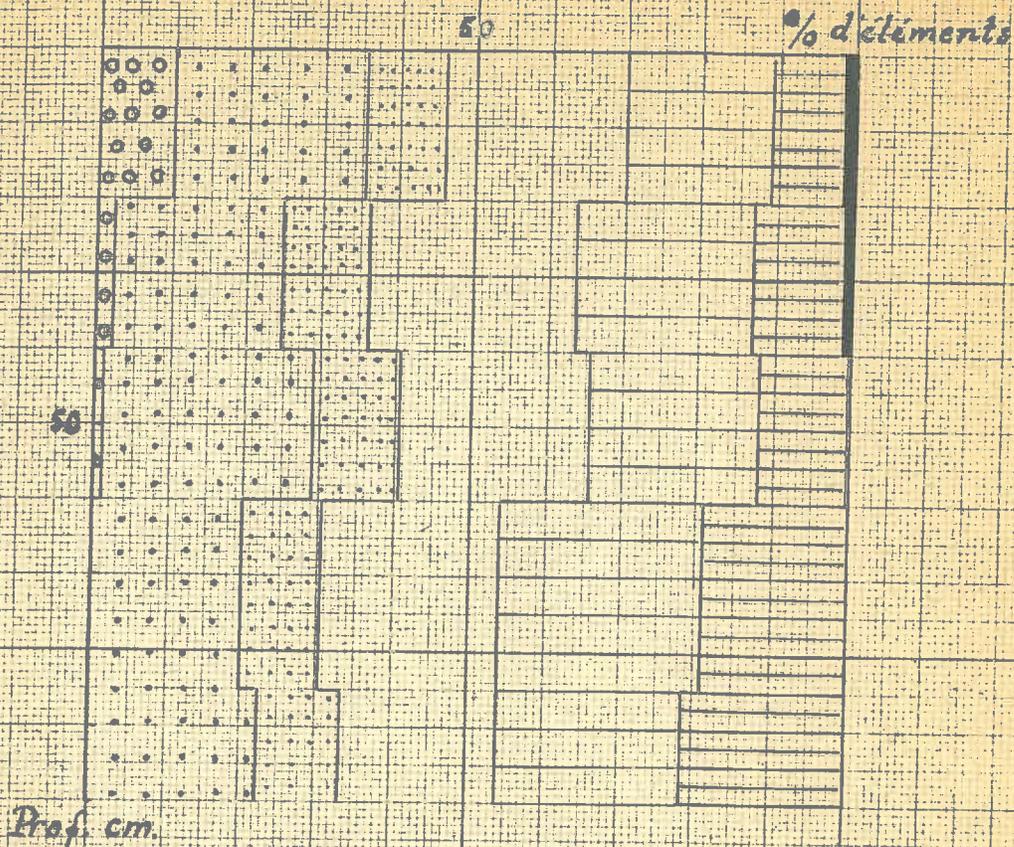
0 - 20 cm - Horizon à texture limono-sableuse, meuble, de couleur marron clair, renfermant de rares graviers à bords arrondis (moins de 2 %), et des débris organiques en voie de décomposition, activité biologique faible.

La structure grossière est inexistante, l'horizon présente un aspect continu; autour des racines des graminées la structure fine est grumeleuse, de 1 à 2 mm, de faible cohésion, ailleurs la tendance est particulière. Racines nombreuses et saines de graminées. Fines et rares radicelles de pêcher.

20 - 40 cm - limono sableux, de couleur plus claire tendant au grisâtre lorsqu'il est sec, légèrement compact, activité biologique peu visible. Absence de structure construite, l'ensemble est continu, légèrement caverneux, la structure fine est particulière. Racines de graminées encore nombreuses dont quelques unes sont rouillées. Nombreuses racines de pêcher dont la majorité chemine à l'horizontale au bas de l'horizon à la limite du défoncement.

.../...

Graphique 2 - Profil 1 : boubène profonde



Légende

- | | | | |
|---|------------------------------------|---|----------------------|
|  | Cailloux et graviers
> 2 mm |  | Argile
< 0,002 mm |
|  | Sables grossiers
0,2 à 2 mm |  | Matières organiques |
|  | Sables fins
0,05 à 0,2 mm |  | Peup non consolidé |
|  | Limons grossiers
0,02 à 0,05 mm |  | Peup consolidé |
|  | Limons fins
0,002 à 0,02 mm |  | Cailloufés |

- 40 - 60 cm - Limono sableux, marron clair, compact. Structure grossière continue, caverneuse à petits trous, structure fine à tendance polyédrique de très faible cohésion. Quelques racines de graminées, rouillées, rares racines de pêcher. Marmorisation légère et diffuse par taches ocre .
- 60 - 85 cm - Limono sableux, marron clair avec taches ocres, compact, Structure grossière continue avec tendance aux clivages verticaux, caverneuse, structure fine à tendance polyédrique de 1 à 2 mm de faible cohésion. Marmorisation nette avec taches ocre , quelques concrétions ferriques friables. Très rares racines de graminées.
- 85 - 100 cm - Horizon limono-argilo-sableux, ocre à taches rouilles, compact. Structure grossière de tendance polyédrique de 5 à 7 cm aplatie et à clivages verticaux. Structure fine polyédrique de 2 à 3 mm de faible cohésion. Marmorisation par traînées ocre et taches rouille , quelques concrétions ferriques friables. Présence de rares racines saines.

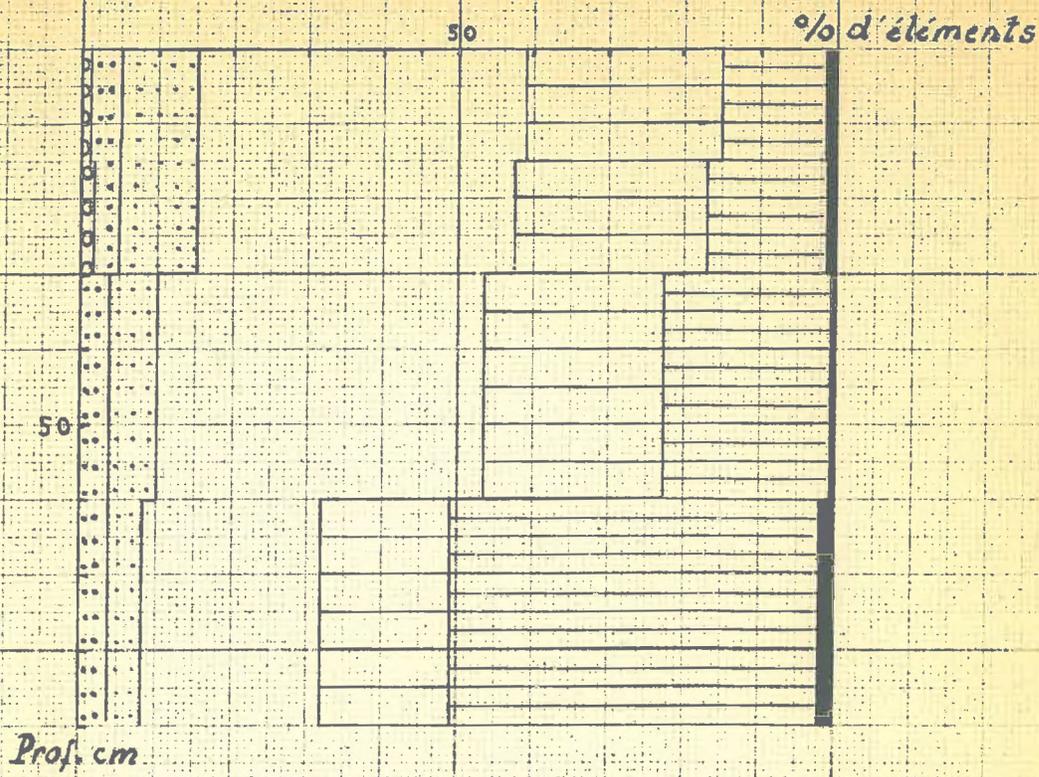
2 - PROFIL 2 : BOULBENE SUR HORIZON ARGILEUX

Profil sur alluvions anciennes de la Garonne (Fx) (parcelle sous blé, située à St. Clar n° 1) - Graphique 3

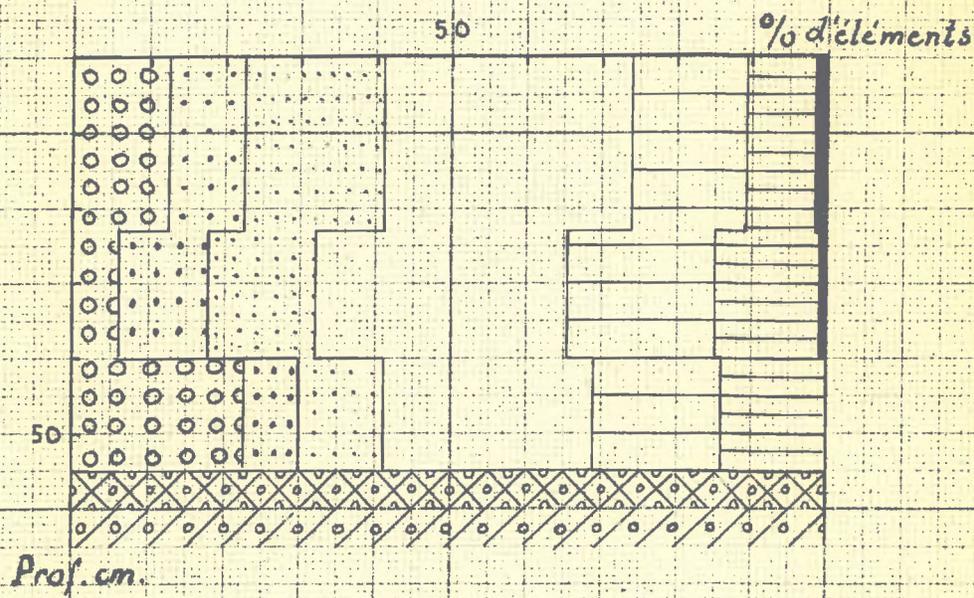
- 0 - 16 cm - Texture limoneuse renfermant quelques très rares graviers de quartzites (1,0 %). Horizon brun clair, peu compact, pauvre en matières organiques, avec résidus organiques enfouis non décomposés, activité biologique faible. En surface, tendance à la battance. Il n'y a pas de structure grossière construite, l'horizon est continu; la structure fine est à tendance grumeleuse de 1 à 2 mm de faible cohésion.

.../...

Graphique 3 - Profil 2 : Boulbène sur argile



Graphique 4 - Profil 3 : boubène sur cailloulis



- 16 - 30 cm - Texture limoneuse constituant un horizon brun clair, compact, peu travaillé, avec quelques infiltrations de matières organiques dans les galeries, activité biologique assez bonne par place, l'enracinement prend une tendance horizontale à 30 cm. Structure grossière continue avec clivages verticaux se divisant en structure fine particulaire à faible tendance polyédrique de 1 mm de très faible cohésion (cailloux et graviers 1,5 %).
- 30 - 60 cm - Limon argileux brun très clair avec taches ocre jaune, moins compact que l'horizon sous-jacent, présentant des caractères d'hydromorphie (marmorisation diffuse avec répartition assez uniforme de petites taches ocre jaune). Activité biologique faible. L'enracinement s'arrête à 50 cm, chevelu radicaire important dans les galeries de vers. Structure grossière prismatique à tendance verticale de très faible cohésion, structure fine polyédrique de 1 à 2 mm de bonne cohésion.
- 60 - 100 cm - (et au-dessous jusqu'à 140 cm par sondage) - Horizon argileux brun ocre, taché de bleu, non réducteur actuellement. Importante et nette marmorisation avec très nombreux granules argilo-ferrugineux ocre jaune, uniformément répartis dans une masse bleuâtre.

3 - PROFIL 3 - BOULBENE SUR LIT DE CAILLOUX ET GRAVIERS

Description d'un profil sur alluvions anciennes de la Garonne (Fyx) - Graphique 4 (parcelle en sol nu travaillé, située à Labastidette).

- 0 - 23 cm - Limon sableux avec galets arrondis et graviers de quartzites (12,7 %). Horizon brun clair, devenant blanchâtre en séchant, légèrement compact, avec peu de matières organiques et une faible activité biologique. Structure grossière continue, à légère tendance polyédrique avec clivages horizontaux mais de très faible cohésion.

- 23 - 40 cm - Limon sableux avec moins de cailloux qu'en surface (6,0 %).
Horizon décoloré brun très clair, à l'état humide, blanchâtre en séchant, légèrement compact, sans activité biologique visible. La structure grossière est continue avec une faible tendance polyédrique à clivages horizontaux, légèrement caverneuse. Marmorisation diffuse avec taches ocre et grisâtres. Présence de petites concrétions ferro-manganiques dures.
- 40 - 55 cm - Limon argilo sableux brun ocre, renfermant de nombreux et gros cailloux roulés (22,6 %). La structure fine de la terre entre les cailloux est à tendance polyédrique. Présence de nombreuses concrétions ferrugineuses. Dépôts noirs sur les cailloux.
- à partir de 55 cm - Cailloutis de graviers et de petits galets roulés réunis par un complexe argilo-ferrugineux noirâtre avec des concrétions durcies (grep caillouteux non consolidé).

4 - BOULBENES SUR GREP

a)- Cas général en sol caillouteux : dans cet exemple qui correspond à la plus grande fréquence, les concrétions ferro-manganiques soudent les graviers en un conglomérat très dur sans atteindre la prise en masse type "dalle de béton", parfois cette prise s'effectue et le grep se durcit et devient impénétrable.

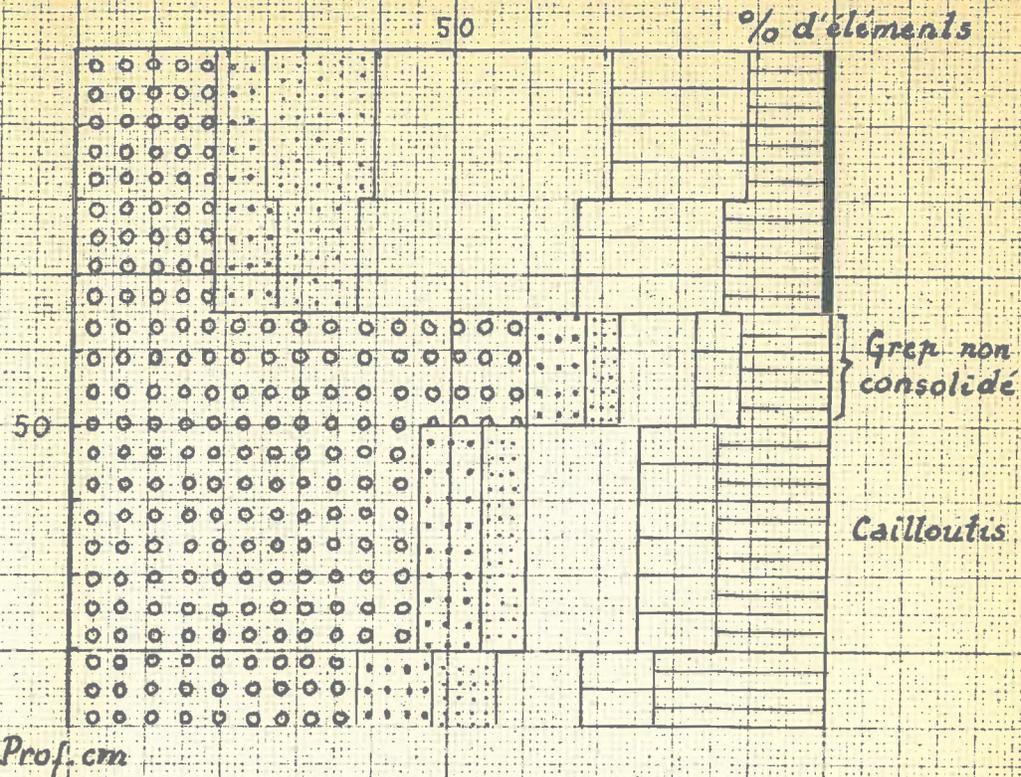
PROFIL 4 a

Description d'un profil sur alluvions anciennes de la Garonne (Ex)
(jachère après arrachage de pêcheurs, située à Plaisance du Touch)- Graphique 5.

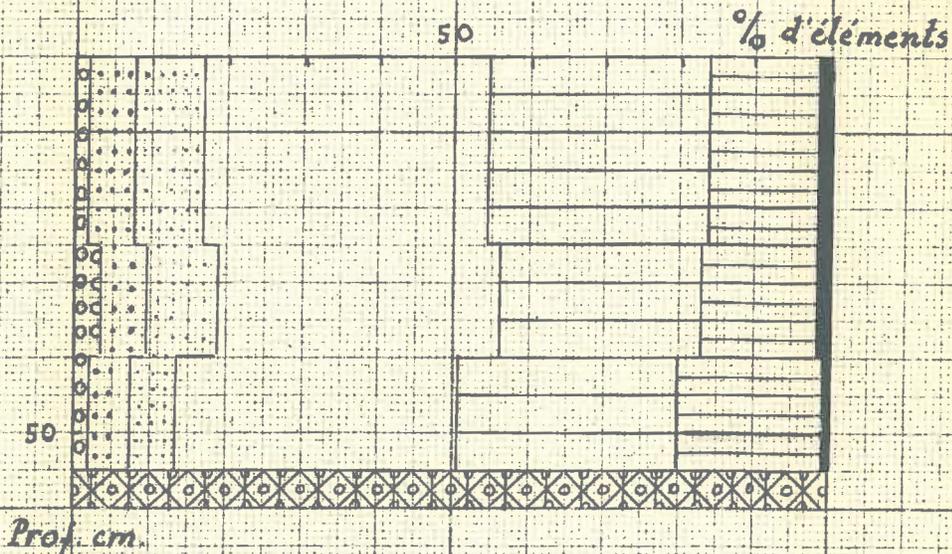
- 0 - 20 cm - Horizon limono-sableux, marron clair, compact et caillouteux avec de gros galets roulés, renfermant des débris organiques peu décomposés, activité biologique peu visible. Structure grossière continue, légèrement caverneuse, la structure fine a une tendance polyédrique de très faible cohésion. On observe des croûtes de battance enfouies à structure feuilletée, de 1 cm d'épaisseur, délimitant des zones sèches et au contact desquelles les racines passent à l'horizontale.

.../...

Graphique 5 - Profil 4a) : bouldène caillouteuse sur grep



Graphique 6 - Profil 4b) : bouldène non caillouteuse sur grep



La tendance à l'hydromorphie est nettement caractérisée dès la surface par des gaines de rouille aux racines, des concrétions ferro-manganiques friables vers le bas de l'horizon, des traces grises de lessivage avec zone réductrices et des taches de gley autour de matières organiques enfouies. A 20 cm de profondeur, entre les cailloux, la terre fine présente un caractère lissé et compact, de structure lamellaire sur environ 1 cm, caractérisant une semelle de labour.

20 - 35 cm - Horizon limono-sableux légèrement enrichi en argile, caillouteux compact, marron plus foncé. La structure est identique à l'horizon précédent avec une tendance plus marquée vers une polyédrique fine de meilleure cohésion. L'hydromorphie et la marmorisation sont très poussées, cet horizon caractérise le pseudo-gley. L'enracinement est peu abondant, taché de rouille. Présence de concrétions ferro-manganiques noirâtres.

35 - 50 cm - Horizon très caillouteux, peu de gros galets, mais de nombreux graviers et concrétions noires, les éléments grossiers sont réunis par un ciment limono-argileux de couleur gris-rouille. Horizon très compact, difficilement friable, renfermant cependant de très fines radicelles saines.

50 - 80 cm - Horizon comparable au précédent, le ciment devient plus argileux avec une structure fine polyédrique de bonne cohésion. La couleur devient plus ocre, les concrétions sont moins nombreuses. Le ciment très compact est de couleur grise avec des traînées ocre, il y a encore de très fines radicelles saines autour de quelques gros galets.

au-dessous de 80 cm - Les cailloux deviennent plus gros et alternent avec des lits de graviers. Les uns et les autres sont emballés dans un ciment argileux peu compact, de couleur gris-bleu, actuellement non réducteur, et à structure polyédrique de faible cohésion. De nombreux galets roulés de granite sont en voie de décomposition et laissent, par place, une arène de nombreux micas jaunes. Cet horizon apparaît nettement plus humide.

.../...

b)- Cas particulier en sol non caillouteux : dans cet exemple la "dalle de béton" impénétrable s'est formée. Le grep atteint alors une telle cohésion qu'il peut être utilisé comme matériau de construction. C'est le cas notamment de quelques murs de fermes du voisinage.

PROFIL 4 b

Description d'un profil d'alluvions anciennes de la Garonne situé à St. Clar n° 2 (Fx) (parcelle en friche) Graphique 6

- 0 - 25 cm - Limon avec sable fin, renfermant quelques rares cailloux roulés (1,3 %). Horizon brun très clair avec des taches grisâtres, compact, à activité biologique faible, renfermant peu de matières organiques, mais quelques résidus végétaux enfouis non décomposés. Sol battant avec d'anciennes croûtes de battance enfouies à 10 cm, créant des circulations d'eau préférentielles avec des zones totalement sèches alors que l'ensemble du profil était réhumecté. Structure grossière continue, clivages horizontaux à aspect schisteux de faible cohésion, structure fine particulière. L'hydromorphie, quoique peu importante, commence dès 15 cm. (semelle de la dernière façon culturale) et se manifeste par quelques traînées ferrugineuses et la présence de rouille sur les racines.
- 25 - 40 cm - Horizon se différenciant du précédent par une structure grossière continue caverneuse, par une hydromorphie plus importante avec des taches marron ocre diffuses, par une compacité moindre et par un taux de cailloux et graviers un peu plus élevé (3,6 %).
- 40 - 55 cm - Limon argileux, avec quelques rares cailloux roulés (1,7 %). Horizon brun ocre, compact, avec une activité biologique très faible et ne renfermant pratiquement plus de racines. Structure grossière continue, clivage à tendance verticale. Marmorisation diffuse plus nette que dans l'horizon précédent et devenant de plus en plus importante avec la profondeur.

.../...

55 - 58 cm - Lit de graviers amalgamés par un ciment argilo-ferrugineux à structure polyédrique de 2 à 3 mm de bonne cohésion, nombreuses concrétions ferriques.

à 58 cm - Conglomérat noirâtre de cailloux et de graviers soudés par des concrétions ferro-manganiques.

Du point de vue chimique, les différents horizons des boubènes ne renferment pas de carbonate de calcium. Toutefois ces sols sont rarement très acides par suite probablement des marnages intensifs dont ils furent l'objet jusqu'à une période datant d'une cinquantaine d'années. Actuellement l'utilisation des scories de déphosphoration apporte des quantités de chaux susceptibles de maintenir leur état calcique à un niveau satisfaisant. C'est ainsi que leur pH, déterminé en présence d'eau, oscille autour de 6 pour la généralité des sols cultivés, il peut descendre à des valeurs de 5 dans quelques sols sous vigne (FIORAMONTI et al, 1965), ou encore inférieures sous forêt (MALLET et LIVERANT, 1956). Le complexe adsorbant des différents profils possède un taux de saturation compris entre 70 et 90 %; dans les cas précédents cités, où l'acidification est plus marquée, le taux de saturation peut s'abaisser au-dessous de 50 %.

La matière organique, en quantité relativement faible, sera l'objet d'une étude particulière.

Ces observations rendent compte des principaux types de profils de boubènes dans lesquels l'horizon superficiel présente une homogénéité de ses constituants dont nous allons maintenant préciser les caractères texturaux et minéralogiques.

.../...

II - ELEMENTS CONSTITUTIFS DES BOULBENES

A/- GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE

1°- Méthodes utilisées

La séparation des différentes fractions granulométriques sur la terre fine séchée et tamisée à la passoire de 2 mm, a été réalisée par la méthode Internationale procédant par sédimentations successives jusqu'à épuisement complet des fractions inférieures à 20 μ . Des tamisages successifs à sec ont séparé les fractions à partir de 50 μ jusqu'à 1 mm. Ces opérations étaient précédées par un traitement de la terre à l'eau oxygénée dans le but de détruire les matières organiques, la mise en suspension de l'argile s'effectuait en présence d'hexamétaphosphate de sodium.

Cette méthode permet de récupérer l'intégralité de chacune des fractions, et par la suite l'étude plus approfondie de certaines d'entre elles, tout en nous assurant la possibilité de vérifier nos bilans.

2°- Résultats de l'analyse granulométrique

L'ensemble des résultats a été traduit sous forme de courbes granulométriques cumulatives et polygones de fréquence (Mme MERIAUX, 1954) en ne tenant compte que des pourcentages ramenés à la fraction minérale de la terre fine sèche. L'échelle des abscisses est exprimée en logarithme décimal des différents diamètres. Ces résultats concernent des boubènes de diverses provenances : profils typiques d'alluvions anciennes de la Garonne (Graphique 7) profils typiques d'alluvions anciennes du Tarn et de l'Adour (Graphique 8).

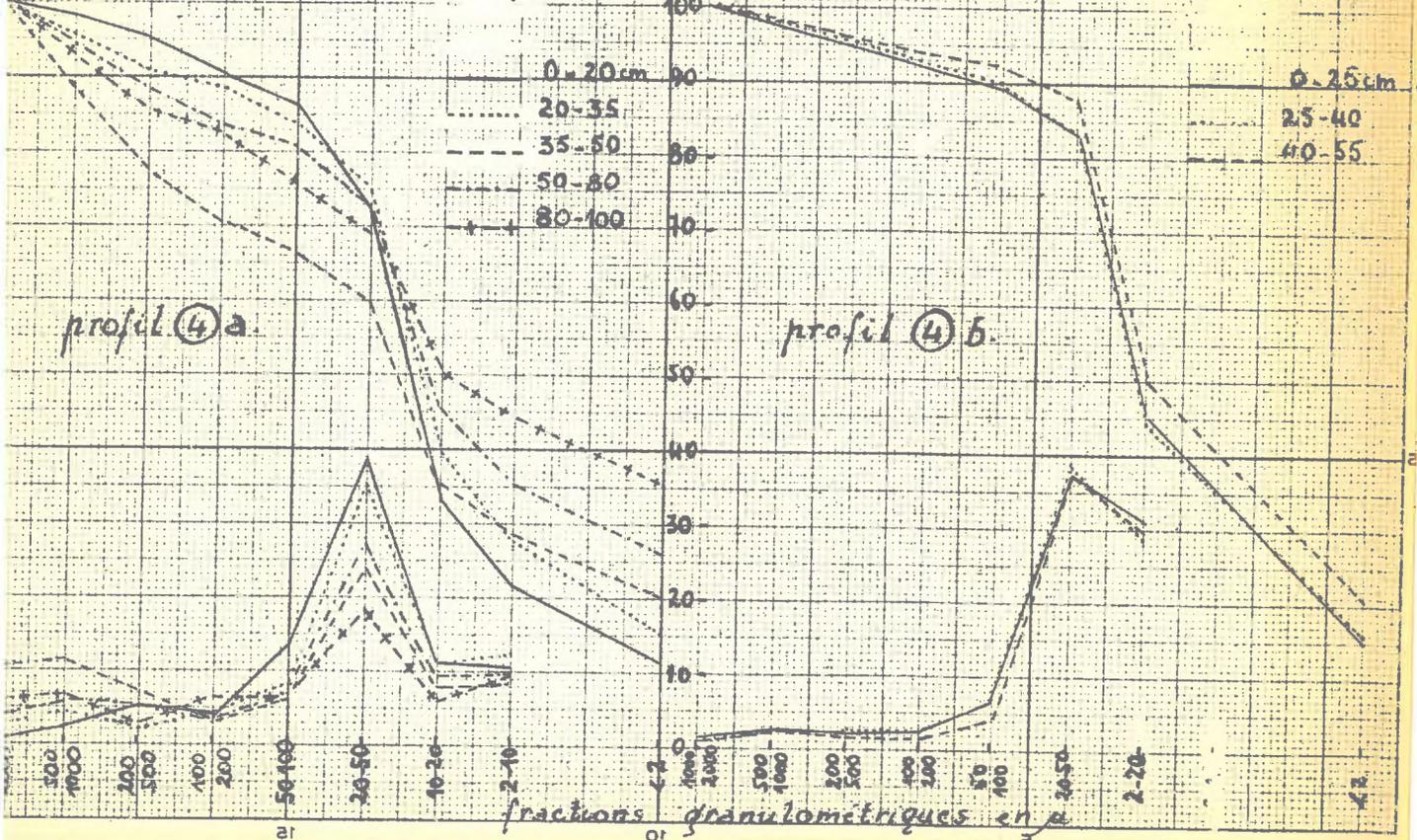
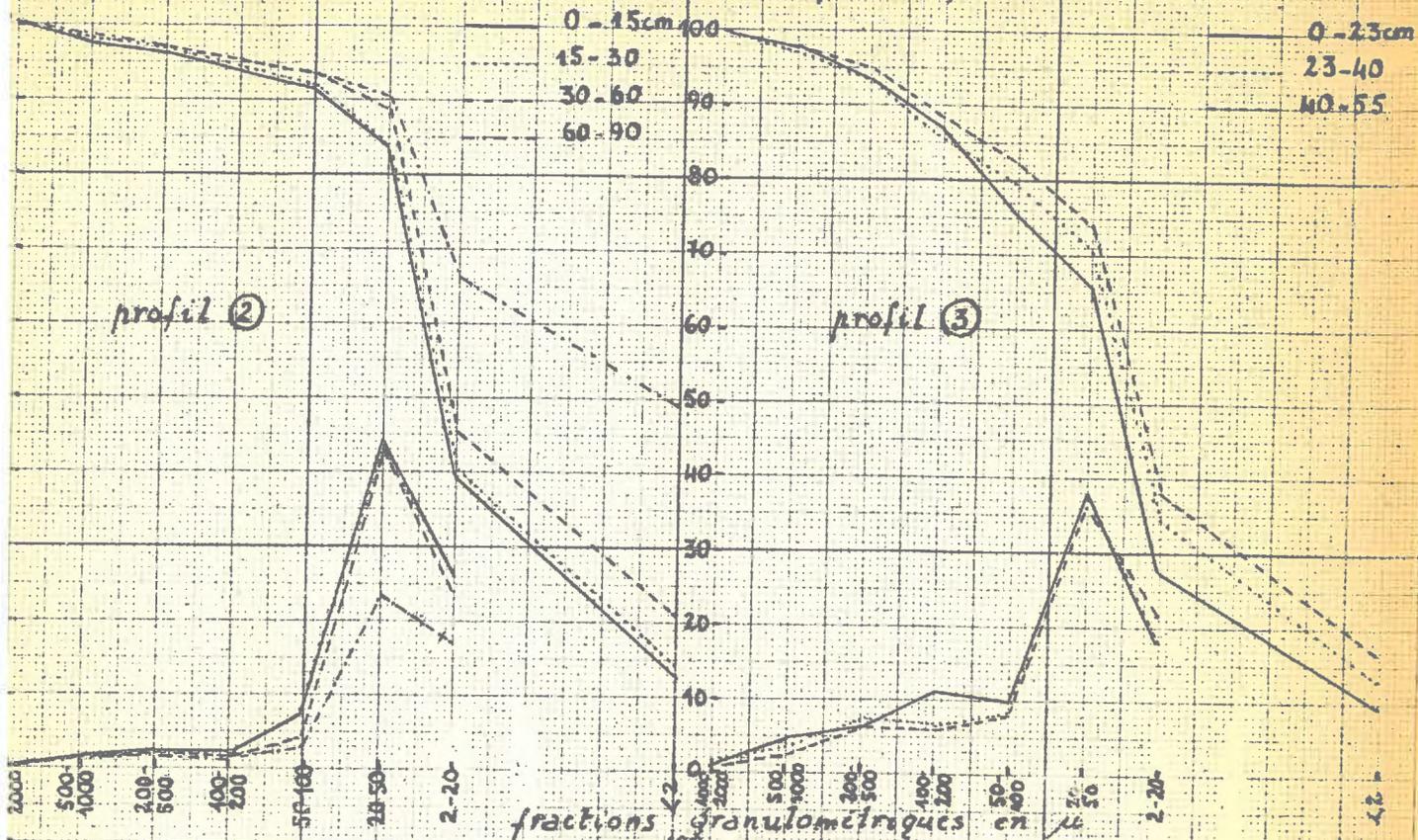
De ces graphiques se dégage le caractère textural essentiel des boubènes : une granulométrie triée vers les parties fines, avec une prédominance des éléments limoneux de 2 à 50 μ et un taux relativement faible d'éléments inférieurs à 2 μ . En général, ces limons varient entre 50 et 70 % du squelette siliceux avec une proportion plus importante de limons 20-50 μ . Cette fraction doit être considérée comme typique des boubènes.

.../...

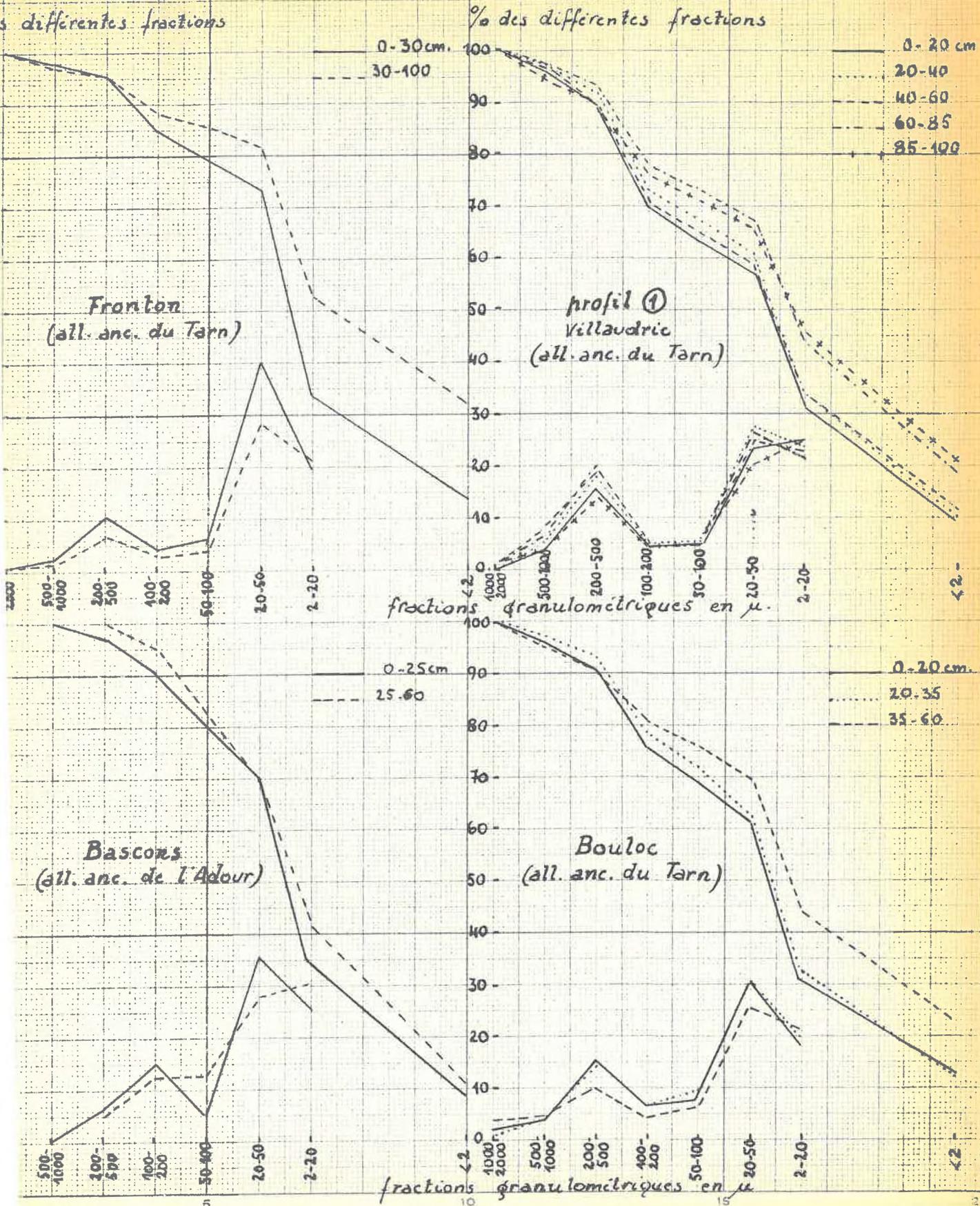
Graphique 7 - Courbes granulométriques

des différentes fractions

% des différentes fractions



Graphique 8 - Courbes granulométriques



Les profils 2, 3, 4a, 4b, de Bascons et de Fronton correspondent à des bouldiers blancs, ceux de Villaudric et de Bouloc se rapprochent des bouldiers franches où les différentes granulométries sont plus réparties.

3°- Différenciation suivant le support alluvial

La couleur des alluvions varie selon leur origine, c'est ainsi que la coloration à tendance marron rougeâtre des alluvions du Massif Central se retrouve dans les bouldiers des terrasses du Tarn, alors que les bouldiers de la Garonne possèdent plutôt un aspect grisâtre commun aux alluvions en provenance des Pyrénées. Seuls les hauts niveaux ont une teinte blanche plus uniforme quelle que soit leur origine.

Les sols de ces divers systèmes alluvionnaires se différencient encore par la répartition de leurs éléments sableux, notamment en ce qui concerne la fraction 200-500 μ .

Nous avons classé en 2 groupes, alluvions anciennes du Tarn et alluvions anciennes de la Garonne, une soixantaine de résultats analytiques provenant de prélèvements éparpillés sur ces formations (bouldiers blancs et franches). Au tableau 1, nous avons fait figurer les moyennes générales de quelques fractions granulométriques accompagnées des valeurs minimales et maximales.

TABLEAU 1 : Granulométrie comparée de bouldiers sur alluvions anciennes du Tarn et de bouldiers sur alluvions anciennes de la Garonne

fractions granulométriques	% de terre fine					
	Bouldiers Garonne			Bouldiers Tarn		
	Moyenne	Minima	Maxima	Moyenne	Minima	Maxima
Argile < 2 μ	13,7	8,8	16,8	13,4	6,5	18,7
Limon 2-20 μ	24,3	17,9	32,8	20,5	16,7	32,8
Limon 20-50 μ	38,2	28,3	53,3	27,5	20,4	40,0
Sable 50-200 μ	14,7	8,0	22,8	13,1	8,5	21,7
Sable 200-500 μ	3,8	1,1	7,6	16,3	10,5	25,0
Sable 500-2000 μ	3,4	1,0	7,2	7,2	3,8	18,7

.../...

Nous avons ainsi deux séries, qui conservent l'une et l'autre le caractère typique des boubènes, mais qui se distinguent par les proportions respectives de sables et de limons.

En effet, les boubènes que nous avons analysées sur alluvions anciennes du Tarn, ont une granulométrie moins triée vers les limons que celles sur alluvions anciennes de la Garonne, bien que nous ayons rencontré sur celles-ci quelques cas qui présentaient un pic de la fraction 200-500 μ . Cependant, la majorité de ces sols possède une proportion élevée de limons 20-50 μ et très peu d'éléments grossiers, alors que les boubènes du Tarn ont en général une granulométrie moins fine. Il en est de même pour quelques boubènes d'alluvions anciennes de plaines (plaine de Revel, de Castelnaudary, etc....) dont le comportement se trouve amélioré par la présence de sables grossiers.

Par ailleurs, sur des alluvions anciennes de l'Adour, nous remarquons une proportion relativement importante de la fraction 100-200 μ (cf. Graphique 8).

Ces résultats pourraient être élargis par un plus grand nombre d'analyses portant sur des échantillons répartis selon l'origine des alluvions, mais aussi de leur situation sur le versant ou le plateau en fonction des vents dominants, ainsi que du plus ou moins grand éloignement des zones montagneuses.

4°- Comparaison aux autres sols voisins :

Terreforts et sables fauves

Afin de mieux situer granulométriquement les boubènes, nous avons porté les résultats précédemment obtenus sur deux systèmes de représentations graphiques : le diagramme des textures, modèle G.E.P.P.A., et le diagramme dérivant d'un procédé géométrique de R. BETREILLEUX (1965). De plus, sur ces mêmes diagrammes, nous avons fait figurer les données concernant quelques terreforts et sables fauves ce qui permet l'interprétation texturale comparative entre ces types de sols.

...../.....

a)- Diagramme de texture - (modèle G.E.P.P.A.)

Il est constitué d'un triangle rectangle ayant pour coordonnées le pourcentage de limons totaux de 2 à 50 μ et le taux d'éléments inférieurs à 2 μ . D'autre part ce triangle est divisé en différentes classes et sous classes comme l'indique le graphique 9.

Les bouldons se placent dans leur presque totalité dans la classe des sols à texture moyenne, couvrant les sous-classes de limons et des limons sableux. Elles s'écartent donc nettement des terreforts argileux de texture fine ou très fine et des sables fauves à dominante sableuse, de texture grossière à très grossière.

L'indice de finesse de la silice (H.MALTERRE, 1960) calculé d'après le rapport $\frac{2-20 \mu}{2-2000 \mu} \times 100$ est généralement compris entre 70 et 90 pour les terreforts, alors qu'il est presque toujours inférieur à 50 pour les sables fauves. Par contre, il est plus variable pour les bouldons où cet indice recoupe les valeurs obtenues aussi bien en sables fauves, qu'en terreforts. Cette hétérogénéité provient de l'étalement des taux de limons 2-20 μ et 20-50 μ . Nous serons à même de mieux juger de ces taux différents entre fractions granulométriques par le procédé suivant.

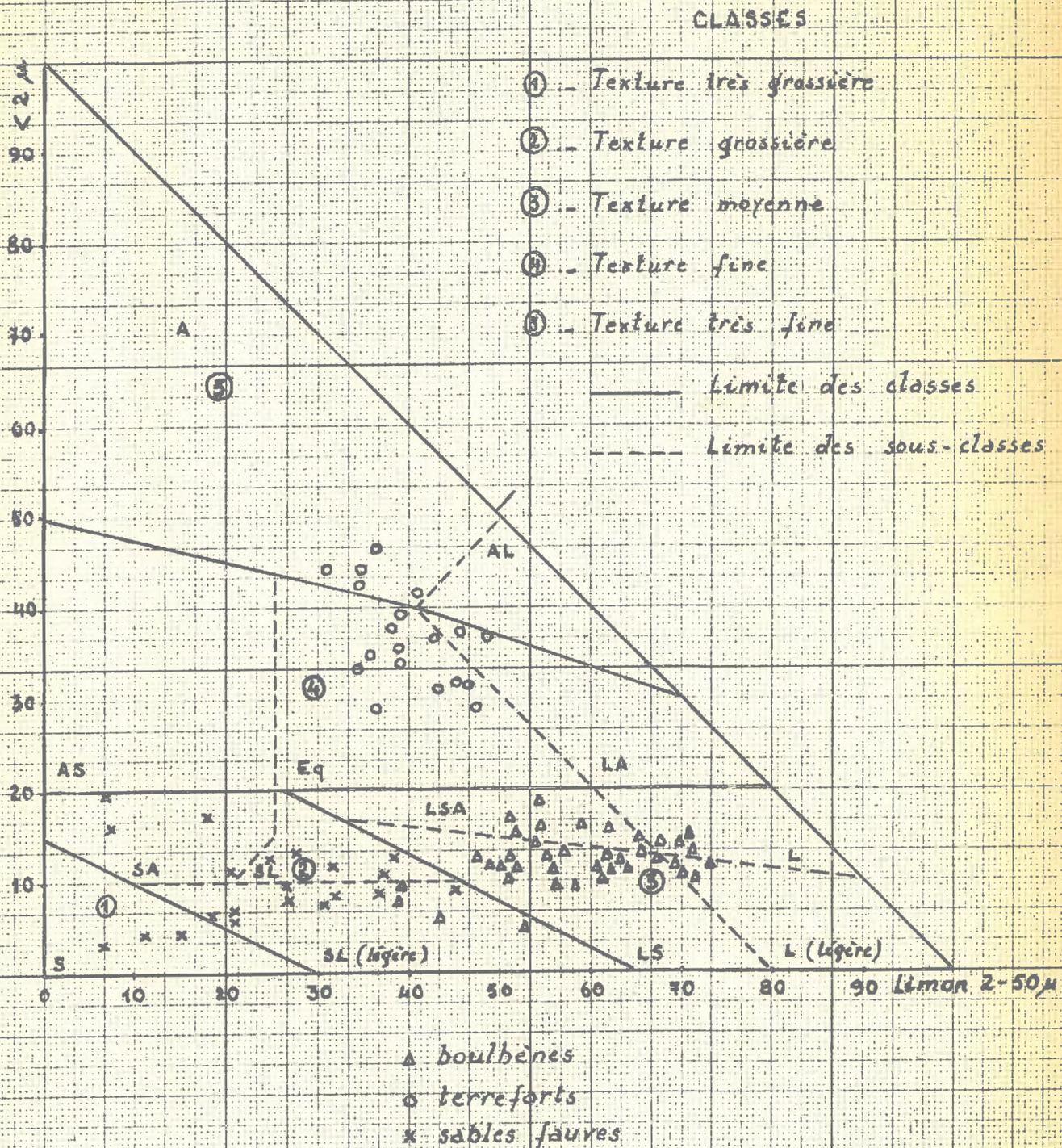
b)- Représentation de la granulométrie par le procédé géométrique
de R. BETREMIEUX

La représentation complète de la composition granulométrique en 5 fractions est réalisée sur un même graphique au moyen d'un segment de droite défini par les coordonnées de ses deux extrémités par rapport à 2 plans perpendiculaires de référence (Graphique 10). Les projections verticales et horizontales sur ces plans permettent d'éviter la figuration en perspective. Pour faciliter la lecture sur la moitié supérieure du graphique, on a remplacé le segment de droite de même cote (pourcentage d'argile) par le point milieu M de coordonnées $\frac{lf - sg}{2}$, d'autre part le segment de droite de la partie inférieure du graphique est signalé uniquement par ses extrémités. Ainsi 5 fractions granulométriques sont représentées par un ensemble de 3 points, situés chacun dans un triangle de référence;

.../...

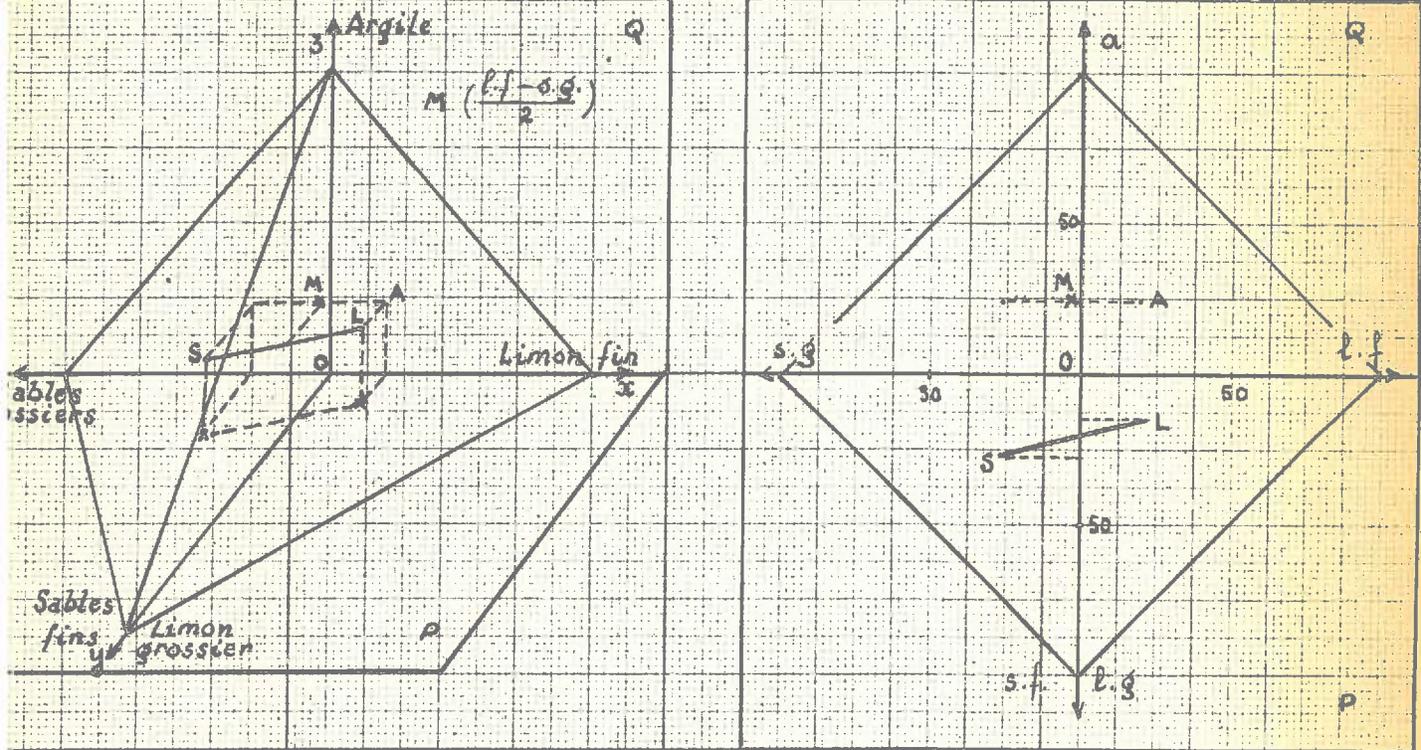
Graphique 9 - DIAGRAMME DE TEXTURE

Granulométrie comparative bouillènes - terreforts - sables fauves
(horizon de surface)



Graphique - 10

Procédé géométrique de représentation granulométrique (d'après R. Bétrémieux)



Représentation géométrique
le système d'axes trirectangle
(y, z) définissant les plans P et Q

Représentation plane
par les projections verticale et
horizontale sur les plans P et Q

FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES EN MICRONS :

- Argile - $a.$ - $< 2 \mu$
- Limon fin - $p.f.$ - $2 - 20 \mu$
- Limon grossier - $p.g.$ - $20 - 50 \mu$
- Sable fin - $s.f.$ - $50 - 200 \mu$
- Sable grossier - $s.g.$ - $200 - 2000 \mu$

chaque système de 3 points porte un même numéro correspondant à un échantillon de sol (graphique 11). Sur ce graphique nous avons placé en même temps bouillottes, terreforts, sables fauves, et nous avons matérialisé les aires intéressées par chacune de ces familles de sols, l'interprétation s'en trouve ainsi facilitée.

Suivant l'importance de la surface de chacune des aires, on peut juger de l'homogénéité de chacun des caractères granulométriques ou de leur diversité au sein d'une même famille, par exemple, on constate l'hétérogénéité des sables fauves du point de vue répartition des sables fins et grossiers. Les bouillottes se répartissent suivant leur teneur en limons fins et limons grossiers avec une prépondérance nette de 20-50 μ .

Pour mieux faire ressortir les critères spécifiques de chaque famille de sols, nous avons calculé les moyennes correspondant aux fractions granulométriques des différents échantillons représentés et nous les avons portées sur le graphique 12.

Sur la moitié supérieure du graphique sont marqués les points moyens des différentes formations en fonction du taux d'argile et de $\frac{lf - sg}{2}$. Sur la moitié inférieure sont tracés les segments reliant les points moyens définis par les quatre coordonnées donnant la granulométrie des éléments siliceux autre que l'argile. Le milieu M de ces segments de droite a même valeur d'abscisse que le point correspondant de la partie supérieure du graphique. L'ordonnée du point M (projection sur y' y) multipliée par 2 est égale au taux d'éléments 20-200 μ .

Les trois points, extrémités des segments et point figuratif de l'argile, sont tels que la somme des coordonnées correspondant à chaque extrémité et à laquelle on ajoute l'argile, est égale à 100. Il en résulte que le lieu géométrique de chacun de ces points dépend de celui des deux autres (cf. graphique 11).

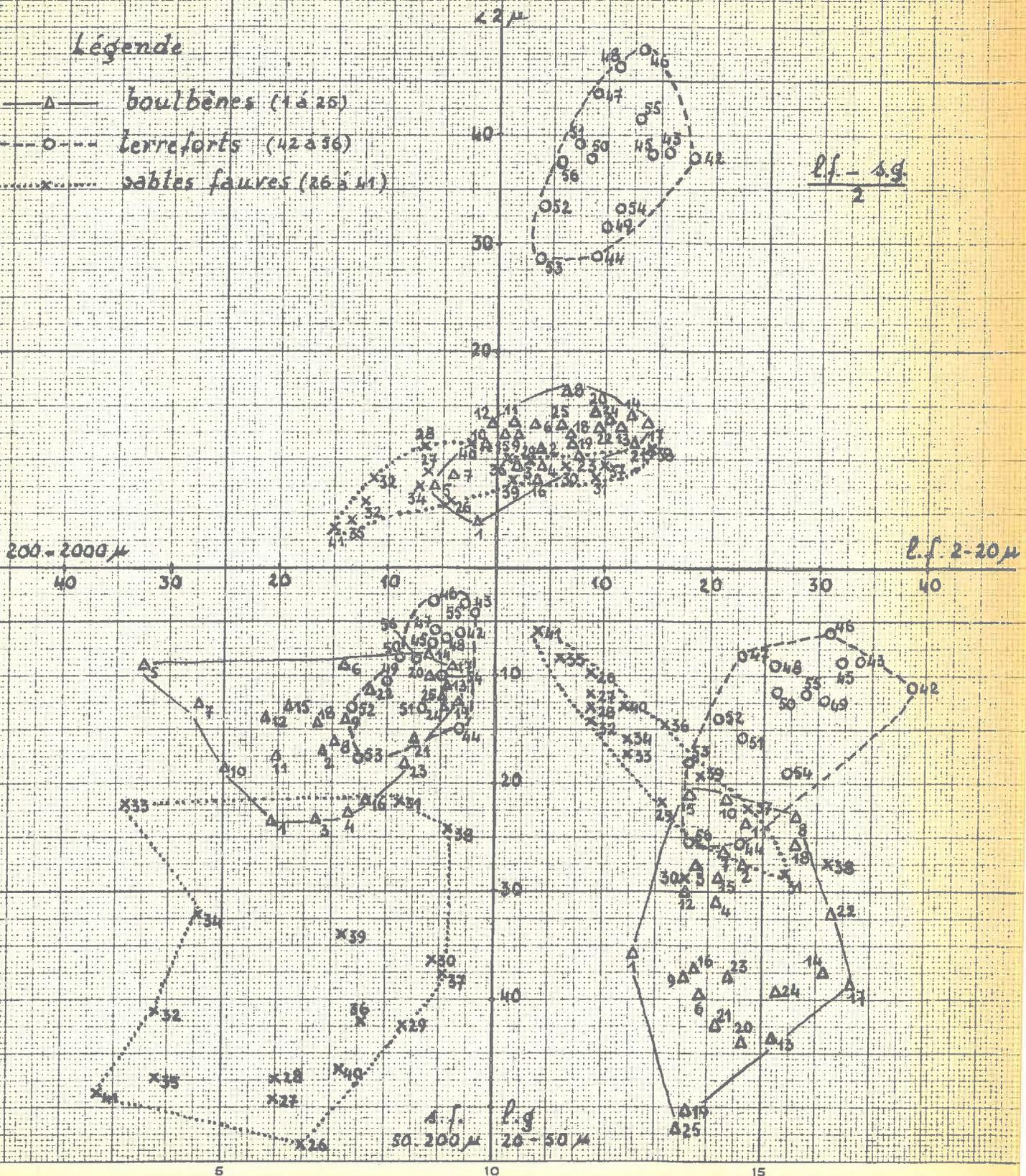
La granulométrie des échantillons peut donc se caractériser par la pente des droites sur lesquelles se situent ces segments ainsi que par la valeur obtenue sur l'axe des y (Tableau 2).

Graphique 11 - Représentation de la granulométrie (d'après R. Bétrémieux)

Sites respectifs bouillènes - terreforts - sables jaunes

Légende

- Δ — bouillènes (1 à 25)
- - - ○ - - - terreforts (42 à 56)
- x sables jaunes (26 à 41)



Graphique 12

Points et segments typiques moyens

représentant les bouillènes, les terreforts et les sables fauves

- Bouillènes ———▶
- Terreforts —●—▶
- Sables fauves —x—▶

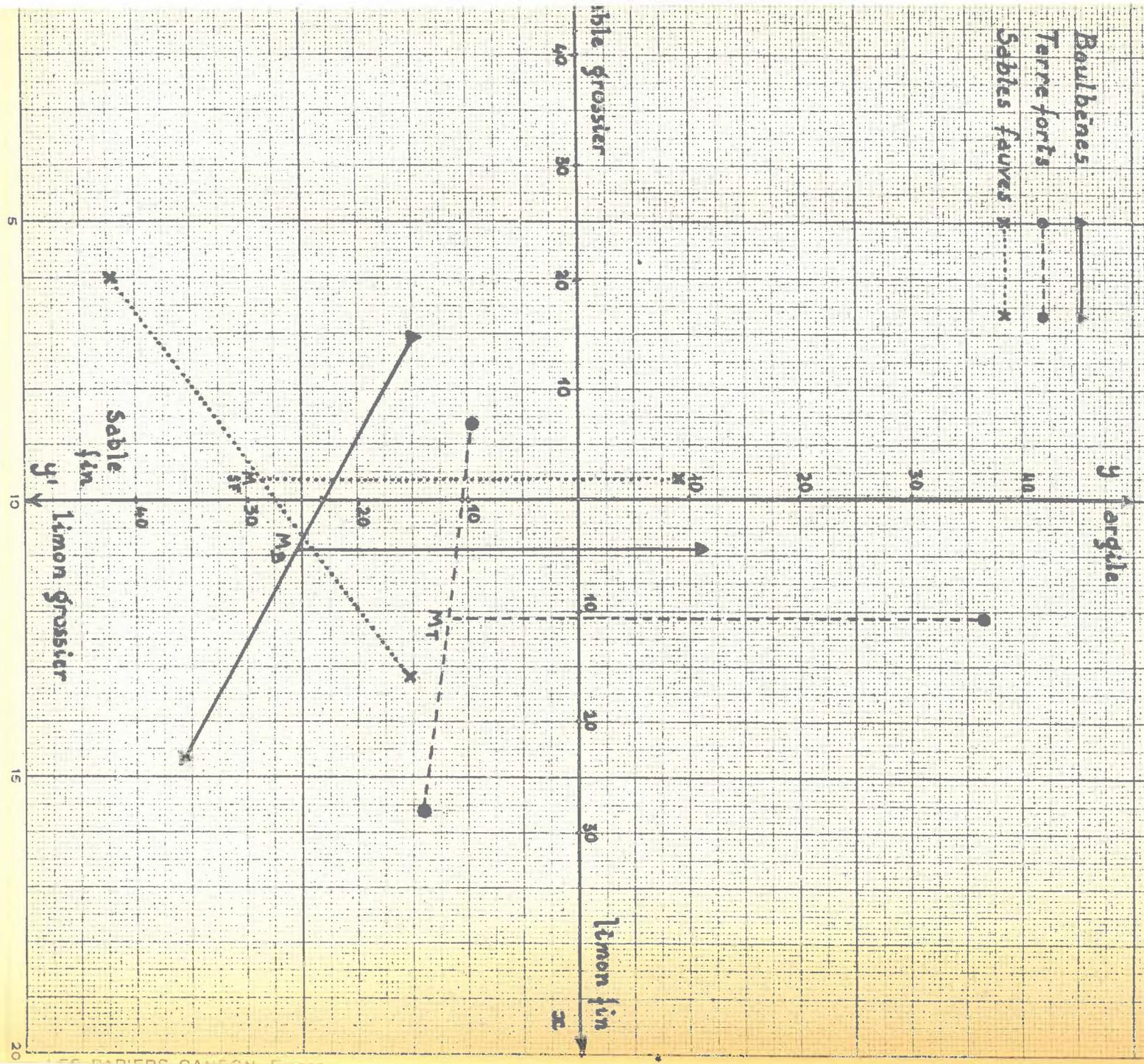


TABLEAU 2 :

Echantillon	Pente moyenne	Valeur moyenne sur l'axe des y
Boulbène	+ 0,550	+ 23
Terrefort	+ 0,117	+ 10,5
Sable fauve	- 0,764	+ 27,5

- Lorsque la valeur moyenne obtenue sur l'axe des y est élevée, nous sommes en présence d'une forte proportion d'éléments 20-200 μ , comme dans le cas des boubènes et des sables fauves.

- Quant au coefficient de pente moyenne, plus sa valeur est élevée, plus le partage entre limon grossier 20-50 μ et sable fin 50-200 μ est inégal. Pour les boubènes, sa valeur est élevée et positive, ce qui témoigne d'un tri des particules vers le limon grossier. Par contre, pour les sables fauves, où ce coefficient est élevé et négatif, il y a une nette prédominance de sable fin. Dans le cas intermédiaire des terreforts, les teneurs en limon grossier et sable fin sont très voisines.

- D'après les observations sur le comportement des échantillons figurant sur le graphique 11, le caractère de battance est nettement accusé quand la pente a une valeur positive et élevée (supérieure à 0,5) et que la valeur obtenue sur l'axe des y est supérieure à 18.

Notons enfin que les boubènes constituent une famille de sols moins homogènes que les terreforts. Ceci ressort des écarts entre les points moyens et les valeurs granulométriques réelles observées en comparant les graphiques 11 et 12.

En conséquence, les boubènes se différencient parfaitement des terreforts et des sables fauves par leur granulométrie essentiellement limoneuse et une faible teneur en argile (< 2 μ).

..../....

5°- Granulométrie de la fraction inférieure à 2 μ

Quoique faibles (10 à 15 %), les teneurs en argile ne suffisent pas à expliquer le comportement général des bouillottes : structure, retrait et gonflement, capacité d'échange, etc..... Nous avons donc jugé bon d'analyser la fraction granulométrique inférieure à 2 μ , en séparant 4 classes de particules, dont les diamètres apparents sont compris entre 2 et 1 μ , 1 et 0,5 μ , 0,5 et 0,2 μ , enfin plus petit que 0,2 μ .

a)- Technique utilisée

Le poids d'échantillon de terre utilisée pour l'analyse est calculé de manière à ce que la quantité d'éléments inférieurs à 2 μ n'excède pas 3 g/litre dans les allonges à sédimentation; cette précaution diminue les phénomènes de rigidité qui apparaissent dans les dispersions d'argile pour des concentrations plus fortes.

Après que la terre soit débarrassée de la majeure partie des matières organiques par une oxydation à l'eau oxygénée, elle subit un lavage avec une solution décimolaire de chlorure de potassium. La dispersion de l'argile est ensuite obtenue après 6 heures d'agitation en présence d'hexamétaphosphate de sodium.

La sédimentation des différents lots de particules s'effectue dans des allonges de 500 cc, immergées dans un bac rempli d'eau à température constante et égale à 25°. Cet appareillage repose sur le sol d'une cave afin d'atténuer les phénomènes vibratoires.

Nous avons ensuite adopté la méthode pipette de G-W.ROBINSON (A.DEMOLON, 1952), consistant à effectuer des prélèvements à une profondeur déterminée et à divers intervalles de temps, et en utilisant une seringue automatique de 5 cc.

Les temps de sédimentation et les profondeurs de prélèvements sont :

.../...

- pour la fraction inférieure à $0,2 \mu$: prélèvement effectué à 3 cm de profondeur après 206 heures de sédimentation,
- entre $0,2$ et $0,5 \mu$, prélèvement à 4 cm après 44 heures,
- entre $0,5$ et $1,0 \mu$, prélèvement à 3 cm après 7 heures et 43 minutes,
- entre 1 et 2μ , prélèvement à 4 cm après 2 heures et 45 minutes.

Cette technique basée sur la loi de STOCKES permet ainsi la séparation des grains siliceux ou micacés inférieurs à 2μ ; la sédimentation de ces particules très fines constituait l'objectif essentiel de ces essais.

b)- Résultats

Les résultats obtenus, pour chacun des principaux horizons des profils précédemment décrits, sont donnés sous forme de graphique utilisant la représentation rectangulaire (Graphique 13).

Pour les horizons de surface, nous remarquons que 30 à 40 % des éléments inférieurs à 2μ se situent dans la fraction la plus grossière (1 à 2μ), cette proportion peut parfois dépasser 50 % (cas des bouldènes des environs de Rieumes où nous avons pu observer le comportement le plus défectueux). La proportion inférieure à $0,2 \mu$ dépasse rarement 40 %, elle augmente avec les horizons profonds et atteint 80 % dans les horizons argileux à argile panachée (profil 2). Dans ces horizons profonds, on se trouve donc à la fois en présence d'une quantité plus importante d'éléments $< 2 \mu$ renfermant une proportion élevée de particules $< 0,2 \mu$.

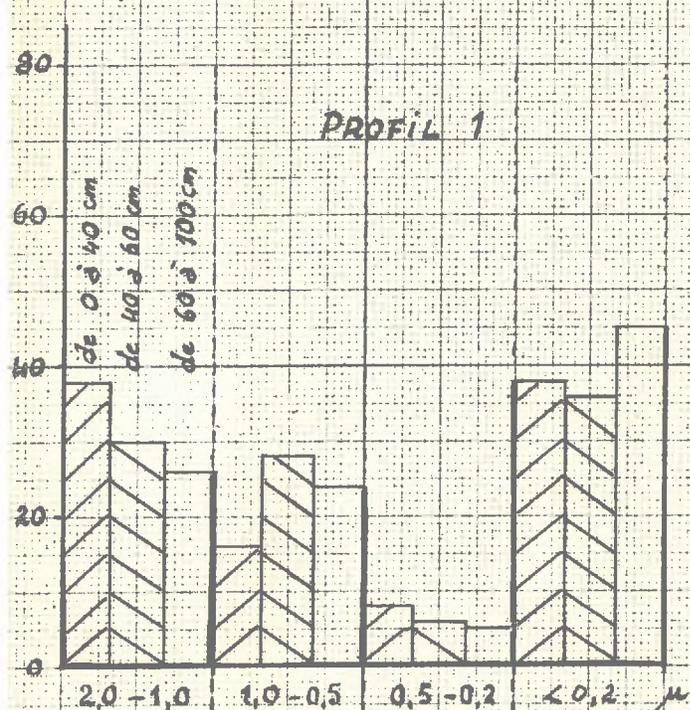
Pour les bouldènes, la granulométrie des éléments inférieurs à 2μ semble se répartir en 2 groupes : - les particules supérieures à $0,5 \mu$ qui suivent logiquement les limons,

- les particules inférieures à $0,2 \mu$ qui doivent renfermer davantage d'éléments colloïdaux. La transition entre ces deux groupes est marquée par une zone où les proportions de particules restent peu importantes. Puisqu'il en est ainsi, on conçoit pourquoi la fraction dite argileuse des bouldènes ne joue qu'un rôle limité dans le comportement de ces sols; nous devons donc nous assurer de la nature de chacune de ces fractions, et vérifier que les particules grossières s'apparentent vraiment aux limons $2-50 \mu$.

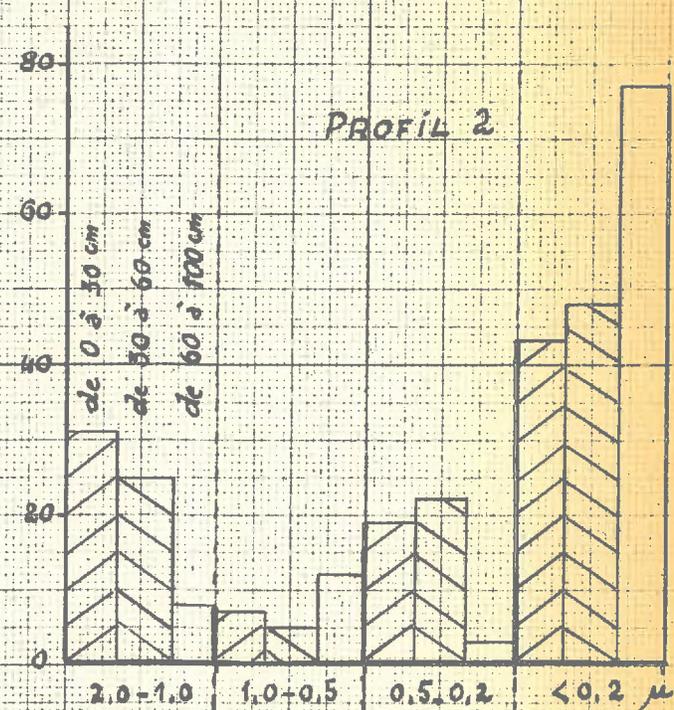
Graphique 13

Représentation rectangulaire de la granulométrie de la fraction $< 2 \mu$
pour quelques horizons de profils de bouliènes (cf. 1^{ère} partie)

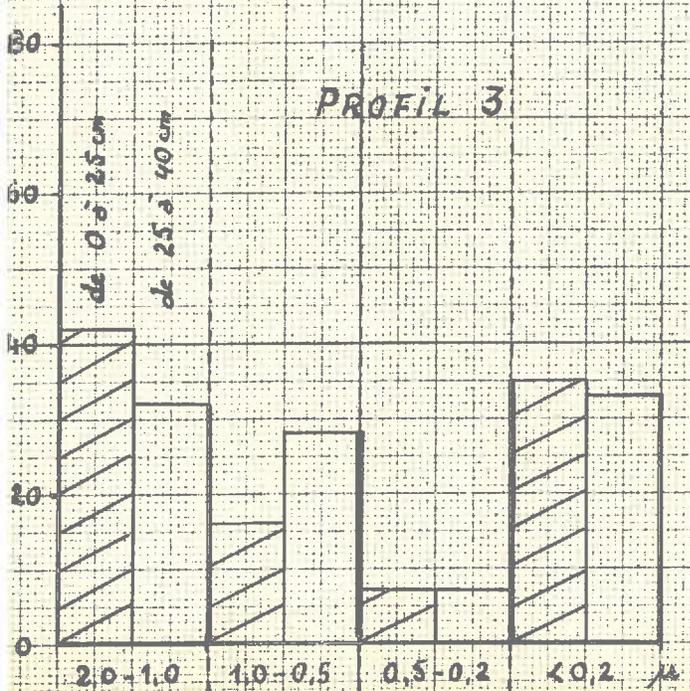
% de la fraction $< 2 \mu$



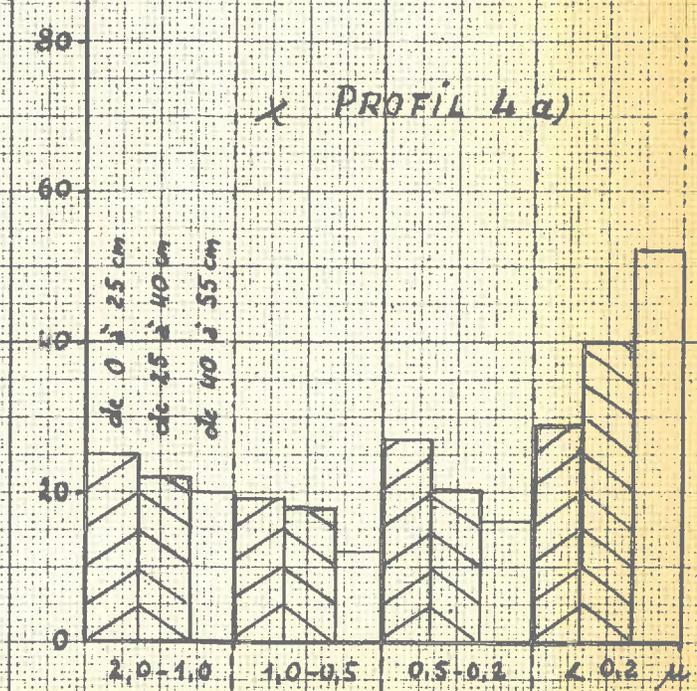
% de la fraction $< 2 \mu$



% de la fraction $< 2 \mu$



% de la fraction $< 2 \mu$



B/- NATURE MINÉRALOGIQUE DES CONSTITUANTS MINÉRAUX INFÉRIEURS à 2 μ

L'ensemble des particules dont le diamètre apparent est inférieur à 2 μ est appelé conventionnellement "argile". Cette dénomination repose sur la grosseur des particules et non sur leur constitution; généralement les sols renferment un mélange de diverses argiles de nature minéralogique et de propriétés différentes. Par exemple, une proportion plus importante de montmorillonite à capacité d'échange élevée, ou de kaolinite relativement inerte, assurera une activité plus ou moins grande à cette fraction granulométrique et cela pour des teneurs globales identiques.

Nous avons déterminé, pour chacune des classes granulométriques précédemment définies, leur nature minéralogique ainsi que leur capacité totale d'échange.

La réalisation de cette étude exige, pour chacune des différentes fractions, des poids plus importants que ceux obtenus par les prélèvements à la seringue. De plus, les examens aux rayons X nécessitent au préalable des traitements plus doux des échantillons de terre, que ceux appliqués dans la technique précédente. C'est pourquoi nous avons été amenés à utiliser une préparation un peu différente, en tenant compte que dans ce cas il nous importait davantage de connaître la nature des minéraux composant chaque fraction, plutôt que leur proportion respective que nous connaissions déjà.

1°- Technique de séparation

Les matières organiques ont été détruites en partie par l'eau oxygénée diluée et à froid. Ce traitement a été poursuivi par des lavages successifs, avec une solution normale de chlorure de sodium. La dispersion de l'argile a été obtenue par une agitation de 6 heures, en présence d'une solution normale de carbonate de sodium à pH 8,5.

La première opération a consisté à séparer la fraction inférieure à 2 μ , des limons et sables, par des sédimentations successives, suivant la méthode internationale.

..../...

Sur le liquide renfermant la totalité des particules inférieures à 2μ à l'état dispersé, les séparations des 4 fractions précédemment définies ont été ensuite obtenues par des centrifugations successives, avec des temps et des vitesses de rotation variables. Pour le calcul de ces données, nous avons considéré que les forces d'accélération mises en jeu, s'appliquaient dès la surface du liquide, ceci afin d'isoler parfaitement la fraction fine restant en suspension et séparer par décantation la fraction plus grossière qui devait se déposer en totalité dans le culot. Dans ces conditions, le culot renferme en même temps les particules plus petites qui, de par leur position au sein du liquide, ont eu le temps d'atteindre le fond du godet. Plusieurs centrifugations sont donc nécessaires pour isoler presque entièrement chacune des fractions. Sur les particules les plus grossières nous avons pu contrôler l'efficacité de cette technique par des mesures directes sur des clichés pris au microscope (cf. photo A).

Les vitesses et les temps de centrifugation des sédimentations successives sont les suivantes (1) :

- particules inférieures à $0,2 \mu$, en suspension après 17 minutes de centrifugation à 4.600 tours/minute,
- particules inférieures à $0,5 \mu$, en suspension après 11 minutes à 2.500 tours/minute,
- particules inférieures à 1μ , en suspension après 17 minutes à 1.000 tours/minute,
- le culot après cette dernière opération renferme les particules comprises entre 1 et 2μ .

Les éléments ainsi séparés ont été flocculés par le chlorure de calcium en solution normale. Après lavage, le flocculat obtenu a été utilisé pour réaliser les diffractogrammes aux rayons X ainsi que pour déterminer les capacités d'échange.

...../.....

(1)- pour une distance du centre de la couronne au fond du godet de 17 cm (le godet étant en position horizontale), et du centre de la couronne à la surface du liquide de 9 cm.

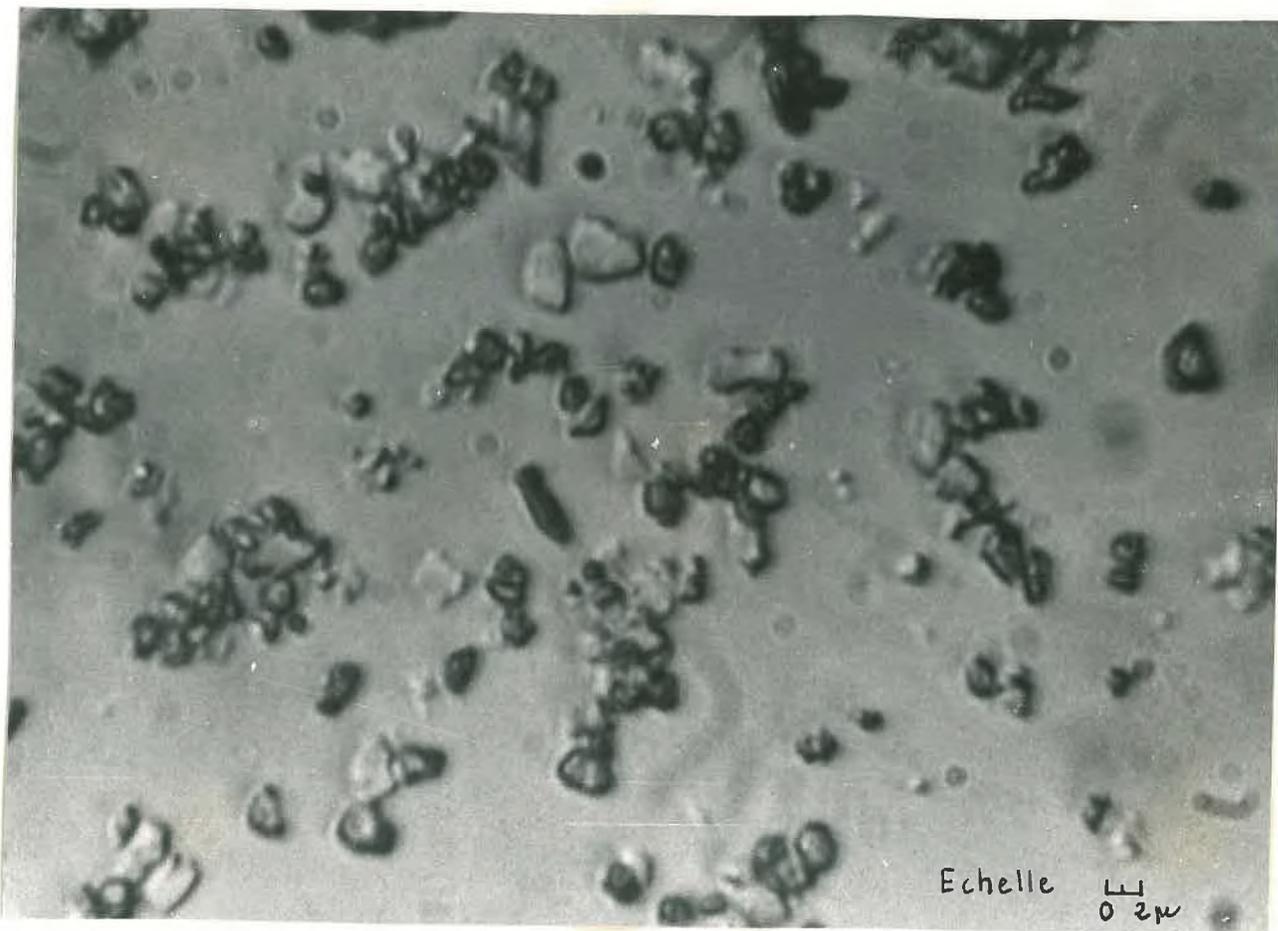


PHOTO 1 : Particules de la fraction 2-1 μ après séparation des autres fractions

G # x 2500

2°- Résultats obtenus

a)- Rappelons brièvement les principaux résultats obtenus par des études antérieures concernant l'ensemble de la fraction argileuse des boubènes :

- Sur la fraction inférieure à 2μ de quelques horizons de boubènes, dans des profils identiques à ceux en cours d'étude actuellement, les capacités d'échange et la nature minéralogique des constituants argileux ont été déterminées (BLANCHET et al, 1966). Des mesures analogues furent réalisées sur des profils types de terreforts.

Il ressort que la fraction inférieure à 2μ des boubènes, possède une capacité d'échange (1) assez faible, variant de 16 à 28 méq pour 100 grammes de cette fraction, par rapport aux terreforts où cette même capacité d'échange varie de 35 à 56 méq.

Cette fraction granulométrique se caractérise en effet par la présence d'une proportion importante de minéraux argileux peu actifs (chlorite, kaolinite, quartz) et peu de minéraux gonflants, alors que dans les terreforts ceux-ci apparaissent en proportion élevée.

- Des observations analogues, concernant les sols lessivés des terrasses de la Garonne ont été faites par ailleurs (J.BERNOT, 1961 - C.LATOCHE, 1967) et signalent la dégradation des minéraux montmorillonitiques suivant l'intensité de la pédogénèse. Ce dernier auteur, dans une étude des phases argileuses des profils d'altération actuels des formations pliocène et quaternaire du Nord de l'Aquitaine, fait l'inventaire des composants argileux des sols issus de ces formations. Ainsi, il indique que le minéral argileux principal des sols lessivés ou podzoliques des formations pliocènes est la kaolinite, les sols des terrasses moyennes (Fw, Fx) contiennent surtout de la kaolinite, mais aussi un peu d'illite souvent altéré en vermiculite; les sols des terrasses plus récentes (Fy, Fz) sont plus riches en illite et en chlorite en partie altérée en édifices interstratifiés vermiculitiques, parfois plus ou moins gonflants.

.../...

(1)- La capacité d'échange a été mesurée après saturation en calcium, lavage, et déplacement du calcium échangeable par une solution normale neutre d'acétate d'ammonium.

Comme nous avons pu déjà le préciser, notre objectif est de caractériser les principaux types de boubènes, quelle que soit leur situation; nous avons donc été amenés à décomposer les données globales précédentes par fractions granulométriques inférieures à 2μ , afin de mieux comprendre le rôle que peut jouer l'ensemble de cette fraction argileuse. Pour ce faire, il est nécessaire d'associer les valeurs de la capacité d'échange aux diagrammes de rayons X de chacune de ces fractions.

b)- Détermination des capacités d'échange sur chacune des fractions précédemment définies.

Les résultats obtenus figurent au tableau 3. Ils nous permettent de juger des propriétés d'adsorption de ces fractions. La mise en évidence qualitative des différents minéraux argileux sera ensuite abordée au moyen des diffractogrammes aux rayons X.

En boubènes, la capacité d'échange de la fraction $1-2 \mu$ est sensiblement identique à celle des limons fins; elle ne devient plus importante que dans la fraction $0,5 - 1,0 \mu$ où apparaissent réellement les argiles.

La fraction $< 0,2 \mu$ possède une capacité d'échange relativement élevée qui permet de supposer la présence de minéraux argileux à surface importante (montmorillonite, illite, minéraux gonflants).

Les argiles panachées profondes sous boubènes, possèdent une capacité d'échange de la fraction $< 0,2 \mu$ légèrement inférieure à la même fraction de l'horizon de surface. Or, la capacité d'échange totale de l'horizon argileux est importante et doit donc être attribuée au pourcentage élevé qu'il renferme en éléments $< 0,2 \mu$ et non à la présence dans cette fraction de minéraux argileux à forte capacité d'échange. Ainsi, plus de 90 % de la capacité d'échange totale restent concentrés dans cette fraction, alors que pour les autres horizons de boubènes cette proportion est nettement plus faible.

..../...

TABLEAU 3 : Capacité d'échange des fractions granulométriques fines en boubènes.

origine	Profondeur de l'horizon en cm	Fraction granulométrique en μ	Capacité d'échange			
			en méq / 100 g de la fraction	en méq. pour chaque fraction < 2 μ	totale sur la fraction < 2 μ (calculée)	déterminée globalement sur < 2 μ en méq./100 g
Profil 2	0 - 16	< 0,2	47,9	20,6	25,9	28
		0,2 - 0,5	21,7	4,1		
		0,5 - 1,0	10,2	0,7		
		1,0 - 2,0	1,7	0,5		
		2,0 - 20	1,1	0,3		
	60-100	< 0,2	43,3	33,3	36,3	37
		0,2 - 0,5	27,7	0,8		
		0,5 - 1,0	16,7	2,0		
		1,0 - 2,0	2,0	0,2		
		2,0 - 20	1,9	0,3		
Profil 3	0 - 23	< 0,2	38,9	13,7	17,3	18
		0,2 - 0,5	23,0	1,6		
		0,5 - 1,0	9,6	1,5		
		1,0 - 2,0	1,3	0,5		
		2,0 - 20	1,4	0,2		
	23-40	< 0,2	37,1	12,2	17,6	19
		0,2 - 0,5	20,2	1,4		
		0,5 - 1,0	12,5	3,5		
		1,0 - 2,0	1,5	0,5		
		2,0 - 20	1,3	0,3		
Profil 4a X	0 - 20	< 0,2	29,3	8,5	15,9	16
		0,2 - 0,5	16,4	4,5		
		0,5 - 1,0	12,6	2,4		
		1,0 - 2,0	1,8	0,5		
		2,0 - 20	1,8	0,3		
	20-35	< 0,2	36,0	14,4	21,4	19
		0,2 - 0,5	22,2	4,4		
		0,5 - 1,0	11,0	2,0		
		1,0 - 2,0	2,7	0,6		
		2,0 - 20	non déterminé	-		

Dans l'horizon argileux du profil 2, on observe pour les fractions comprises entre 0,2 et 1,0 μ , une capacité d'échange plus importante que pour les fractions correspondantes des horizons de surface. Il est peu probable que l'entraînement des minéraux à capacité d'échange élevée se soit effectué uniquement pour ces fractions, sans que soit enrichie la fraction plus fine correspondant à des particules colloïdales plus sensibles par nature au lessivage. Ce phénomène nous amène à penser que ces horizons très argileux, apparaissant souvent sans transition sous boubènes, n'ont qu'un rapport assez lointain avec l'horizon de surface actuel et son évolution récente.

En effet, dans le profil 4 a, où les processus de lessivage sont mieux caractérisés, on constate une nette diminution de la capacité d'échange des fractions les plus fines (< 0,5 μ) au profit des fractions correspondantes de l'horizon immédiatement sous-jacent. Dans ce cas, l'entraînement en profondeur de l'argile s'est effectué à partir des éléments les plus fins et à forte capacité d'échange, alors que les fractions plus grossières ou à plus faible capacité d'échange restaient en place. Ainsi le lessivage des sols de boubènes a diminué la capacité d'échange des fractions fines en même temps que leur proportion, ce qui aboutit à des capacités globales faibles où la fraction inférieure à 0,2 μ ne représente que la moitié de la capacité totale d'échange.

Enfin, il est remarquable de constater la concordance satisfaisante, pour les échantillons étudiés, entre la capacité d'échange totale déterminée sur la fraction inférieure à 2 μ , et celle obtenue par calcul en faisant la somme des différentes capacités d'échange déterminées sur chacune des fractions (tableau 3). Cela implique que ~~d'une part~~, les méthodes de séparation des constituants fins colloïdaux, des parties plus grossières inertes, n'ont pas modifié les propriétés respectives des différentes fractions; de plus, dans ce cas, se vérifie l'additivité des propriétés élémentaires afférentes à chacune d'elles. D'autre part, les méthodes utilisées pour la détermination des capacités d'échange (1) sur les différentes fractions inférieures à 2 μ , ou sur la totalité de la terre fine, ont fourni des résultats comparables.

.../...

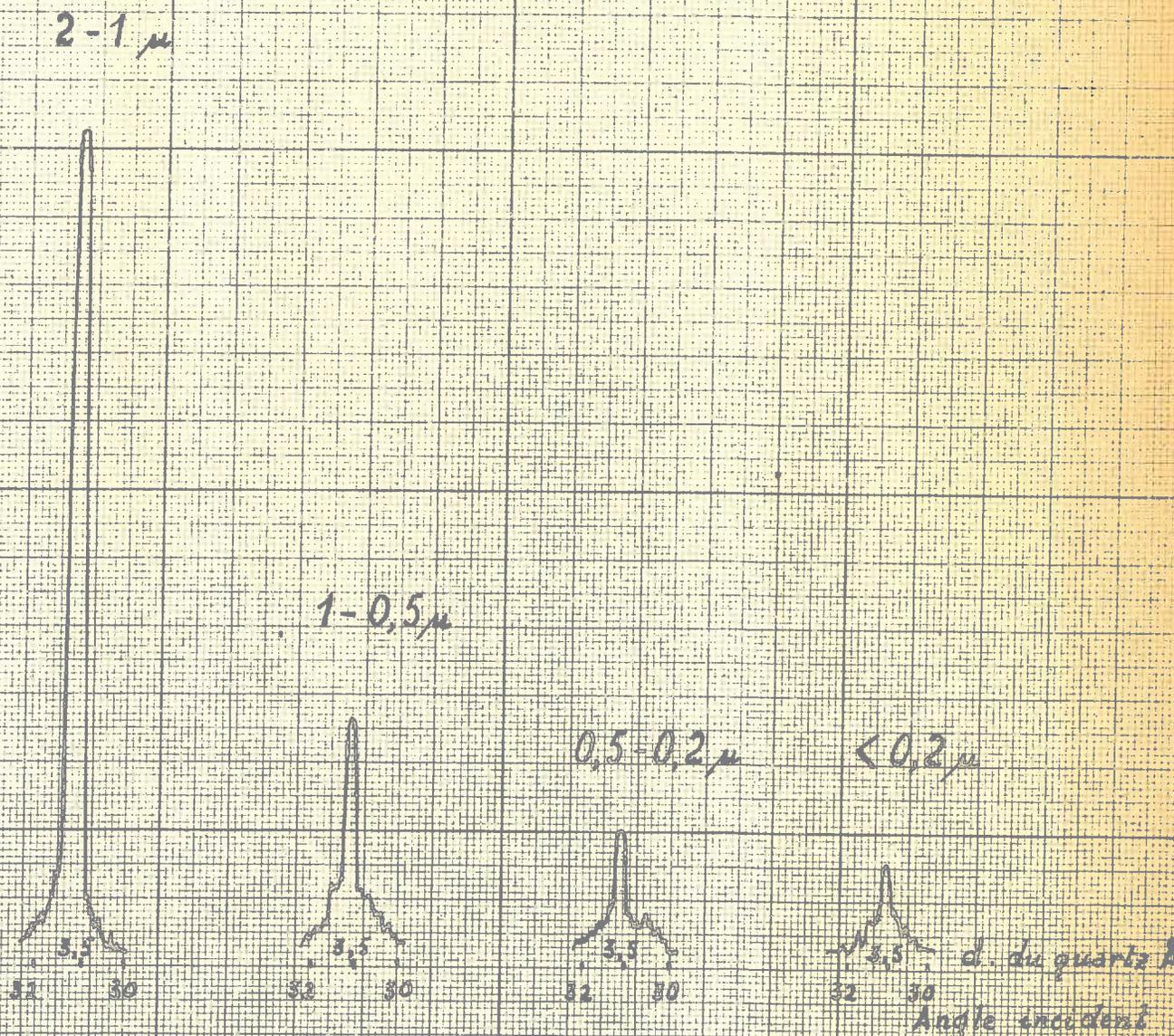
(1)- sur les fractions inférieures à 2 μ , après saturation en calcium et déplacement par l'acétate d'ammonium, dosage des cations échangeables : Ca, Mg, K, Na.

- sur la totalité de la terre fine, traitement à l'acétate d'ammonium et dosage de l'ammoniaque déplacé par une solution de chlorure de Sodium.

Graphique. 14. -

Importance relative du quartz dans les fractions $< 2\mu$,
d'après les pics d'émission de diffractogrammes obtenus
aux Rayons X.

Exemple du profil n° 4 a) - 0-20 cm.



c)- Diffractogrammes aux rayons X - (1)

La capacité d'échange élevée des fractions les plus fines doit se justifier par la présence de minéraux argileux, réciproquement, les fractions plus grossières, à faible capacité d'échange, doivent être constituées préférentiellement de particules inertes. Ces différences dans la qualité des matériaux constitutifs ont pu être vérifiées grâce à l'utilisation de diffractogrammes aux rayons X. Ainsi, cette technique a montré la présence de quantités relativement importantes de quartz dans la fraction 1-2 μ , par rapport aux fractions plus fines. A titre d'exemple, nous avons reproduit un diffractogramme correspondant à l'émission due au quartz pour le sol du profil 4 a) (graphique 14). Malgré un fond relativement important, dû à la présence dans ces sols de minéraux argileux plus ou moins bien cristallisés ou accompagnés de substances amorphes, l'interprétation des diagrammes a permis de repérer les espèces minéralogiques présentes dans les différentes fractions étudiées. Nous donnons un exemple de cette interprétation et de son application dans le tableau 3 bis.

Par ailleurs, en utilisant les proportions quantitatives des minéraux argileux dans la fraction globale $< 2 \mu$, appréciées d'après la composition chimique, les bilans de capacité d'échange et de surfaces (BLANCHET et al, 1966, déjà cité), et compte tenu de l'importance de chacune des fractions, de la valeur de leur capacité d'échange, et des données des diffractogrammes, nous avons pu estimer approximativement les proportions respectives de chacun des minéraux argileux pour les différentes fractions $< 2 \mu$. Ces valeurs figurent sur le tableau 3 ter.

.... /

(1)- Nous tenons à remercier M. CHAUSSIDON de la Station Centrale d'Agronomie de Versailles, qui a bien voulu procéder à l'étude de la diffraction des rayons X par les argiles, et nous conseiller pour l'interprétation des différents diagrammes obtenus.

TABLEAU 3 bis : Critères de reconnaissance des différentes espèces minéralogiques - Variation des équidistances fondamentales en Angstroem en fonction des traitements des plaques minces d'argile.

Traitements			Minéraux
Hydratées à vapeur saturante	séchées à l'air	séchées sous vide	
3,5	3,5	3,5	Quartz
7,0	7,0	7,0	Kaolinite
14	14	14	Chlorite
14	10	10	Illite
16	14 - 15	10	Montmorillonite
14 - 16	10 - 14	≠ 10	{Minéraux gonflants } Interstratifiés

EXEMPLE d'APPLICATION - Profil n° 4 a) - 0-20 cm

Position Angstroem	Fractions granulométriques							
	2 - 1 μ		1 - 0,5 μ		0,5 - 0,2 μ		< 0,2 μ	
	Hydraté	sec sous vide	Hydraté	sec sous vide	Hydraté	sec sous vide	Hydraté	sec sous vide
3,5	+++	+++	-	-	0	0	0	0
7	+	+	+	+	+	+	+	+
10	-	+	-	+	-	++	-	++
10-14	0	0	-	-	+	+	++	++
14	+	-	++	+	+++	+	+++	+
16	0	0	0	0	-	0	-	0

+++ = très forte proportion

++ = forte proportion

+ = moyen

- = faible

0 = traces

TABEAU 3 ter : Proportion des différents minéraux argileux dans les fractions granulométriques $< 2 \mu$

	Nature des argiles en % du mélange					
	Illite Micas (1)	Kaoli- nite	Chlorite	Montmo- rillo- nite	Minéraux gonflants (2)	Quartz
<u>Profil n° 2 : 0-15 cm</u>						
2 - 1 μ	15	25	15	traces	traces	40
1 - 0,5 μ	20	30	25	traces	5	15
0,5 - 0,2 μ	30	25	25	5	10	traces
< 0,2 μ	20	15	15	20	30	traces
<u>Profil n° 3 : 23-40 cm</u>						
2 - 1 μ	15	20	20	traces	traces	40
1 - 0,5 μ	25	30	30	traces	5	10
0,5 - 0,2 μ	30	25	30	5	5	traces
< 0,2 μ	25	20	20	15	20	traces
X <u>Profil n° 4a): 0-20 cm</u>						
2 - 1 μ	15	20	20	traces	traces	40
1 - 0,5 μ	25	25	35	traces	5	5
0,5 - 0,2 μ	30	25	30	traces	10	traces
< 0,2	25	30	20	5	20	traces

- (1)- les fractions grossières pouvant renfermer davantage de particules de micas peu ou pas altérés, les fractions fines correspondant plutôt à des argiles illitiques.
- (2)- nous incluons ici les minéraux dont l'épaisseur des réseaux évolue entre 10 et 14 Å, suivant leur degré d'hydratation; une fraction de ceux-ci ne peut être distinguée de la fraction illitique, la plupart correspondant à des interstratifiés (Illite - Montmorillonite, probablement) La proportion de vermiculite restant très faible (fixation peu importante de K_2O) (R.BLANCHET et al, 1966).

comprend une fraction importante de particules $< 2 \mu$ qui ne possède pas de propriétés vraiment colloïdales. Une proportion pouvant atteindre 50 % de la fraction argileuse est constituée d'éléments compris entre 1 et 2μ , appartenant en majeure partie à des particules de quartz ou de micas non altérés. Les autres éléments minéralogiques présents dans les fractions plus fines sont : illite, kaolinite et chlorite. La montmorillonite et des minéraux gonflants se manifestent dans la fraction $< 0,2 \mu$, mais leur proportion, ramenée à l'ensemble, est peu importante. Il s'ensuit que la faible teneur en minéraux argileux, dont une part présente de surcroît une faible capacité d'échange, ne peut assurer efficacement sa fonction de liant vis à vis des 50 à 70 p.100 de limons totaux.

On peut alors penser que la matière organique pourrait pallier les déficiences de l'argile et améliorer le comportement défectueux du sol. Il faut donc envisager dans quelle mesure ce facteur peut jouer un rôle efficace, compte tenu évidemment que les quantités de matière organique rencontrées en boubènes sont généralement faibles.

C/- LA MATIERE ORGANIQUE DES BOUBENES

Comme pour de nombreux autres sols, les systèmes de culture influencent la teneur en matière organique des boubènes (DECAU et al, 1962). Cette teneur tend à s'élever sous prairie et diminuer sous vignoble. C'est ainsi que les différences observées dans le taux d'Azote, déterminé par la méthode Kjeldahl, varient entre 2‰ et 0,4‰ selon la culture, la plus grande fréquence en sols cultivés se situant aux environs de 0,9‰. Cette détermination rapide permet d'apprécier la quantité globale de matière organique, mais ne nous renseigne pas sur sa nature et son évolution.

L'activité de la matière organique et son efficacité sur la stabilité structurale des sols dépendent essentiellement de la fraction humifiée et associée intimement à l'argile; nous avons donc été conduits à séparer les matières organiques en fraction libre et liée à la matière minérale. Celle-ci peut être considérée, dans sa majeure partie, comme le constituant de l'humus. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode de fractionnement du sol par densité, au moyen d'un mélange d'alcool et de bromoforme ramené à la densité 2 (HENIN et TURC, 1949 - TURC, 1949 - MONNIER et al, 1962).

Le carbone a été déterminé par la méthode ANNE (1945) sur l'échantillon de sol, et sur chaque fraction isolée.

Les résultats obtenus concernant quelques exemples typiques figurent au tableau 4.

TABLEAU 4 : Teneur en matières organiques de boubènes analogues (1)
soumises à des systèmes culturaux différents.

culture	Profondeur cm	matières organiques totales (% de terre) (2)	teneur en carbone en % de terre		Rapport carbone MO libre carbone MO liée
			de la M.O. liée	de la M.O. libre	
ancienne prairie naturelle	0-20	4,57	1,90	0,58	0,30
	20-40	1,69	0,75	0,13	0,17
	40-70	0,78	0,39	0,04	0,10
prairie temporaire de 5 ans	0-15	2,65	1,14	0,25	0,22
	15-30	1,87	0,88	0,20	0,23
	30-45	0,74	0,36	0,04	0,11
sol cultivé après 2 ans de prairie	0-20	1,80	0,86	0,20	0,23
	20-30	1,28	0,77	0,07	0,09
sol cultivé blé-maïs	0-20	1,73	0,86	0,19	0,22
	20-45	0,76	0,34	0,08	0,23
ancien sol de vignoble remis en culture depuis 10ans	0-20	1,21	0,54	0,22	0,41
	20-35	0,70	0,50	0,04	0,07
sol en vigne depuis plus de 50 ans	0-10	1,22	0,54	0,18	0,33
	10-20	0,97	0,46	0,11	0,24
	20-40	0,85	0,44	0,05	0,11
	40-60	0,49	0,26	0,02	0,08

(1)- les parcelles voisines soumises aux différents systèmes culturaux, appartiennent à une boubène de même type des environs de Rieumes située sur la moyenne terrasse des alluvions de la Garonne.

(2)- d'après le taux de carbone total.

Le rapport $\frac{\text{carbone de la MO libre}}{\text{carbone de la MO liée}}$ est élevé en sols sous prairies et en sols sous vigne, alors que les teneurs en matières organiques totales sont respectivement les plus fortes et les plus faibles. Cela indique une évolution relativement lente. sous prairie où la quantité de matière organique libre augmente plus que la matière organique liée.

Sous vignoble, ce rapport est élevé à cause des faibles restitutions en matières organiques d'une part, et d'une évolution ralentie d'autre part, par suite de la dégradation de ces terres soumises à ce système de culture (S.FIORAMONTI et al, 1965 - POCHON J. et al, 1965).

Le rapport $\frac{\text{carbone de la MO liée}}{\text{carbone total}}$ varie entre 0,75 et 0,85, ce qui traduit une évolution normale des résidus organiques dans le sens d'une transformation totale, et cela malgré une activité biologique apparemment réduite lors des examens de profils culturaux.

Dans aucun profil nous n'avons observé d'accumulation de matière organique dans les horizons profonds qui sont toujours nettement plus pauvres que la surface.

Il résulte de ces données que le taux et la répartition des formes de matières organiques varient dans de larges proportions avec le système de culture. Nous devons donc tenir compte de ce facteur dans la suite de ce travail car il est susceptible de modifier le comportement des boubènes.

..../...

III - ORIGINE GEOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE PROBABLE DES BOULBENES

À ce sujet, notre rôle d'agronome consiste à nous référer aux recherches de géologie et de pédologie effectuées par les spécialistes sur les formations qui nous intéressent. Aussi avons nous largement puisé dans les travaux de nombreux auteurs : RISLER E (1894), Abbé BREUIL et L.MENGAUD (1924), DENIZOT G. (1928), LIWERANT J. (1939-1946), CAVAILLE A. (1951), ASTRE G. (1959). Ceci nous permet de rappeler rapidement les hypothèses récentes, couramment admises, concernant la mise en place et l'évolution de ces sols. De plus, nous apporterons quelques données personnelles, essentiellement pédologiques; nous devons alors juger dans quelle mesure les critères retenus par ces auteurs s'accordent à nos mesures, tout en essayant de préciser certains caractères qu'ils ont attribué aux boubènes.

A/- GEOLOGIE DES SITES DE BOULBENES

Les formations géologiques du Sud-Ouest de la France correspondent en majeure partie aux formations de molasses et de calcaires de l'Eocène, de l'Oligocène et du Miocène, masquées sur d'importantes surfaces par l'épandage superficiel de terrains de recouvrement d'origine marine ou continentale.

La sédimentation molassique du bassin d'Aquitaine s'étant progressivement déplacée vers l'Ouest, les couches y sont de plus en plus récentes : le stampien qui domine dans la région toulousaine s'enfuit en Gascogne sous des dépôts plus récents. Ainsi dans le Gers (à l'Est de Lectoure) subsistent des grès coquillers déposés par la mer Helvétique, plus à l'Ouest encore (au-delà de la ligne Condom - Vic Fezensac), règnent les sables fauves du Tortonien.

Au cours du Pliocène, d'abondants dépôts de cailloutis ont recouvert le Lannemezan et remblayé les vallées qui avaient commencé à se creuser. Des lambeaux importants de ces cailloutis, qui ont mieux résisté

.... / ...

à l'érosion que la molasse, sont maintenant juchés en position dominante, à la fois des terrasses alluviales qui s'étalent à leur droite et des collines molassiques. Ces hauts cailloutis formant parfois de véritables plateaux subsistent encore au Sud de la Grésigne, suivent le cours de la Garonne sur sa rive gauche de Boussens à Agen, se retrouvent aussi dans la même position le long du Tarn entre Buzet et Canals, de l'Ariège entre Saverdun et Auterive.

1°- Les terrasses alluviales

Au cours du quaternaire s'édifient les systèmes de terrasses, formés de plateaux alluvionnaires situés à des niveaux différents, mais dont la structure, la composition et la disposition des matériaux restent sensiblement identiques (A. CAVAILLE et A. VANDENBERGUE, 1965). Ce système alluvionnaire accompagne la quasi totalité des fleuves et rivières du Sud-Ouest; il est particulièrement étendu et complet dans la vallée de la Garonne, où l'on compte cinq grands ensembles (DENIZOT, 1928). Dans ce secteur, les niveaux alluviaux peuvent s'identifier de la façon suivante : (ENJALBERT, 1960).

- 1)- la haute nappe culminante correspondant aux cailloutis,
- 2)- deux glacis alluviaux préglaciaires étagés
 - correspondant à la haute terrasse de Ricumes
 - et à la moyenne terrasse de St-Lys
- 3)- deux terrasses glacio-fluviales étagées
 - correspondant à la basse terrasse de Seysses,
 - et au niveau alluvionnaire récent de la basse plaine.

Ce système se termine par les alluvions modernes du lit majeur du fleuve.

Nous avons établi un tableau synoptique qui permet de situer chronologiquement les alluvions anciennes, et de placer les zones où les boubènes se rencontrent préférentiellement. Les alluvions fluviales voisines analogues au système édifié par la Garonne prennent place dans ce tableau suivant leur position par rapport au lit actuel, compte tenu éventuellement des étages absents. On rencontre par ailleurs des systèmes alluvionnaires mis en place aux mêmes époques, mais dont les sols peuvent ne pas s'apparenter aux boubènes, en raison de la nature différente des matériaux dont ils sont issus. (P. RUTTEN et al., 1963).

SYSTEME ALLUVIONNAIRE et sites à bouldènes		CARTES GEOLOGIQUES NOTATION I/50000, I/80000		EPOQUES	PERIODES	CHRONOLOGIE (1)
Alluvions récentes Quelques bouldènes franches et douces	Lit majeur	Fz2	a2b	Néo-lithique		
	Niveaux inférieurs	Fz1	a2a			
ALLUVIONS ANCIENNES Essentiellement bouldènes blanches, battantes, souvent sur grep.	Basse terrasse	Fy	alc	Paléo-lithique supérieur	WURM	
		Fy1		Paléo-lithique moyen		
	Moyenne terrasse	Fx	alb	Inter-glaciaire		-80.000
				Glacis inférieur	RISS	
				Paléo-lithique inférieur		-180.000
Haute terrasse	Fw	ala	Inter-glaciaire		-250.000	
			Glacis supérieur	MINDEL		
ALLUVIONS TRES ANCIENNES Bouldènes caillouteuses, blanches, sableuses.	Niveaux supérieurs	Fv	P-Aa	Inter-glaciaire		-300.000
				Haute nappe		-350.000
				dominante	GUNZ	
				////		-500.000 -1.000.000 (?)
				PLIOCENE		

(1) - Estimations moyennes généralement admises.

Les contrastes sont très marqués entre terrasses alluviales et formations molassiques, en dépit d'une hétérogénéité de détails qui n'arrive pas à masquer l'unité relative de chacun de ces grands ensembles.

2°- Les alluvions anciennes

Les alluvions anciennes sont constituées essentiellement par des limons plus ou moins caillouteux. La composition stratigraphique est sensiblement analogue quel que soit le niveau du plateau d'alluvions. La couche de cailloux, mélangée à des sables et des graviers, repose directement sur le substratum molassique; au contact de celui-ci, se situent généralement les plus gros galets (photo n° 2). Cette formation a une épaisseur à peu près constante pour une même rivière : 5 à 7 m pour la Garonne, 3 à 4 m pour l'Ariège et le Tarn. Elle est recouverte, dans la majorité des cas, de dépôts sableux puis limoneux, d'épaisseur variable, pouvant atteindre 6 mètres.

a)-les cailloux et graviers

LEYMERIE (1881) avait remarqué que la forme et la nature des éléments grossiers reflétaient les hauts bassins où les rivières ont leur origine : les cailloux des terrasses du Tarn sont essentiellement composés de quartz vitreux et de plus petit volume que ceux de la Garonne dont la composition est beaucoup plus variée. Ceux-ci diffèrent d'ailleurs suivant le niveau de la terrasse : sur les plus basses terrasses de la Garonne se rencontrent en proportion variable quartz, quartzites, schistes, silex, parfois granite et granulite; sur les niveaux supérieurs, les roches fragiles (granites, schistes) sont altérées et finalement décomposées; il ne subsiste alors que les cailloux et les graviers de quartz à arêtes plus ou moins émoussées.

Les boubènes des plaines de piedmont ou de plateau renferment une proportion plus importante de graviers quartzeux ne possédant pas le caractère typique de cailloux roulés.