



PHOTO 2 : Coupe de terrain sur la moyenne terrasse de la Garonne
à Plaisance du Touch - (échelle 1/20)

L'enracinement est limité en majeure partie aux 30 premiers centimètres. Les galets sont de taille croissante jusqu'à 2 m de profondeur, au-dessous les graviers et cailloux roulés reposent directement sur la marne argilo-calcaire à sables grossiers, constituant un horizon imperméable, non visible sur la photo, mais se manifestant par la présence d'eau.

Ces différences dans la composition minéralogique de la couche de cailloux se retrouvent également dans les éléments plus fins; ainsi les alluvions du Tarn possèdent une teinte rougeâtre provenant des éléments entraînés au cours de la traversée des grès rouges du Permien.

b)- les dépôts de surface : les limons

La mise en place de ces matériaux a probablement nécessité plusieurs étapes. ENJALBERT (1960) s'appuyant sur des travaux antérieurs, reprend les deux phases essentielles : dépôts d'alluvions d'origine alluviale, apports et remaniements éoliens. Les interpénétrations entre ces deux actions, hydraulique et éolienne, aboutit à un mélange plus ou moins intime, dont la caractéristique principale réside dans le triage des particules dans la classe des limons. La localisation préférentielle de la granulométrie entre 2 et 50 μ , ne va pas à l'encontre des possibilités de triage et de transport par le vent.

L'homogénéité des formations alluviales anciennes est due au recouvrement superficiel par des nappes limoneuses, précédées de couches plus ou moins argileuses ou caillouteuses. Ce manteau de limons correspondrait à des dépôts d'inondation ayant régularisé la plaine à toutes les époques (CAVAILLE et VANDENBERGHE, 1965) et qui aurait été ensuite soumis à l'action du vent. Suivant les situations et les conditions d'érosion, l'épaisseur de ces limons est variable, parfois il n'en subsiste que de minces placages les graves peuvent alors affleurer. Les hauts niveaux ont aussi subi ces recouvrements de limons, ainsi la partie méridionale du Lannemezan a été recouverte de limons rouges, vraisemblablement Mindéliens ou Rissiens (ICOLE, 1967).

Par ailleurs, les dépôts éoliens ont été caractérisés sur molasses et alluvions anciennes en de nombreux lieux de la région. Les uns, poussés de l'Ouest par les vents du Golfe de Gascogne ont tapissé les flancs occidentaux des vallées dissymétriques gasconnes (ENJALBERT, 1960), les autres, présents de Castelnaudary à la région toulousaine, furent apportés par les vents dominants du Sud-Est (vent d'Autan). Alors que les dépôts de régime du vent d'Ouest sont à tendance limono-sableuse, les apports

éoliens de vent du Sud-Est prennent souvent un faciès d'argiles loessiques, dont des témoins subsistent sur la terrasse inférieure à Purpan et à Blagnac (CHAPUT, 1928), ou encore contre les côteaux de Pech David, leur épaisseur atteignant là 8 à 10 mètres (ASTRE, 1928).

Le recouvrement, la juxtaposition ou le mélange de ces dépôts alluviaux et éoliens se sont produits au gré du relief et du climat au fur et à mesure que les différents niveaux se stabilisaient. Il n'y a pas unanimité d'opinions sur la genèse des différentes terrasses, ni sur leur âge (BRUNET R., 1965, cf TAILLEFER, DENIZOT, RIEUCAU, CAVAILLE), par suite notamment de l'absence presque totale de témoins sûrs (A. BREUIL et MENGAUD, 1924). De plus, l'altération actuelle de ces sédiments ne permet plus d'identifier avec certitude l'origine des matériaux ayant servi de base aux remaniements et mélanges successifs.

Nous retiendrons néanmoins comme plausible que le système des glacis et des terrasses s'est constitué au cours des cycles alluvionnaires du paléolithique, correspondant aux différentes phases interglaciaires du Mindélien au Würmien. On peut ajouter que les limons superficiels ont été probablement remaniés, suivant les situations, au cours de la période sèche du quaternaire supérieur et qu'il faut, dans bien des cas, mettre au compte des actions éoliennes leur mise en place définitive.

Sur les terrains qui viennent d'être localisés géographiquement et géologiquement, notamment terrasses alluvionnaires et pentes douces des vallées dissymétriques, se sont élaborés des "sols" possédant les caractères texturaux des limons et qui ont reçu l'appellation de boubènes. Celle-ci découle de l'aspect de l'horizon habituellement travaillé et, à l'origine, correspondait à la qualité du matériau de constitution de cet horizon. La boubène signifiait donc la terre arable, siliceuse, limoneuse, légère; pareillement, lorsque l'argile dominait, on disait la "terre forte". Actuellement, s'ajoute à cette définition, une tendance d'y associer l'ensemble des caractères qui définissent un sol, en sous-entendant par là, non seulement la terre superficielle, mais aussi le profil avec ses différents horizons. Or, nous avons vu que les horizons profonds des boubènes ne sont pas semblables et, de ce fait, une certaine ambiguïté apparaît lorsque l'utilisation de ce terme est ainsi étendue au profil. Il nous semble nécessaire de

..../...

préciser les limites de l'appellation en considérant comme abusive son extension au sol. C'est pourquoi, dans la suite de ce travail, nous nous efforcerons de conserver à ce terme sa définition première, comme nous avons déjà précisé, chaque fois qu'il s'agissait d'un profil, les différents horizons sous-jacents à la terre de surface.

B/- PEDOLOGIE

Nous avons observé que les horizons profonds sous boubène sont généralement marqués par une évolution pédologique particulière aux terrains relativement plats et insuffisamment drainés. Cette évolution a contribué, peu à peu, à modifier le comportement de l'ensemble du profil et c'est dans cette optique qu'il nous appartient d'envisager quelques uns des caractères pédologiques de ces sols.

Or, dans la presque totalité des cas, nous avons affaire à des sols depuis longtemps cultivés, aux horizons de surface mélangés et perturbés, ce qui nous a amené à nous intéresser davantage à l'examen du profil cultural et à l'interprétation des observations effectuées au cours de cet examen, qu'à une analyse pédologique proprement dite. Nous nous appuierons sur des données analytiques permettant d'apprécier l'intensité de certains phénomènes, notamment le lessivage. Nous décrirons enfin une série de sols du type boubène, réalisant ainsi une synthèse des divers caractères précédemment définis : ces éléments nous permettront d'intégrer les boubènes dans une classification cohérente.

1°- Le lessivage

Bien qu'il soit délicat d'interpréter la valeur des indices de lessivage en sols cultivés ayant notamment subi des marnages importants, et que le calcul de ces indices ne fasse pas intervenir la profondeur et les proportions relatives de terre fine dans les différents horizons, nous constatons que l'indice apparent d'entraînement en profondeur de l'argile et des cations, principalement sodium et magnésium, est relativement faible. Il varie de 1,2 à 2,5 au maximum, exception faite pour les horizons fortement argileux du type profil 2 (J-R. MARTY, 1966). Ces argiles bleues, panachées d'ocre et de rouille, qui apparaissent souvent sans transition dans le profil, semblent de formation et d'évolution plus anciennes. Les zones ocre ou rouille possèdent une structure moins bien construite et plus friable que les parties bleues. Ces dernières renferment 5 à 6 % de plus d'argile mais leur teneur en fer est nettement plus faible (1,59 % contre 3,66 %); cela montre l'existence probable et l'importance des transferts au sein d'un horizon.

...../...

L'indice de lessivage du fer varie de 1,5 à 3, celui du manganèse de 1,2 à 4,5; ces valeurs ne tiennent pas compte évidemment des horizons renfermant une proportion élevée de concrétions. Dans ce cas, les indices peuvent atteindre 10 et même 20. Une analyse de grep a donné les résultats suivants : 15,7 % de Fe et 3,1 % de Mn exprimés en pour cent du matériau broyé, y compris les graviers. Ces résultats peuvent évidemment varier suivant le taux de cailloux et graviers.

De même que l'horizon argileux à argile bleue bigarrée, le grep doit être considéré comme le fruit d'une pédogénèse très ancienne ne correspondant plus au pédoclimat actuel. Son intégration dans la continuité du profil est délicate, il peut en effet accompagner parfois des sols apparemment peu lessivés (MALET et LIWERANT, 1956). Par ailleurs, l'hypothèse selon laquelle un profil est d'autant plus évolué que la terrasse est plus ancienne (J.LIWERANT, 1946) a été controversée (dans ENJALBERT, CAVAILLE, RIEUCAU, cités par R. BRUNET, 1965); on ne peut donc s'appuyer uniquement sur le niveau de la terrasse, ou sur l'âge présumé des alluvions pour caractériser un profil. Ainsi, la migration de l'argile de l'horizon A vers l'horizon B, est peu marquée dans les profils 1 et 3, qui appartiennent cependant à des terrasses d'âges différents. Les profils 2, 4 a, et 4 b, qui sont situés sur la moyenne terrasse, ont subi une évolution ancienne que l'on peut rattacher au type podzolique en raison de l'entraînement de l'argile, du fer et des cations, accompagné de l'ébauche d'un horizon A₂, notamment dans le cas du profil 2, or nous avons rencontré des profils analogues sur les hautes terrasses du Tarn (Fw), aux environs de Pompignan, et sur la basse terrasse de la Garonne (Fy 1), aux environs de Seilh.

2°- Les concrétions ferro-manganiques

Ces formations se rencontrent à peu près à tous les niveaux, leur proportion augmente avec la profondeur, leur présence en surface paraissant due à des remontées de l'horizon sous-jacent au cours de travaux profonds.

Des observations au microscope à faible grossissement nous ont confirmé l'analogie existant entre ces concrétions et celles des alios des Landes étudiées par CAILLERE et HENIN (1951). Nous avons en effet remarqué que les sables ferrugineux étaient constitués principalement de quartz, aux arêtes émoussées, couverts de placages d'oxyde de fer susceptible de réunir plusieurs particules de quartz de taille différente pour constituer des agrégats plus ou moins durs suivant l'abondance du ciment ferrugineux. Comme pour le grep, où les résultats analytiques concernant les dosages du Fer et du Manganèse sont variables, la proportion de ces éléments peut aussi varier dans les concrétions pour les mêmes raisons et atteindre dans certains cas 50 % de Fe₂O₃ (CAILLERE et HENIN, 1951).

La taille de ces concrétions arrondies, plus ou moins friables, est variable; les plus grosses d'entre elles dépassent parfois 5 mm de diamètre, la plupart restant comprises entre 1 et 3 mm. Lorsque leur proportion s'élève dans un horizon, l'impression tactile que fournit la terre est alors modifiée : le caractère fin des boulbènes disparaît au profit d'une tendance plus grossière. Le comportement structural se trouve alors amélioré, favorisé d'ailleurs par une proportion un peu plus élevée d'argile dans ces horizons. Ces caractères se retrouvent nettement dans le cas des rougets où la présence de graviers constitue un élément favorable supplémentaire.

Il nous importait de connaître la granulométrie réelle des sables siliceux décapés, et la répartition des concrétions dans les différentes fractions suivant les horizons du profil : pour cette étude, nous avons choisi le profil 4 a. Après élimination pour chacune des fractions granulométriques de la gangue de fer et de manganèse entourant ou réunissant les particules sableuses, nous avons procédé à une nouvelle séparation par tamisage. Chaque fraction a été attaquée à chaud par l'acide chlorhydrique et nous considérerons que la partie solubilisée correspond aux oxydes métalliques. Cette approche se justifie du fait de la nature essentiellement quartzreuse des sables de ces horizons; de plus nous avons opéré sur des échantillons remaniés préparés à la passoire de 2 mm, ce qui a pu réduire quelques concrétions très friables à une granulométrie plus fine. Cette approximation reste cependant suffisante dans le cadre de cette étude; les résultats obtenus figurent au tableau 5.

Nous remarquons, que le Fer et le Manganèse atteignent la proportion la plus élevée entre 35 et 50 cm de profondeur, ce qui correspond aux observations effectuées lors de la description de ce profil. Dans cet horizon le caractère grossier des particules ferrugineuses est très net : 28,8 % entre 200 et 2000 μ , ce taux descend 11 % après élimination des oxydes métalliques. La granulométrie des sables décapés et lavés correspond donc au caractère typique des boulbènes. Il en est de même pour les autres horizons où le taux des concrétions se trouve localisé dans une proportion de 60 à 80 % dans la fraction 500 - 2000 μ , et pour lesquels les sables reprennent leur caractère de finesse après lavage à l'acide chlorhydrique. Notons enfin que la fraction des limons grossiers de 20 à 50 μ est très peu affectée par la présence de concrétions, ainsi que

TABLEAU 5 : Granulométrie des sables provenant d'horizons à concrétions ferro-manganiques

fractions granulométriques en μ	p. 100 de terre fine						Total de la fraction soluble ClH
	20- 50	50- 100	100- 200	200- 500	500- 1000	1000- 2000	
profondeur et traitement							
<u>20-35</u> cm							
avec concrétions	35,4	8,8	4,7	2,3	4,8	2,9	
après lavage ClH	35,0	8,2	4,3	2,2	2,9	1,6	4,7
après retamissage	35,6	9,8	3,5	2,5	2,0	1,0	
<u>35-50</u> cm							
avec concrétions	24,3	6,6	3,8	7,1	11,5	10,2	
après lavage ClH	24,0	6,4	3,5	5,1	7,2	3,9	13,4
après retamissage	25,6	6,7	6,8	4,8	4,8	1,4	
<u>50-80</u> cm							
avec concrétions	27,2	7,7	3,3	5,1	5,8	3,8	
après lavage ClH	26,5	7,2	3,0	4,8	3,9	2,0	5,5
après retamissage	27,6	8,2	4,4	3,2	2,9	1,1	
<u>80-100</u> cm							
avec concrétions	18,6	6,8	6,7	3,1	6,8	5,6	
après lavage ClH	18,4	6,6	6,4	2,7	5,7	3,4	4,4
après retamissage	18,5	7,1	5,3	3,7	5,4	3,2	

par la redistribution des sables après traitement. Il s'ensuit que cette fraction conserve un caractère ~~typique~~ typique des horizons de boubènes, et cela quel que soit l'indice d'accumulation. Les concrétions ont amalgamé des sables de 50 μ à 2000 μ et elles se manifestent principalement à partir de 500 μ (cf. graphique 7 profil 4 a); cela permet de supposer une origine relativement ancienne de ces processus de concrétionnement.

Ainsi donc, la granulométrie des fractions sableuses des boubènes nous renseigne sur l'origine probable des alluvions, la nature de l'horizon et l'importance de son concrétionnement.

3°- Chaîne de sols

Le long des pentes, même faibles, les sols sont soumis à l'action de l'érosion d'une part, et du lessivage oblique ou latéral d'autre part. L'érosion décape les sommets et met à nu les horizons profonds, le lessivage oblique ou latéral entraîne les éléments fins, colloïdaux ou solubles, du haut vers le bas, les éléments grossiers au contraire restant en place. Par ailleurs, des placages d'apports éoliens ont pu se réaliser avec plus ou moins d'intensité suivant l'orientation de la pente par rapport au vent dominant.

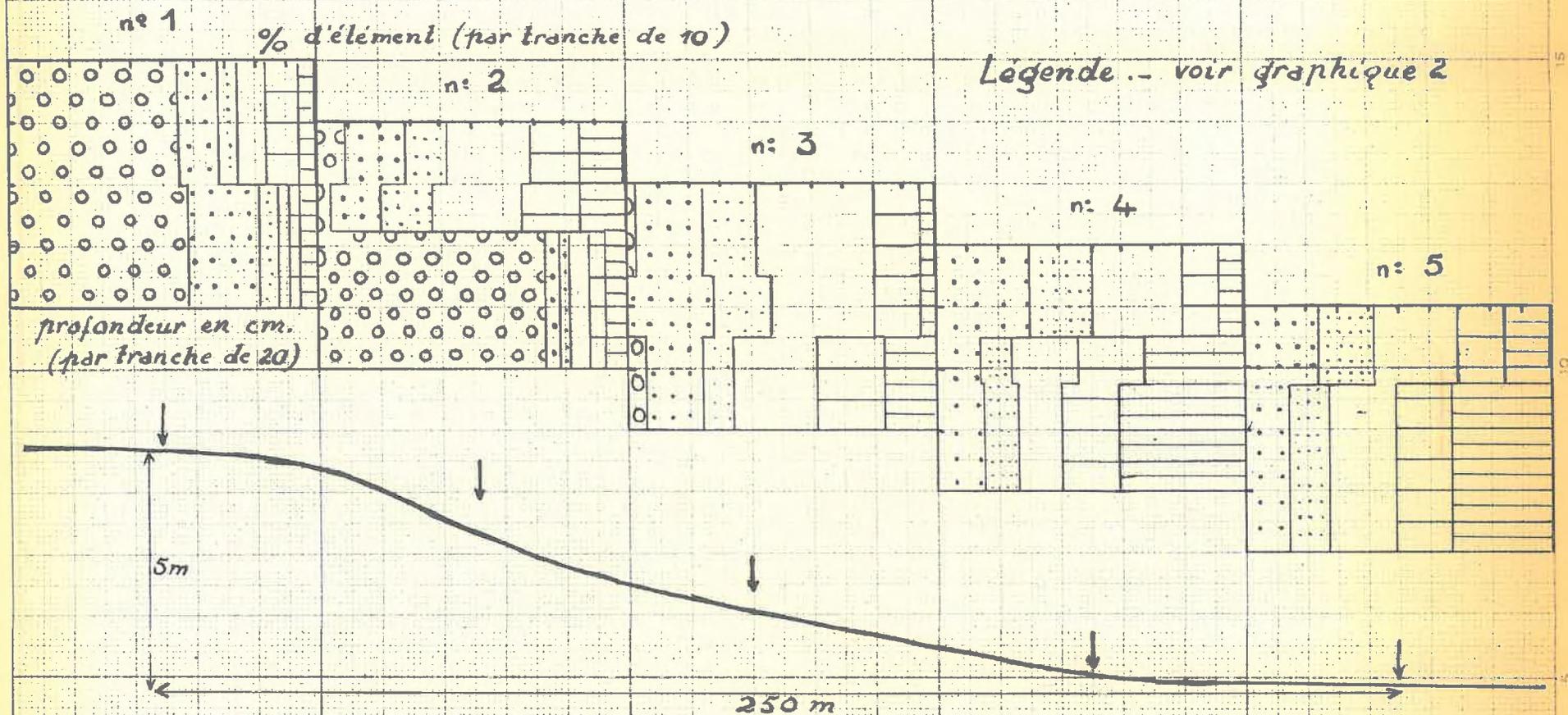
Nous avons observé le résultat de ces processus sur quelques boubènes présentant une légère déclivité au niveau d'une même terrasse et nous avons étudié un exemple caractéristique.

La chaîne de sols que nous présentons est située sur la moyenne terrasse des alluvions anciennes du Tarn (à proximité de Fronton), elle s'étend sur 250 mètres et sa pente moyenne est d'environ 2 % (plus importante vers le sommet, plus faible vers le bas).

Sur le graphique 20 la granulométrie représentée d'après le système adopté précédemment dans l'étude des profils, concerne 5 points de prélèvements échelonnés le long de la pente à partir du sommet (point n° 1) vers le bas (point n° 5). Ce système de représentation intégrant les cailloux et graviers, permet de juger des phénomènes d'entraînement et de lessivage

...../...

Chaîne de sols sur alluvions anciennes du Tarn
(au niveau de la moyenne terrasse)



croquis de la pente et situation des points d'observation et d'analyse

concernant les constituants texturaux. Toutefois, il nous a paru nécessaire de compléter ces analyses par les dosages des éléments "solubles" : Calcium et Magnésium échangeables, Fer et Manganèse total. Les teneurs respectives en ces éléments pour chacun des horizons des différents points de prélèvement sont exprimées en pour mille de la terre fine (tableau 6).

Description et Discussion des résultats

Point n° 1 : L'ensemble du profil renferme des concrétions ferromanganiques et à partir de 40 cm des dépôts de fer sur les cailloux. Les racines sont saines, et l'ensemble est actuellement très peu hydromorphe. Les taux de fer et de manganèse sont élevés dans les deux premiers horizons, plus faibles dans le dernier, notamment le Manganèse. Le Calcium diminue fortement avec la profondeur, ainsi que le pH qui passe de 5,3 à 4,7; peut-être ce phénomène se trouve-t-il accusé par les séquelles d'anciens marnages. La structure de la terre fine a une tendance nettement polyédrique d'assez bonne cohésion. L'ensemble témoigne que l'on est en présence de l'horizon B d'un profil tronqué et ce type de sol, de meilleur comportement que les boubènes, prend l'appellation locale de "rougets".

Point n° 2 : Ce profil se différencie du précédent par l'absence de cailloux et graviers en surface et par l'amorce d'un horizon A₂ entre un horizon A₁ peu différencié et un horizon B caractérisé. L'appauvrissement de A₂ est surtout marqué pour le Manganèse, l'enrichissement de B est net pour le Fer et les concrétions ferromanganiques sont nombreuses. On a observé quelques racines possédant des gaines de rouille dès la surface et le deuxième horizon présente une légère marmorisation. Bien que le taux de Fer encore élevé dans les horizons A, soit dû probablement aux lessivages obliques, le profil tend à perdre son caractère de "rouget" pour acquérir celui de boubène : nettement plus limoneux avec début de lessivage, hydromorphie légère superficielle et tendance au pseudo-gley en profondeur. Toutefois, la structure de la terre fine est encore assez bien construite en polyèdre de faible cohésion, c'est le type de la boubène "bâtarde". (cf.introduction)

..../...

TABLEAU 6 : Calcium et Magnésium échangeables, Fer et Manganèse total des différents profils

Prof. cm		p. 1000 de terre fine			
		Bases échangeables (1)		Eléments solubles ClH (2)	
		Ca	Mg	Fe	Mn
<u>point n° 1</u>	0-20	0,66	0,04	12,2	0,39
	20-40	0,28	0,03	12,8	0,41
	40-80	0,09	0,02	11,8	0,12
<u>point n° 2</u>	0-20	0,42	0,08	15,4	0,09
	20-35	0,38	0,08	14,0	0,03
	35-45	0,66	0,13	27,7	0,15
<u>point n° 3</u>	0-30	0,38	0,04	8,5	0,03
	30-50	0,14	0,04	7,5	0,04
	50-80	0,42	0,09	14,2	0,04
<u>point n° 4</u>	0-25	0,38	0,06	7,3	0,04
	25-50	1,13	0,28	21,0	0,07
	50-80	1,65	0,39		
<u>point n° 5</u>	0-20	0,66	0,15	11,8	0,11
	20-80	0,85	0,31	19,2	0,13

(1)- Extraction à l'acétate d'ammonium neutre normal, le Calcium étant dosé par photométrie de flamme, le Magnésium par colorimétrie au jaune thiazol.

(2)- Après attaque à l'acide chlorhydrique concentré bouillant, le Fer est déterminé par absorption atomique, le Manganèse par colorimétrie au periodate.

Point n° 3 : Ce profil présente un horizon A₂ beaucoup mieux caractérisé que précédemment : diminution de la teneur en Fer, très faible taux de Calcium, aspect cendreuse. Les horizons de surface sont très appauvris en argile, la structure est particulière, sans cohésion, les racines sont très fortement rouillées dès la surface, elles sont rares mais saines dans l'horizon B très compact. Celui-ci enrichi en Fer est taché par une marmorisation diffuse. Ce profil à mi-pente a donc subi une évolution à tendance podzolique, le lessivage oblique ne s'est donc pas opposé à ce processus et semble au contraire l'avoir accéléré, des observations de ce genre avaient été faites par DUCHAUFOR P. (1960). Nous avons là un type de boubène sableuse, blanchie, à caractère très hydromorphe dès la surface.

Point n° 4 : Ce profil se situe en fin de pente, ici l'horizon B est beaucoup plus près de la surface et nettement plus enrichi. L'indice apparent de lessivage est de 5 pour l'argile et le magnésium, de 3 pour le Fer et le Calcium. La podzolisation est remplacée par une tendance au pseudo-gley avec un lessivage important de l'horizon A. L'hydromorphie est accusée dès la surface où la plupart des racines sont accompagnées d'une épaisse gaine de rouille. L'horizon intermédiaire est très compact, faiblement marmorisé. L'horizon argileux profond est fortement marmorisé par taches ocre et rouille sur fond d'argile bleue. C'est le type même de boubènes profondes sur horizon argileux.

Point n° 5 : Ce dernier profil est situé au début de la partie plane, au bas de la pente. L'horizon de surface renferme une quantité d'argile relativement élevée pour une boubène (15,8 % d'éléments inférieurs à 2 μ). Le lessivage est encore marqué, l'horizon enrichi se trouve très près de la surface. Cependant le comportement est proche de celui des boubènes typiques, l'hydromorphie, quoique légère, apparaît dès la surface, la structure est à tendance particulière de faible cohésion. En cette zone de boubènes limoneuses, cendreuse, ce type de sol fait presque figure de terrefort, c'est pourtant ce que l'on appelle généralement une boubène franche, caractérisée par son taux d'argile un peu plus élevé qui lui confère plus de "tenue" que la boubène blanche typique.

En définitive, cet ensemble constitué de profils différents les uns des autres, possède cependant un caractère d'homogénéité constitué par l'horizon de surface, peu argileux, limoneux, plus ou moins hydromorphe et caractérisant les boubènes, exception faite évidemment pour le point n° 1.

La libération partielle des oxydes de Fer au sein des horizons marmorisés provoque une dégradation de la structure, peu visible sur le profil en place, mais qui se révèle dès que ces horizons sont ramenés en surface. Nous avons pu observer ce phénomène lors de labours profonds pratiqués dans le but d'enrichir en argile l'horizon superficiel afin d'améliorer sa structure, et dont les résultats ont été très souvent décevants.

Quant à la matière organique, dont la proportion est toujours relativement faible quels que soient les horizons, nous n'avons pas enregistré d'entraînement actuel caractérisé. Ceci distingue le grep ou horizon d'accumulation des boubènes, de l'altos des sables fauves ou des sables des Landes dont les concrétions ferro-manganiques sont presque toujours accompagnées d'une certaine quantité d'humus. Notons cependant que le rouget du point n° 1 est le plus riche en matière organique, la proportion atteint 2,5 % contre 1,0 % pour les autres profils et cela jusqu'à 40 cm de profondeur.

4°- les problèmes climatiques

Les facteurs climatiques ont joué un rôle important dans l'élaboration des boubènes et continuent encore à les marquer intensément par suite de leur topographie et de leur nature qui les sensibilisent à l'action de l'eau.

Ainsi, les climats qui ont accompagné les phénomènes périglaciaires sont à l'origine de la mise en place des sédiments alluviaux et éoliens. On estime qu'un climat froid, avec oscillations, a régné au cours des glaciations de MINDEL et de RISS, chaud et humide au cours des interglaciaires, puis froid à tempéré au cours du WURM et des interstades. Tout au début du MESOLITHIQUE s'est manifestée une période de réchauffement et de dessiccation au cours de laquelle aurait eu lieu les apports de l'érosion éolienne, sous un régime de vent analogue à celui que nous connaissons de nos jours (vent d'Ouest, vent d'Autan du Sud-Est) mais dont l'intensité seule a pu varier (ASTRE G., 1928).

Depuis le début de la période holocène (6.000 à 8.000 ans), le climat est du type tempéré humide avec quelques fluctuations temporaires. Il peut, en partie, expliquer les effets de l'hydromorphie, d'origine plus ou moins ancienne. Ces phénomènes d'engorgement supposent des périodes humides, l'apparition d'horizons marmorisés ou à pseudo-gley nécessite l'alternance de périodes sèches.

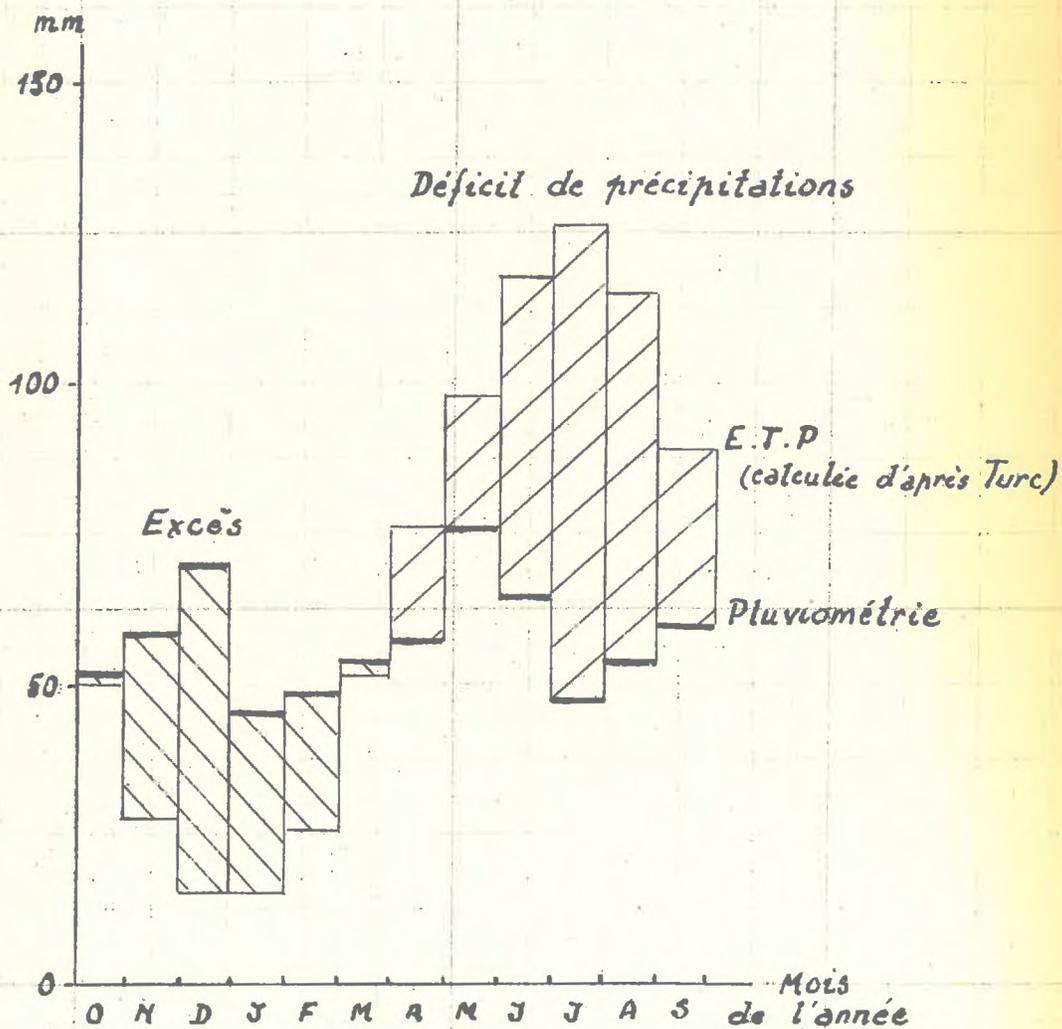
Actuellement, la région de Toulouse, où se situe une large part des boubènes typiques, est intéressée par un climat analogue caractérisé par une instabilité surtout marquée en ce qui concerne la pluviométrie (L. SOUBIES et al, 1960). La répartition des pluies est capricieuse, aussi bien dans le courant de l'année, où juin, juillet et août sont souvent très secs, que d'une année à l'autre, où elle peut varier par exemple de 888 mm en 1966, à 404 mm en 1967.

Le bilan hydrologique, d'après DARVES-BORNOZ (1964), est représenté sur le graphique 21. Toutefois, le déficit climatique mesuré, semble plus important que celui calculé d'après les évapotranspirations déduites de la formule de TURC (J. PUECH, 1968). En effet, cette région est soumise à un vent sec, violent et chaud (vent d'Autan) qui peut durer plusieurs jours en donnant de fortes évapotranspirations. Par contre, au cours de quatre mois d'hiver, les excès d'eau se manifestent avec une forte intensité, principalement en décembre. Ces excédents augmentent vers les zones montagneuses, Massif Central, Pyrénées, et suivant l'axe Toulouse-Bordeaux en se dirigeant vers l'Atlantique; le Sud-Est de la région toulousaine accuse la plus forte intensité de sécheresse (REY P., 1957). Il s'ensuit une succession de périodes d'ennoyage et de dessiccation, plus ou moins longues et d'intensité variable suivant les données et les régions.

En plus de ces considérations générales nous serons amenés à préciser dans la suite de ce travail les conditions climatiques des périodes au cours desquelles se sont effectués les essais et observations, dans la mesure où des différences d'ordre climatique auraient pu influencer ou perturber le comportement du sol et des cultures. Dans le cas des boubènes, fragiles et sensibles à l'eau, il s'agira essentiellement de la fréquence et de l'intensité des pluies.

.../...

Graphique 21. Caractéristiques hydriques
(Toulouse)



5°- essai de classification

A la suite des observations et analyses précédentes, il apparaît, en premier lieu, que les boubènes ont été soumises à des variations climatiques entraînant diverses phases de pédogenèse, sur le compte desquelles il semble que l'on puisse mettre le grep ou certains horizons profonds argileux. Il est cependant difficile de différencier les caractères pédologiques anciens des caractères plus récents, ainsi que les matériaux apportés par des phénomènes mécaniques externes, hydrauliques ou éoliens. Il semble donc que les boubènes, ayant subi depuis leur mise en place l'action de plusieurs phases climatiques, ainsi que de nombreux remaniements, peuvent être considérées comme des sols polyphasés, polygènes (GLANGEAUD L., 1954).

De plus, un des traits communs à ces sols est leur dégradation par suite d'une hydromorphie, temporaire ou partielle, provoquée essentiellement par une lente infiltration des eaux pluviales et caractérisée par une tendance au pseudo-gley.

Le pseudo-gley, dû aux engorgements périodiques, se manifeste par l'alternance des taches grises et ocres ou rouilles, parfois accompagnée de concrétions. Il est occasionné par les réductions et oxydations successives du milieu avec redistribution du fer au cours de ces phénomènes (BETREMIEUX R., 1951, MUCKENHAUSEN, 1963). Il peut apparaître dès les premiers centimètres de la surface (profil 4 a, points n° 2, n° 3, n° 4, et n° 5 de la chaîne de sols) ou en profondeur (profils 1 et 2) ou encore intéresser à la fois les horizons A et B (profils 3 et 4 b).

Pour définir ces profils on ne peut s'appuyer uniquement sur les phénomènes de lessivage; les boubènes sont soumises à certaines actions directement liées à la morphogenèse : modification des conditions de drainage, transports par colluvionnement, phénomènes de tronquage, lesquels interfèrent avec le processus de pédogenèse (TRICART et MICHEL, 1965).

.../...

Ainsi, suivant l'intensité du lessivage, la profondeur et la nature du sous-sol, le degré d'engorgement, les boubènes ont pu évoluer tantôt à la façon d'un pseudo-gley et donner des sols lessivés à tendance podzolique à pseudo-gley ou à marmorisation de profondeur, tantôt, sous de meilleures conditions climatiques et une végétation moins acidifiante, se sont rapprochées des sols bruns lessivés à marmorisation de profondeur. (ENJALBERT, 1960 - FAVROT, 1965).

On peut donc considérer que les limons originels, plus ou moins argileux, ont donné des sols de type mixte, subissant une dégradation continue sous l'action de l'eau, ce qui nous conduit à classer l'ensemble des boubènes dans le "groupe des sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley" (1).

En définitive, en dépit d'un matériau constitutif de nature et d'origine parfois différente, et de situations diverses, les boubènes possèdent une homogénéité de caractères et de propriétés.

Cette similitude de texture, de structure, de comportement, se retrouve ainsi sur de grandes unités géomorphologiques sur lesquelles se sont constituées des familles de sols :

- les boubènes des plateaux
- les boubènes des pentes douces des vallées dissymétriques
- les boubènes des glacis et des terrasses

Chacun de ces ensembles comprend des séries dont les sols se différencient essentiellement par la profondeur et la nature des horizons profonds et par des caractères pédologiques plus ou moins accusés.

Les profils typiques étudiés ont été choisis parmi les boubènes des glacis et des terrasses :

- boubène profonde,
- " sur horizon argileux,
- " sur lit de cailloux et graviers,
- " sur grep consolidé ou non.

..../...

(1)- Classification des sols- Edition 1967- Travaux C.P.C.S., 1963-1967.

Dans chaque série ressortent enfin des types de boubènes dont les caractères sont liés à la texture et au comportement de l'horizon superficiel ;

- boubène blanche, franche, douce, sableuse, graveleuse.

IV - CONCLUSIONS

En boubènes, les horizons profonds, limoneux, argileux ou caillouteux, ces derniers plus ou moins cimentés sous forme de grep, sont recouverts d'un horizon homogène caractéristique qui est responsable de cette appellation. Celle-ci s'applique donc à des terres non calcaires, limoneuses, pauvres en minéraux argileux, allant de la série des sols hydromorphes, fortement exprimés peu profonds, à la série des sols légèrement hydromorphes, marmprisés en profondeur.

Cet horizon de surface présente un ensemble de caractères communs qui découlent principalement de sa nature : teneur élevée en éléments compris entre 2 et 50 μ , faible proportion d'éléments inférieurs à 2 μ dont près de la moitié ne possède pas les caractères propres aux minéraux argileux, enfin teneur peu élevée en matières organiques.

Ces facteurs, liés à une topographie plane peu favorable à l'écoulement des eaux, joints à un climat présentant un excédent de pluviosité en hiver, sont responsables de l'évolution qui ont conduit ces sols à leur état actuel, notamment en ce qui concerne le caractère hydromorphe et la dégradation de la structure.

Les propriétés mécaniques et hydriques qui découlent de cet ensemble jouent un rôle primordial en boubènes, c'est pourquoi nous étudierons en détail ces propriétés dans la deuxième partie.

D E U X I E M E P A R T I E



LES PROPRIETES PHYSIQUES

" Dans les limons anciens, qu'on désigne sous l'expression
" locale de boubènes, par suite de l'absence de l'argile, les
" éléments sableux ne forment pas d'agrégats. Lorsqu'on arrose
" ces terres, elles se désagrègent et forment un glacis
" superficiel qui s'oppose au passage de l'eau et empêche
" l'humectation dans la profondeur, de sorte que l'eau court à
" la surface ou reste stagnante..... Elles ne sont pas aérées
" et deviennent asphyxiantes pour les racines des plantes
" lorsqu'elles sont saturées d'humidité....."

MUNTZ, FAURE, et LAINE (1905), appelés à analyser les causes d'insuccès de l'irrigation par le canal de Saint-Martory, indiquent ainsi quelques traits du comportement des boubènes.

Parmi les propriétés physiques, les qualités structurales jouent un rôle essentiel et par suite de la texture des boubènes l'humidité peut modifier largement l'arrangement et la cohésion des particules élémentaires entre elles. C'est pourquoi nous avons d'abord observé l'évolution de la structure à des taux d'humidité variables, avant d'aborder l'étude des différents facteurs susceptibles d'influencer ce comportement structural.

..../...

I - LA STRUCTURE DES BOULBENES

A/- STRUCTURE OBSERVEE A DIFFERENTES HUMIDITES

Par l'examen de profils culturaux nous apprécions notamment les caractères de la structure dans les différents horizons, et il nous sera possible d'estimer en même temps la cohésion liant les éléments particuliers ou les agrégats.

Le taux d'humidité modifiant le comportement structural des sols et notamment de manière importante dans les boubènes, nous avons été amenés à renouveler nos observations sur les mêmes profils, à des teneurs en eau différentes. Nous décrirons à part la boubène proprement dite ou horizon de surface, des horizons profonds précédemment décrits.

1°- Horizon de surface

a)- Humidité élevée (hiver)

La terre est à un taux d'humidité correspondant sensiblement à celui de la capacité au champ. L'ensemble de l'horizon a un aspect continu sans que l'on puisse déceler de structure construite grossière ou fine. Elle est alors mouvante, sans cohésion, une pression exercée à la surface expulse des bulles d'air alentour et l'eau apparaît au point de pression. Le micro-relief a presque totalement disparu : mottes et raies de labour sont uniformément aplanies.

b)- Faible humidité (fin de printemps)

A cette époque les conditions les plus favorables sont réunies pour examiner les potentialités structurales.

La structure est continue mais une tendance lamellaire et à clivages horizontaux apparaît sur le premier centimètre. Au-dessous, les

..../....

clivages ont une tendance verticale séparant des mottes polyédriques de 4 x 8 cm environ. Ces mottes se divisent en polyèdres de plus en plus petits et de cohésion faible. L'ensemble de l'horizon est légèrement compact.

On remarque, dans la masse, la présence de nombreux petits trous sphériques (de l'ordre du millimètre) donnant une structure caverneuse du type pierre ponce qui est caractéristique des boubènes.

c)- Sol très sec (en été)

La structure reste continue, l'ensemble est compact. Par place, dans les zones déclives de surface, se sont formées des plaques durcies, à structure lamellaire.

Une tendance grumeleuse apparaît autour des touffes de racines, mais les agrégats sont de faible cohésion et se délitent facilement en particules élémentaires; la structure fine est alors du type cendreuse. L'aspect caverneux, à petits trous, subsiste dans l'ensemble de l'horizon.

Ces observations montrent bien la sensibilité de la structure des boubènes aux variations de l'humidité. On peut résumer leurs tendances structurales de la manière suivante :

- structure cendreuse lorsqu'il y a prédominance de limons fins, c'est le cas des boubènes blanches, typiques,
- structure particulaire à éléments sableux en boubènes sablo-limoneuses, ou sableuses,
- très souvent structure litée, lamellaire en surface, caractérisant la battance,
- dans la masse, et de manière générale, présence d'une structure poreuse, à petitesalvéoles, du type pierre ponce.

2°- En profondeur

Le rôle de l'humidité sur le comportement des horizons profonds est moins marqué que pour les horizons de surface.

...../....

En profondeur, grâce aux quantités plus élevées d'argile, le maintien des qualités structurales est en partie assuré même pour des humidités relativement élevées.

Par ailleurs, en été, ces horizons restent généralement frais, les réserves hydriques étant très souvent mal utilisées sous culture annuelle. Selon leur nature, argileuse ou caillouteuse, la structure peut prendre des aspects différents :

- en présence d'argile, la structure est nettement polyédrique et le sommet des polyèdres est arrondi. Ces horizons sont généralement marmorisés et les inclusions ocre et rouille possèdent des agrégats de moindre cohésion que la matrice argileuse gris-bleuâtre,

- les cailloux, quand ils existent sont reliés par des mélanges hétérogènes d'argile et de concrétions plus ou moins durcies. La structure est essentiellement à éléments pierreux emballés dans la structure polyédrique de l'argile, ou encore massive si les concrétions dominant et ont cimenté les graviers.

Si la nature de la structure ressort directement de l'examen des sols en place, sa qualité est plus difficile à apprécier. On peut, certes, estimer des différences de cohésion ou de compacité, mais il est indispensable de faire appel aux tests classiques de laboratoire afin de distinguer les causes agissantes et de chiffrer leur importance.

B/- STABILITE STRUCTURALE

1°- Les tests classiques de stabilité

Ces tests mis au point au Laboratoire des Sols de Versailles (HENIN et al, 1958), comprennent deux indices mettant en jeu la résistance à la destruction des agrégats vis-à-vis de l'eau :

...../....

- l'indice S témoigne directement de la stabilité des agrégats; il se déduit de la formule suivante après avoir fait subir à l'échantillon de terre différents prétraitements (alcool, air, benzène) :

$$S = \frac{(A + L) \text{ max } \%}{\frac{\underline{\text{agrégats}} \% - 0,9 \text{ SG } \%}{3}}$$

où : - (A + L) max % est le taux d'argile + limon (2-20 μ) obtenu par le traitement le plus dispersant (généralement benzène)

- SG, sables grossiers > 200 μ

- $\frac{\underline{\text{agrégats}} \%}{3}$ = moyenne des taux d'agrégats obtenus par les trois traitements (eau, alcool, benzène)

- l'indice K situe le comportement du sol en milieu concentré; mis en évidence par une vitesse de percolation, il met indirectement en jeu la stabilité des agrégats.

Il s'obtient par le calcul suivant :

$$K \text{ cm/h} = \frac{e V}{H S}$$

où : - e = hauteur de la colonne de terre

- V = volume d'eau recueilli au cours de la lère heure de percolation

- H = charge d'eau (hauteur entre la surface libre de l'eau et la base de la colonne)

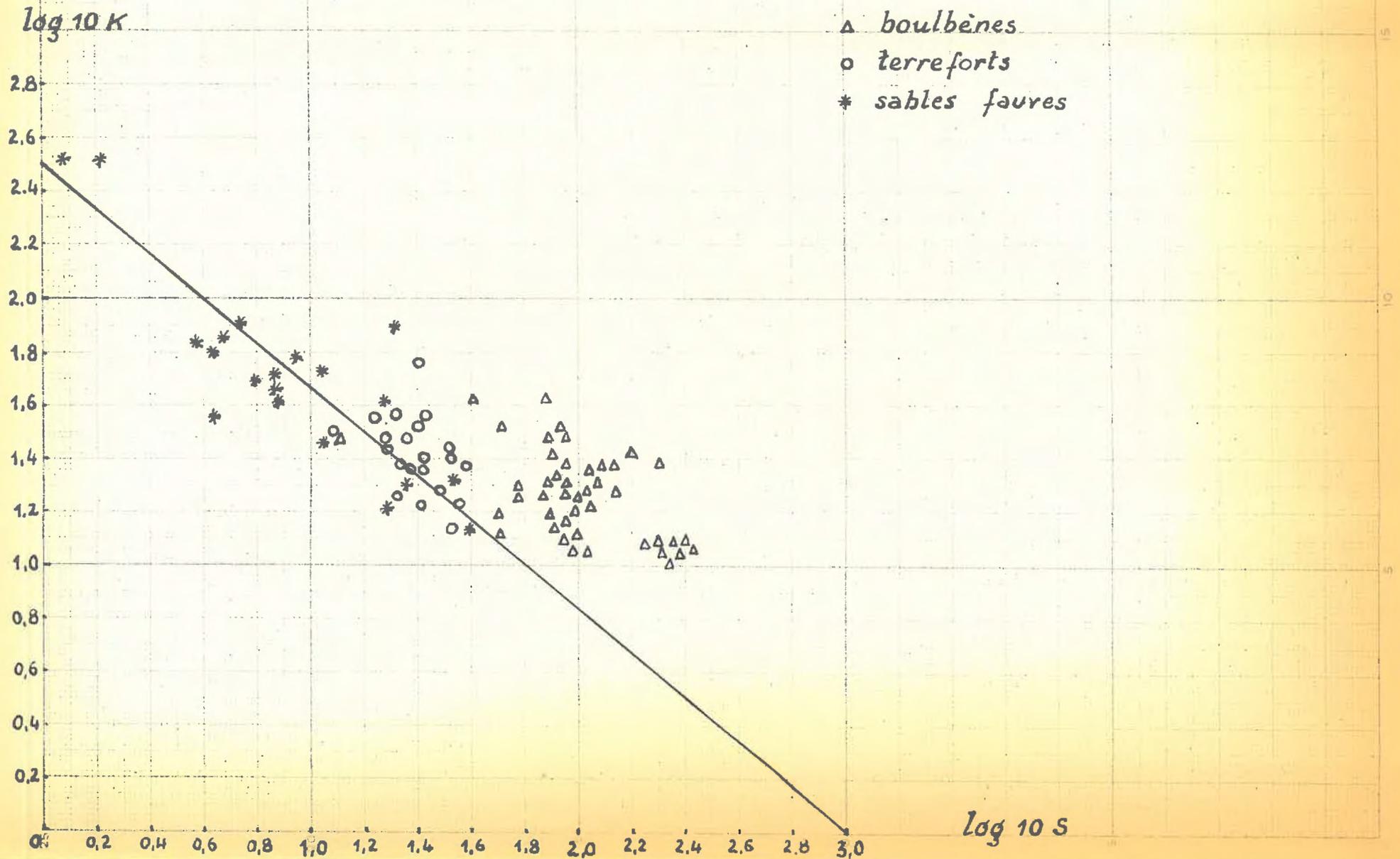
- S = section de la colonne de terre

2°- Résultats globaux -(graphique n° 22)

Avant d'aborder une étude détaillée des différents mécanismes de la stabilité structurale, nous avons situé quelques boubènes typiques par rapport à la droite générale de régression $\log 10 K = f(\log 10 S)$ (HENIN et al, 1960), comparativement aux autres types de sols régionaux : terreforts et sables fauves. L'indice K reflète un meilleur comportement que ne le laisse supposer l'indice S; cette particularité se retrouve dans certains sols de limons bien pourvus en calcium.

.../...

Graphique 22 - Relation indice S - indice K
par rapport à la droite générale de régression



De plus, on peut constater que les boubènes accusent une instabilité plus grande que les sols de limons de granulométrie voisine, et peuvent être largement influencées par le système de culture. En effet, celui-ci apparaît comme un facteur de dispersion des indices S et K : les sols sous prairie possèdent des stabilités plus élevées, les sols sous vigne s'éloignent vers les stabilités plus faibles.

D'autres facteurs susceptibles d'influencer la stabilité seront mis en évidence par l'examen des résultats partiels obtenus après les prétraitements.

3°- Interprétation détaillée

a)- La notion de stabilité à l'eau

La stabilité à l'eau des agrégats terreux dépend essentiellement de deux facteurs :

- la mouillabilité du sol,
- un facteur de résistance, la cohésion de la terre humide

Or, HENIN a montré que lors de la réhumectation il s'établit à l'intérieur de l'agrégat une pression de l'air. Lorsque cette pression interne P atteint une valeur supérieure à celle des forces de cohésion C liant les particules élémentaires de la terre humide, l'agrégat éclate. Il s'ensuit que la stabilité S se définit comme étant la différence entre les forces de cohésion C de l'agrégat humide et la pression interne P.

En boubènes C tend vers 0 dans la terre humide, la moindre pression suffit donc pour détruire l'agrégat. Comme cette pression est liée à la vitesse de pénétration de l'eau (CONCARET, 1966) donc à la mouillabilité, tout facteur modifiant celle-ci sera susceptible d'influencer la stabilité.

...../....

b)- Le rôle des prétraitements

Nous allons vérifier ce raisonnement pour les boubènes par les résultats obtenus suivant les différents prétraitements, chacun d'eux accentuant le rôle de l'un ou de l'autre des facteurs de stabilité.

- Prétraitement alcool : le taux d'agrégat varie en raison directe de la cohésion, c'est une estimation de la cohésion à l'état humide (HENIN, 1958 - MONNIER, 1965).

- Prétraitement dioxane : comme l'alcool il fait jouer au maximum les facteurs de stabilité; il est bien adapté à la comparaison de structures particulièrement instables (HENIN, 1958).

- Prétraitement benzène : le taux d'agrégat varie en raison inverse de la mouillabilité du sol, il permet une estimation indirecte de la mouillabilité (MONNIER, 1965).

- Sans prétraitement : comportement naturel de l'agrégat à l'eau.

c)- Résultats obtenus (tableau n° 7)

Ils confirment les observations effectuées sur le terrain et les mesures réalisées sur mottes non remaniées, et traduisent le comportement défectueux des boubènes. La faible cohésion des horizons de surface ressort des taux minimes d'agrégats alcool (Aga) et d'agrégats dioxane (Agd).

La mouillabilité relativement élevée, due à une faible teneur en matières organiques, est mise en évidence par les très faibles taux d'agrégats benzène (Agb), aussi bien en surface qu'en profondeur.

La presque totalité des agrégats supérieurs à 200 μ a donc disparu au cours de ce test; toutefois, des agrégats plus petits peuvent subsister et cela explique pour quelques cas l'écart entre A + L max des prétraitements et A + L de l'analyse granulométrique. L'horizon argileux profond manifeste une cohésion plus élevée, on constate en effet une augmentation des taux d'Aga et d'Agd dès que s'élève la teneur en argile.

.../...

TABLEAU n° 7 : Taux d'agrégats après différents prétraitements obtenus dans plusieurs bouldènes typiques d'origine diverse.

référence	profondeur cm	Ag a (1)	Ag e (2)	Ag b (3)	Ag d (4)	A + L max	A + L granul	M.O totales	A
Profil n° 2	0-16	2,6	0,8	0,8	1,6	32,5	39,3	1,6	13,2
	60-90 (argile)	22,4	12,6	0,6	29,0	60,0	66,7	1,0	49,7
Profil n° 3	0-23	4,0	3,5	3,4	3,4	27,1	27,7	1,6	9,8
Profil n° 4 a	0-20	1,8	1,4	0,8	1,6	37,5	33,3	1,1	11,4
	20-35	7,6	2,8	0,7	6,5	37,5	39,0	0,8	15,1
Profil n° 4 b	0-25	3,5	2,4	0,1	3,2	44,4	44,8	1,5	14,6
All. anc. du Tarn (Pompignan)	0-13	2,6	1,0	1,4	2,6	35,0	38,7	1,6	11,4
All. anc. Plaine de Revel	0-25	13,0	2,0	1,0	10,8	37,5	37,5	1,4	12,2
	25-45	14,1	2,8	0,4	15,0	37,5	39,2	1,2	13,4

(1)- Ag a - taux d'agrégats obtenus après le prétraitement à l'alcool

(2) Ag e - " " " à l'eau sans prétraitement

(3) Ag b - " " " après le prétraitement au benzène

(4) Ag d - " " " après le prétraitement au dioxane

(Résultats fournis après soustraction des sables grossiers).

Les boubènes situées hors des terrasses alluviales (plaine de Revel) possèdent des taux d'Aga et d'Agd plus élevés, sans que leur teneur en éléments $< 2 \mu$ soit différente. Il semble qu'on peut attribuer cette cohésion à une qualité supérieure des matériaux argileux comme le laisse supposer une capacité d'échange plus élevée que dans les boubènes des terrasses.

En général, les taux d'agrégats restent faibles quel que soit le prétraitement, le défaut de stabilité est donc inhérent à la nature du milieu.

La dispersion du ciment argileux est presque totale par la simple action de l'eau, en effet le taux maximum d'argile + limon obtenu au cours de l'analyse d'agrégats s'approche de celui obtenu par l'analyse granulométrique. Toutefois, les taux d'agrégats peuvent varier suivant des conditions que nous allons examiner, variation correspondant d'ailleurs à des comportements différents du sol en place.

4°- Signification des variations des taux d'agrégats

a)- Variation du taux d'Aga

Il est connu que le taux d'Aga est directement lié à la quantité et à la nature de l'argile et qu'il peut varier avec le rapport $\frac{< 2 \mu}{2-50\mu}$, faisant intervenir à la fois le ciment (argile) et la surface du matériau à lier (quantité globale de limons). Or, en boubènes, les taux d'agrégats alcool obtenus varient davantage avec le système de culture qu'avec la valeur du rapport $\frac{2 \mu(1)}{2-50\mu}$ comme le montrent les exemples figurant au tableau 8.

Cependant, si l'on s'en tient à un même système de culture, de légères modifications du milieu peuvent se répercuter sur le taux d'Aga.

Dans le cadre d'un même système de culture, des valeurs relativement voisines de ce rapport peuvent donc traduire des comportements différents.

(1)- Le choix de ce rapport peut se discuter étant donné, dans ces sols, la constitution relativement constante du squelette : nous l'avons retenu comme un critère commun et comparatif.

TABLEAU n° 8 : Quelques exemples de l'influence du rapport $\frac{2 \mu}{2-50 \mu}$ et du système de culture sur le taux d'agrégats stables à l'alcool

sous vigne		sous assolement céréaliier		sous prairie	
Rapport $\frac{2 \mu}{2-50 \mu}$	Aga %	Rapport $\frac{2 \mu}{2-50 \mu}$	Aga %	Rapport $\frac{2 \mu}{2-50 \mu}$	Aga %
		0,188	1,9	0,182	9,8
0,210	1,5	0,212	3,8	0,208	23,9
0,224	1,2	0,222	6,3	0,225	15,9
		0,333	7,9	0,234	15,2

En effet, dans ces sols, les variations de ce rapport dépendent davantage des différences dans la quantité de limons 2-50 μ que dans le taux d'argile, dont les variations restent limitées. En fait, ce rapport fait intervenir indirectement la quantité de sables moyens et grossiers, éléments qui peuvent conférer aux bouldiers une amélioration de leur comportement.

Lorsque ce rapport tend vers les valeurs faibles, on constate une accentuation de la tendance battante et de l'instabilité structurale; si au contraire ce rapport se situe à des valeurs plus élevées, il témoigne d'un milieu moins ingrat, susceptible d'offrir par exemple une meilleure perméabilité naturelle.

b)- Variation du taux d'Agb

- le rôle des matières organiques :

Suivant leur degré d'évolution et leur constitution, les matières organiques peuvent agir différemment sur les propriétés physiques du sol.

.../...

Les substances hydrophiles, à action flocculante sur l'argile, augmentent la cohésion du sol; au contraire les substances hydrophobes ne modifient pas la cohésion mais réduisent la mouillabilité.

En boubènes, le faible taux d'argile réellement active ne permet pas de jouer sensiblement sur la cohésion, mais l'effet antimouillant de la matière organique susceptible d'intéresser une fraction importante des particules peut présenter une efficacité réelle dans la protection de la terre vis à vis de l'eau.

- efficacité de la Matière Organique sur la stabilité de la structure

L'effet antimouillant est mis en évidence par l'augmentation du taux d'Agb qui dépend de la quantité de matières organiques liées (MONNIER, 1965). Celles-ci agissent par un phénomène d'enrobage des particules et leur efficacité devient donc d'autant plus faible que la surface à protéger est plus importante.

On conçoit ainsi, qu'en boubènes, la quantité d'agrégats stables au benzène soit toujours très faible ; la relation entre ce taux d'agrégat et la teneur en carbone est peu marquée, ce taux reste davantage sous l'influence de la granulométrie, facteur susceptible de modifier la vitesse de pénétration de l'eau (CONCARET, 1965). (Graphique n° 23).

Toutefois, un enrichissement important en matières organiques (sols sous anciennes prairies) augmente le taux d'Agb et la structure en place est nettement améliorée. Cependant, cet effet bénéfique tend à disparaître assez rapidement dès la remise en culture. Par ailleurs, un appauvrissement en matières organiques (sols sous vignes) est souvent lié à de faibles taux d'Agb ce qui se traduit au champ par le plus mauvais comportement (Tableau n° 9).

En boubènes, l'efficacité de la matière organique, à sa teneur actuelle, se trouve donc limitée par l'importance des limons et l'absence de ciment argileux. Pour ces mêmes raisons, une augmentation du niveau humique, d'ailleurs aléatoire, ne pourrait suffire à elle seule pour obtenir une amélioration permanente des propriétés physiques de ces sols.

...../.....

Graphique 23 - Relation taux d'Ag_B - carbone

- sols sous prairies
- △ sols sous vigne
- x assolement céréaliier

% Ag_B

%₀₀ Carbone total

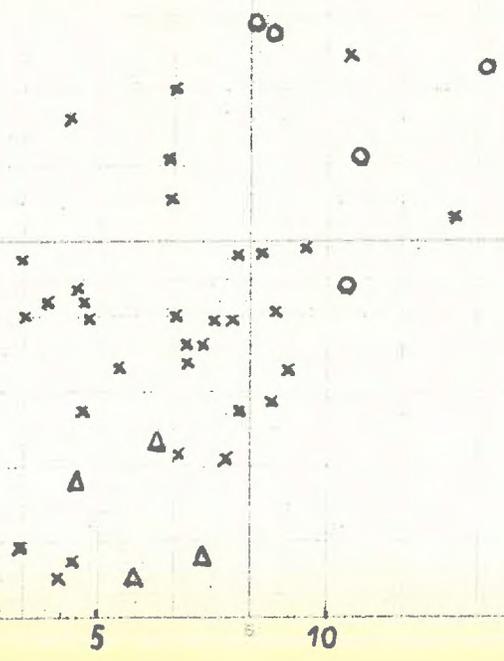


TABLEAU n° 9 : Taux d'agrégats benzène en fonction de la teneur en carbone total pour différentes parcelles en boubènes, soumises à différents systèmes culturaux.

culture	profondeur cm	Taux d'Agb (1)	Carbone total (p.1000 de terre)	Rapport $\frac{< 2 \mu}{2-50 \mu}$
ancienne prairie naturelle	0 - 20	23,6	26,5	0,207
	20 - 40	4,6	9,8	0,226
	40 - 70	0,6	4,5	0,268
prairie temporaire de 5 ans	0 - 15	3,6	15,4	0,195
	15 - 30	2,2	10,9	0,195
	30 - 45	1,0	4,3	0,210
sol cultivé après 2 ans de prairie	0 - 20	1,9	10,5	0,218
	20 - 30	0,7	7,4	0,196
sol cultivé blé-maïs	0 - 20	1,4	10,0	0,190
	20 - 45	0,8	4,4	0,260
ancien sol de vignoble remis en culture depuis 10 ans	0 - 20	0,8	7,0	0,182
	20 - 35	0,7	4,0	0,208
sol en vigne depuis plus de 50 ans	0 - 10	0,7	7,1	0,200
	10 - 20	0,7	5,6	0,200
	20 - 40	0,6	4,9	0,206
	40 - 60	0,4	2,8	0,232

(1)- après soustraction des sables grossiers.

c)- Le rôle des hydroxydes de fer

Nous savons que le fer intervient dans la structure des sols, soit à l'état d'hydrate lié au complexe argilo-humique favorisant la formation d'agrégats et leur stabilité, soit comme nous l'avons montré précédemment, à l'état cristallin, formant un revêtement autour des particules pour donner des concrétions durcies.

Dans le cas des boubènes, en raison de leur lessivage plus ou moins accentué, les horizons de surface sont pauvres en fer total et en fer libre (méthode JACKSON). Les teneurs en fer libre oscillent entre 0,80 et 1,60 pour cent; on peut donc penser, a priori, que cet élément ne joue qu'un rôle très limité pour le maintien de la cohésion. Par contre, les horizons d'accumulations, plus riches en fer, mais aussi en argile à capacité d'échange plus élevée, manifestent une cohésion plus grande, sans que l'on puisse distinguer précisément les rôles respectifs du fer et de l'argile. Quant aux concrétions durcies, qui se comportent comme des sables grossiers, leur action s'exerce davantage vis à vis de la texture que de la structure. Cependant, dans des sols de type voisin, les rougets, la teneur en fer libre en s'élevant à 4,0 pour cent, contribue à augmenter la stabilité des agrégats. Dans un tel sol, nous avons obtenu une valeur du S égale à 1,6 et du K de 6,5 (J.-R. MARTY et S. FIORAMONTI, 1965) ce qui montre que l'action des hydroxydes de fer sur la qualité de la structure est loin d'être négligeable.

5°- L'indice K

Cet indice correspond à une percolation sous charge d'eau constante; par conséquent, dans ces sols très instables, où les agrégats se dispersent presque entièrement, il va dépendre davantage de la texture que de la structure. C'est ainsi que des variations dans les teneurs en sables grossiers influencent nettement les valeurs de K (graphique n° 24).

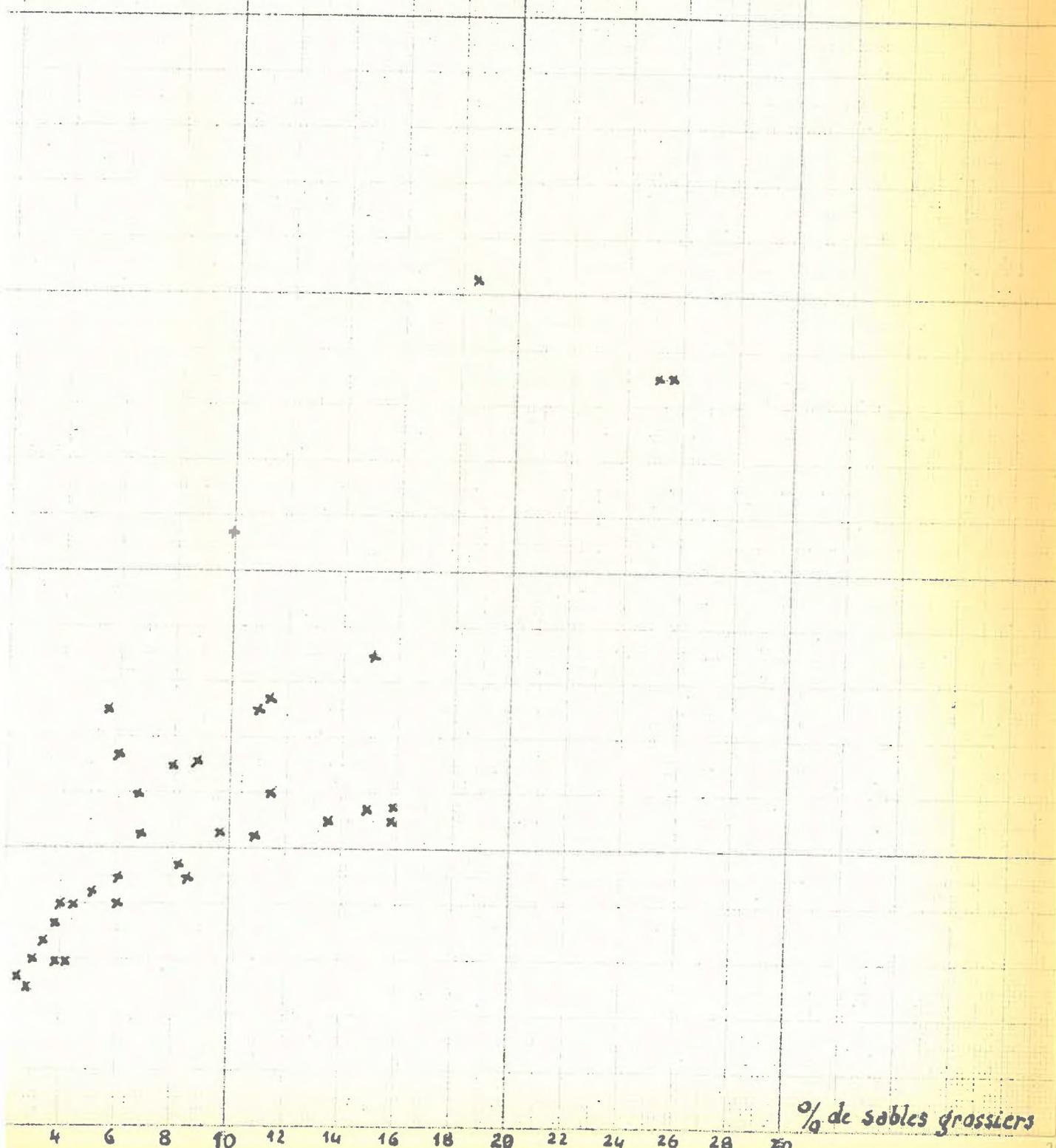
Les sables grossiers jouent le rôle d'agrégats, en modifiant l'arrangement des limons dans le sens d'une augmentation du diamètre des pores libres à la circulation de l'eau. Ce fait est confirmé par des observations et des mesures effectuées au champ, qui montrent que des boubènes

.../...

Graphique 24 - Relation sables grossiers - indice K

$$r = 0,74$$

Indice K



% de sables grossiers

renfermant des sables grossiers se ressuient plus rapidement (S.FIORAMONTI et al, 1966). Ce test de stabilité structurale se rapproche alors d'un test de perméabilité sur terre remaniée.

Par ailleurs, dans la plupart de ces sols depuis longtemps cultivés, et qui avaient profité de marnages abondants, le complexe adsorbant est relativement bien pourvu en calcium. Bien qu'en boubènes le rôle du calcium sur l'indice K ne puisse être mis en évidence par suite de l'influence prépondérante de la granulométrie et du système de culture, l'action du calcium ne peut aller que dans le sens d'une amélioration de cet indice. Toutefois, l'influence de la texture est prépondérante par rapport à celle du calcium.

On peut donc attribuer à cet ensemble de facteurs, le décalage des valeurs de K par rapport à l'indice S, et l'écart que présentent les boubènes par rapport à la droite générale de régression de formule $3 \log 10 K + 2,5 \log 10 S - 7,5 = 0$ (HENIN, 1960).

C/- CROUTES DE BATTANCE

1°- Les possibilités de formation

L'effet de battance est caractérisé par la formation d'une croûte superficielle d'épaisseur variable, de moins de 1 mm à plus de 1 cm, qui couvre en partie le sol et apparaît de préférence dans les dépressions du terrain : cuvettes, empreintes de roues, sillons, etc.....

Les conditions de formation de ces croûtes sont bien connues (S.HENIN et al, 1960), le facteur essentiel étant une faible stabilité structurale, corrélative à une faible cohésion des particules élémentaires entre elles à l'état humide. Sous l'action de la pluie, les mottes se délitent donc, des remaniements et des sédimentations granulométriques s'opèrent en surface et aboutissent à la naissance de croûtes, plus ou moins plastiques à l'état humide, mais capables d'acquérir une cohésion élevée sous l'effet de la dessiccation. A ce stade, le retrait provoque des fissurations,

..../...

et les forces internes mises en jeu, différentes suivant la nature des couches, sont la cause de la courbure concave des parties ainsi séparées.

Les croûtes de battance ne sont pas l'apanage des boubènes mais peuvent se rencontrer dans les sables fauves ou en terreforts; naturellement les terres renfermant suffisamment d'argile pour maintenir une certaine cohésion à l'état humide ont peu de chance de "battre", à moins d'être soumises pendant longtemps à l'action mécanique de pluies violentes sans protection de végétation.

Si de nombreux sols sont susceptibles de manifester cet effet de battance qui s'aggrave en sol nu et sous l'action des conditions climatiques, d'autres possèdent un caractère de battance inhérent à leur nature, s'accroissant avec l'augmentation de la quantité de limons 2-50 μ et la diminution de l'argile (MERIAUX S., 1958). Dans ces derniers l'apparition des croûtes de battance est à peu près générale, la formation de celles-ci restant tributaire de facteurs climatiques et culturels.

Il ressort donc des résultats précédemment obtenus : granulométrie, nature des colloïdes, stabilité structurale, que les boubènes réunissent toutes les conditions requises pour posséder avec intensité le caractère "battant". Ce phénomène structural, général en boubène, méritait d'être examiné; c'est ainsi que nous nous sommes livrés à l'analyse de quelques cas typiques.

2°- Observations et résultats

a)- Description

On peut observer sur boubènes différentes sortes de croûtes de battance, minces et feuilletées, épaisses et plus compactes, dont le caractère commun tient essentiellement à leur structure lamellaire. Les examens au microscope à faible grossissement permettent de distinguer la séparation des grains siliceux bien découpés des parties colloïdales, et leur arrangement

..../...

stratifié. Ce tri est nettement différencié dans les croûtes épaisses, où pour l'une d'entre elles, nous avons pu séparer les diverses strates les unes des autres en vue de leur analyse séparée. Dans ce cas on observait une succession de couches, la partie supérieure étant à tendance plus fine que la zone inférieure, et ces deux zones se trouvaient séparées par une couche de texture très fine surmontée d'une mince pellicule noirâtre de matières organiques (graphique n° 25 et photo). Dans tous les cas de battance que nous avons pu observer, existait une couche très poreuse, à structure soufflée du type pierre ponce, séparant la croûte de la terre sous-jacente. La croûte peut se détacher de son support grâce à cette couche de faible cohésion, s'effritant aisément et renfermant des lacunes globulaires relativement importantes. Cet horizon serait dû aux bulles d'air, chassées du sol pendant les processus de réhumectation qui, ne pouvant s'échapper dans l'atmosphère, se trouvent emprisonnées à ce niveau.

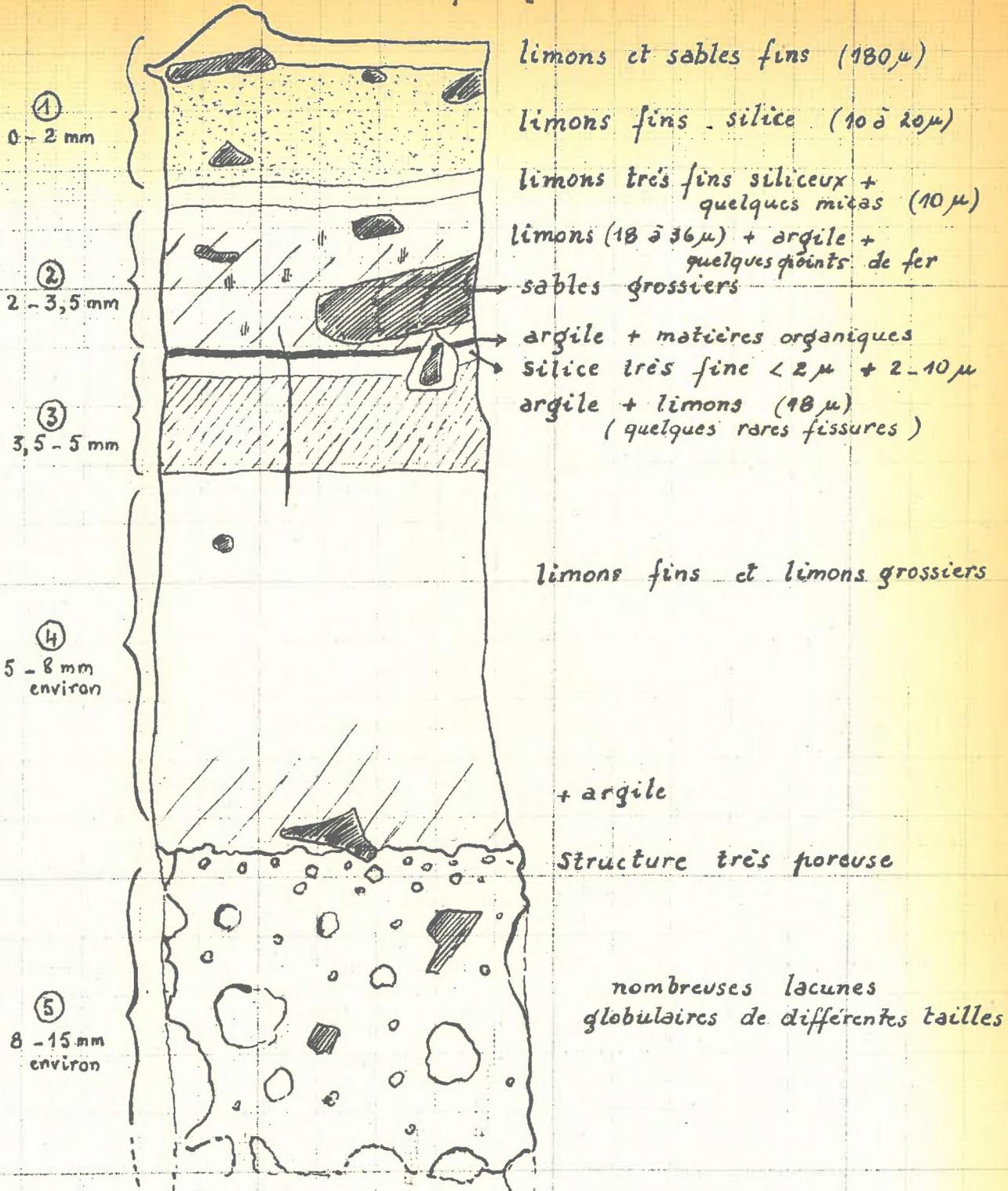
b)- Les résultats analytiques

Ils dépendent de la technique de prélèvement de l'échantillon en place, ils peuvent aussi varier suivant le type de croûte et selon la méthode analytique adoptée : soit, une analyse globale sur l'ensemble, soit fractionnée par strate séparée. Cette opération est techniquement difficile à réaliser sur des croûtes minces, et les analyses globales fournissent alors, dans ce cas, des résultats divergents qui sont plus directement en rapport avec le mode de prélèvement.

Toutefois, nous constatons généralement dans ces formations et par rapport à la terre sous-jacente, une diminution de la proportion d'éléments inférieurs à 2μ , occasionnée principalement par la disparition des particules inférieures à 1μ , ainsi qu'une diminution du fer libre. Parfois, la croûte se différencie peu de la terre sous-jacente ou au contraire accuse une forte augmentation de la teneur en éléments compris entre 20 et 50μ (J. BERNOT, 1961). A titre d'exemple, le tableau 10 fournit quelques analyses globales de croûtes minces.

Par contre, les analyses par strates séparées d'une croûte épaisse, illustrent les phénomènes complexes qui accompagnent leur formation et expliquent en partie les divergences précédentes. Les granulométries représentées graphiquement (graphique n° 26) ont été obtenues par l'analyse des horizons figurant au croquis; la couche de matière organique est incluse dans la fraction 3. Nous constatons l'extrême diversité de composition des différentes strates, correspondant essentiellement à un triage de l'argile, des limons $2-20 \mu$ et $20-50 \mu$, qui peut s'expliquer par l'action concertée des sédimentations et lessivages successifs. C'est ainsi que nous remarquons

Graphique 25



Croquis d'un profil d'une croûte de battance épaisse

un enrichissement en argile de la strate 1 à la strate 3, celle-ci renfermant de surcroît un pourcentage élevé de particules de 2 à 20 μ , puis une diminution du taux d'argile accompagnée d'une augmentation des limons avec un tri très accusé entre 2 et 20 μ pour la strate 4, et entre 20 et 50 μ pour la dernière couche. La moyenne générale de ces résultats, pondérée par l'épaisseur de chacune des couches, se rapproche de la granulométrie de la boubène sous-jacente.

Ces résultats nous permettent de juger de l'importance primordiale que revêt le prélèvement dans une étude cherchant à expliquer les mécanismes de formation mis en jeu. En effet, suivant la technique de prélèvement et selon le stade d'évolution et d'humidité de la croûte de battance, nous pourrions n'en obtenir qu'une fraction correspondant aux strates superficielles ou au contraire donner une trop grande importance au support sous-jacent. En ce qui nous concerne, les prélèvements ont été effectués en période sèche, au moment où la croûte se détachait naturellement de la terre, ce qui nous a permis d'obtenir ces formations dans leur totalité, sans altération artificielle. Les analyses par strates séparées ont ensuite pu démontrer le rôle des remaniements de surface, puisque nos bilans sur la totalité de la croûte s'accordent avec la composition moyenne de la terre à partir de laquelle elles se sont formées.

- Signalons enfin que les densités apparentes moyennes des croûtes sont plus faibles que celles de la boubène, environ 1,55, ce qui leur confère une porosité globale de plus de 40 p.100. Malgré cette porosité relativement élevée il suffit d'une strate à éléments très fins (ex : n° 3, 90 % d'éléments inférieurs à 20 μ) possédant des espaces intersticiels réduits dans les mêmes proportions, pour que la circulation de l'eau soit très fortement ralentie à ce niveau.

TABLEAU n° 10 : Analyses globales de croûtes de battance minces

Origine	Nature	Fer libre	en pour cent du total									
			1000 2000 μ	500 1000 μ	200 500 μ	100 200 μ	50 100 μ	20 50 μ	10 20 μ	2 10 μ	1 2 μ	< 1 μ
Rieumes	croûte	0,80	0,6	0,9	1,3	4,5	10,3	44,7	14,6	10,5	6,4	4,6
	boubène	1,17	0,4	1,7	1,7	4,6	8,8	41,8	14,1	12,0	6,2	7,5
Thill	croûte	0,52	0	1,0	2,0	1,5	13,0	58,5	16,8		6,2	
	boubène	0,88	0,5	1,0	2,0	1,5	11,0	51,0	19,6		11,4	
Brax(1)	croûte	-	1,3				2,0	82,1	5,6	5,4	2,2	
	boubène	-	4,9				12,2	39,5	11,3	17,3	11,9	

(1)- d'après J. BERNOT, 1961

- Les teneurs variables en matières organiques des différentes strates démontrent encore le rôle de la dispersion des éléments colloïdaux dans la formation des croûtes, ces résultats figurent au tableau 11.

TABLEAU n° 11 : Teneur en carbone et en azote des différentes strates d'une croûte de battance épaisse.

Origine	p. 1000 de terre		C/N
	C	N	
couches 1 + 2	18,3	1,99	9,2
horizon noirâtre	29,0	2,31	12,5
couche 3.....	14,2	2,05	6,9
" 4	13,0	1,64	7,9
" 5	10,2	0,99	10,3
boulbène	11,0	1,12	9,8

La matière organique reste associée à l'argile au cours des processus de sédimentation et de lessivage, exception faite pour la couche noirâtre renfermant une proportion plus importante de matière organique libre, plus riche en carbone, et de densité plus faible. La couche 3, compacte, renfermant 90 % d'éléments inférieurs à 20 μ , constitue un arrêt probable à l'infiltration de l'eau, et dès sa mise en place l'action du lessivage a été pratiquement arrêtée comme en témoigne l'enrichissement en matières organiques des couches de surface.

Plusieurs mécanismes sont donc à la fois mis en jeu au cours de la formation des croûtes de battance :

- une action mécanique des gouttes d'eau susceptibles de réduire les mottes et agrégats en particules élémentaires,
- un transport des particules fines vers les dépressions tendant à uniformiser la surface,

...../....

- le maintien d'un état défloculé des colloïdes qui favorise les phénomènes de sédimentation et les remaniements des particules limoneuses,
- des processus de lessivage à travers la croûte, conditionnés par l'état dispersé du milieu, interviennent jusqu'à la mise en place de couches très peu perméables.

Les propriétés essentielles de ces formations superficielles sont, d'une part, leur opposition à la circulation de l'eau et aux échanges gazeux, d'autre part la dureté qu'elles acquièrent en se desséchant et qui provoque une carapace contrariant la levée des jeunes plantules.

Par suite de la difficulté de destruction de ces croûtes au cours des travaux de préparation du sol, elles peuvent se trouver enfouies à différentes profondeurs. Elles provoquent alors des obstacles relativement restreints, mais très efficaces à la pénétration des racines, et des zones à micro engorgements par l'eau qui peuvent être la cause de nécrose localisée des racines, surtout néfastes s'il s'agit de vergers (MAERTENS C. et COURAU M., 1966).

En conclusion, les boubènes constituent des sols excessivement fragiles et instables, susceptibles d'être améliorés temporairement par les effets de la prairie, mais pouvant aussi se dégrader rapidement comme en témoigne le phénomène de battance.

D/- LA POROSITE DES BOULBENES

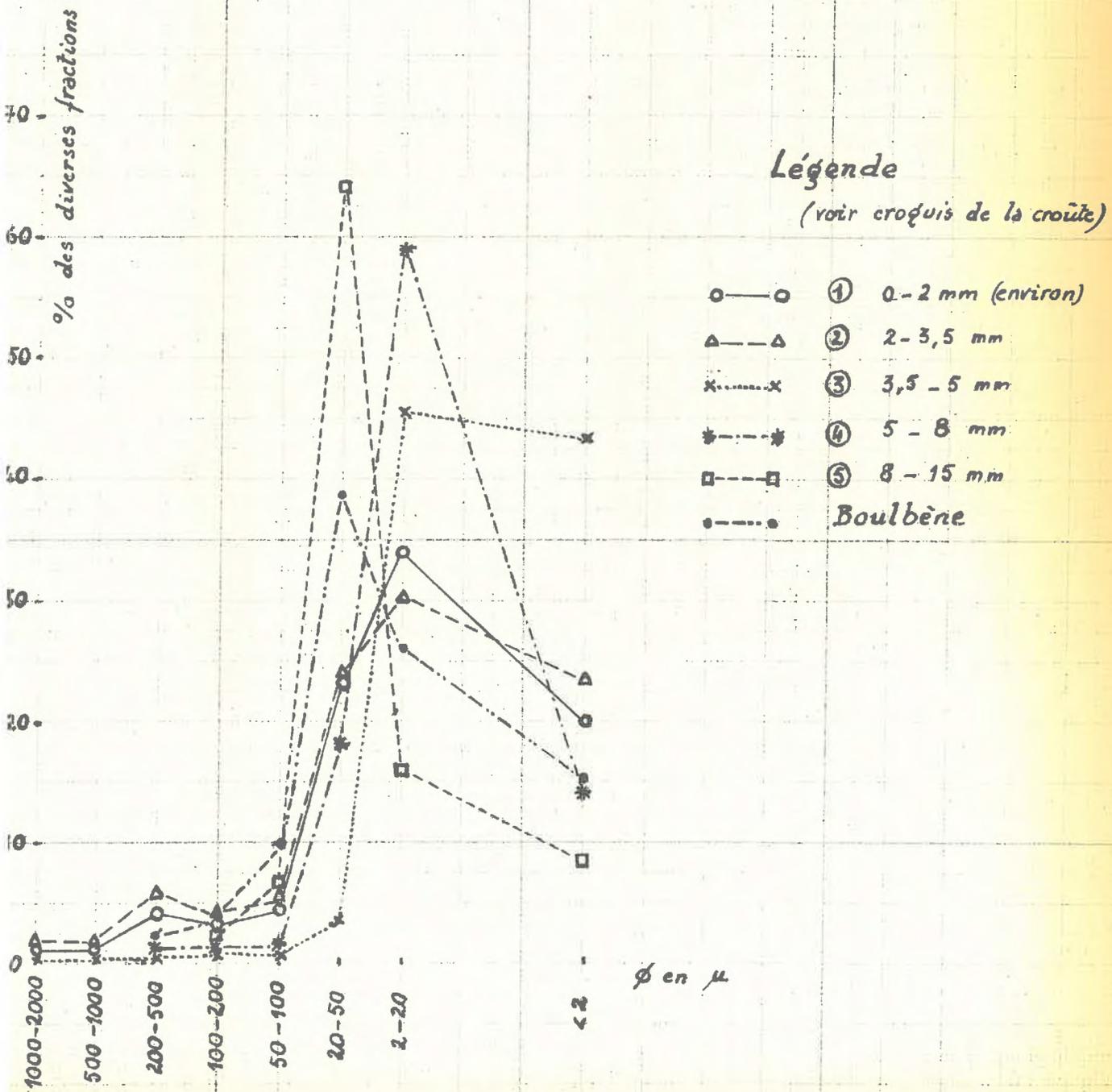
La porosité se définit comme étant le rapport du volume des espaces lacunaires du sol (eau + air) au volume total (eau + air + terre).

Elle se déduit de la densité apparente du sol en place (d.a) et de la densité réelle (d.r) des composants élémentaires. On l'exprime en pourcentage du volume total :

$$P \text{ porosité } \% = \frac{d.r - d.a}{d.r} \times 100$$

Graphique 26

Granulométrie par strates d'une croûte épaisse.



Légende
(voir croquis de la croûte)

- ① 0-2 mm (environ)
- △—△ ② 2-3,5 mm
- x—x ③ 3,5-5 mm
- *—* ④ 5-8 mm
- ⑤ 8-15 mm
- Boulbène

1°- Densité apparente

a)- En sols non caillouteux, les mesures de d.a sont déterminées au moyen de prélèvements d'échantillons à l'aide de cylindres de volume connu (KOPECKY, 1927) ou encore par des mesures directes de la densité des mottes (MAERTENS, 1965). Les résultats obtenus par l'une ou l'autre de ces méthodes sont comparables, à un petit coefficient près, dans le cas de ces terres mal structurées et présentant peu de retrait.

Les nombreuses déterminations effectuées montrent que la d.a des horizons de surface varie davantage avec le système de culture, les façons aratoires, les saisons, que suivant les différents types de boubènes.

Ainsi, selon l'intensité du tassement, la densité apparente peut s'accroître de 1,55 à 1,77 sur une même parcelle (J-R.MARTY et al, 1966). Ces résultats ont été obtenus par la technique des cylindres, les densités sur mottes plastifiées avaient fourni, aux mêmes emplacements, des valeurs de 1,48 à 1,82. La concordance relativement bonne entre ces diverses techniques est caractéristique de l'absence presque totale de structure construite, tant au stade de la motte que de l'agrégat.

D'autre part, on a pu observer dans des boubènes de même nature, une d.a de 1,38 sous prairie, et de 1,76 sous ancienne vigne. Entre ces 2 valeurs extrêmes, les d.a s'échelonnent donc suivant les conditions du milieu, mais aussi suivant l'hétérogénéité du sol, où des variations sont susceptibles d'être enregistrées en des points rapprochés. Il est donc indispensable de multiplier les prélèvements afin de calculer des valeurs moyennes reflétant correctement l'état du sol, toutes choses égales par ailleurs.

Les résultats que nous avons obtenus en boubènes, peuvent se classer en trois groupes qui incluent 80 % des cas examinés :

- densité apparente comprise entre 1,50 et 1,60 ; 20 % des sols
- densité apparente comprise entre 1,60 et 1,65 ; 35 % des sols
- densité apparente comprise entre 1,65 et 1,76 ; 25 % des sols

..../...

20 % des cas s'éparpillent, à peu près également, dans des valeurs de d.a inférieures à 1,50, ou supérieures à 1,76.

Par ailleurs, nous constatons que la d.a des sols cultivés évolue après la dernière façon culturale pour se rétablir aux environs de 1,65 au bout de quelques semaines; cette d.a correspond à un état d'équilibre naturel des boubènes, ce qui leur confère une porosité globale de 38 %.

Dans le cas des boubènes profondes, l'horizon argileux possède une densité apparente plus faible et égale en moyenne à 1,55, valeur analogue à celles obtenues en terrefort. Donc, plus de la moitié des boubènes non caillouteuses possède une densité apparente relativement élevée qui s'accorde parfaitement à la nature du matériau d'origine.

b)- En boubènes caillouteuses ou graveleuses, la densité apparente a été obtenue au moyen d'un densitomètre à membrane qui permet de mesurer le volume de l'échantillon dégagé, éléments grossiers compris.

- Dans ce cas, l'élément d'hétérogénéité principal est le taux de cailloux. La densité réelle des cailloux qui varie de 2,57 à 2,68, jointe à des répartitions et des tailles inégales, modifie rapidement la densité apparente qui peut atteindre 1,97.

Toutefois, la densité apparente de la terre fine, obtenue par différence en éliminant le volume réel des éléments grossiers, est plus faible que dans le cas de sols non caillouteux. Pour des teneurs comparables de la fraction inférieure à 2 μ , elle varie de 1,50 à 1,55; cette densité apparente plus faible est due en grande partie aux lacunes que l'on observe entre cailloux et terre fine et dont la méthode de calcul tient compte. Ces espaces lacunaires autour des cailloux expliquent un comportement un peu plus favorable que nous avons pu observer en boubènes caillouteuses, notamment en ce qui concerne l'enracinement.

En fait, les porosités globales dépendent directement de la quantité d'éléments grossiers, elles diminuent avec l'augmentation de ceux-ci.

En conclusion, les boubènes possèdent une porosité totale d'environ 37-38 %. Cependant ces valeurs ne préjugent en rien de la dimension des interstices poreux, nous sommes donc amenés à envisager la qualité de cette porosité.

Nous avons observé, à l'occasion de nombreux examens de profils culturaux, la présence d'une multitude de petits alvéoles sphériques qui confèrent à l'ensemble des horizons limoneux un aspect de "pierre ponce". Toutes ces petites cavités font partie de la valeur de la porosité totale, elles sont discontinues, et n'interviennent que faiblement dans les mécanismes de circulation de l'eau, de l'air et même de colonisation par les racines.

Nous avons pu mesurer, dans ces profils du type 2, qu'après réhumectation, ces boubènes conservaient une part non négligeable de "porosité non occupée par l'eau" d'environ 8 %. Ce pourcentage tend progressivement à diminuer si l'excès d'humidité se prolonge. L'air se trouve peu à peu chassé par l'eau et monte s'accumuler sous les croûtes de battance (cf. photo n° 3) ou s'échappe dans l'atmosphère. La réhumectation totale est lente, et la quantité d'eau retenue par le sol après ressuyage a légèrement augmenté et garnit alors une part plus importante de la porosité (32 à 34 % au lieu de 28 à 30 %). Ceci montre bien la difficulté des échanges dans un tel milieu, et explique pourquoi il a pu être parfois question de "porosité fermée" (J.BERNOT, 1961).

La création d'une nouvelle structure lacunaire pourrait être due au cours du dessèchement aux phénomènes de retrait qui apparaissent dans la masse à un taux d'humidité supérieur ou au moins égal à celui de la capacité au champ. Cette évolution relativement rapide de la qualité de la porosité peut être considérée comme un élément essentiel dû à la nature des boubènes, et susceptible d'agir intensément sur leurs propriétés hydriques et mécaniques.

2°- Micro et macro-porosité

La micro-porosité correspond à la fraction de la porosité totale occupée par l'eau fixée par le sol en place réhumecté et ressuyé, soit à l'humidité exprimée en volume à la capacité au champ :

..../...



PHOTO 3 : Croûte de battance -(agrandissement $\times 4$)

Microporosité = Humidité (capacité au champ) \times d.a

La macroporosité correspond au volume des lacunes occupées par l'air ou l'eau libre de circuler par gravité, on l'obtient par différence entre porosité totale et microporosité. La porosité pouvant se modifier avec la teneur en eau, ces notions de macro et de microporosité sont assez théoriques, notamment en ce qui concerne les sols hydromorphes et instables tels que les bouldènes (MAERTENS, 1962).

En bouldènes, après totale réhumectation et ressuyage, la phase gazeuse ou macroporosité, reste toujours faible par rapport à la phase liquide ou microporosité (tableau 12, paragraphe suivant). Cette particularité n'affecte pas uniquement les bouldènes mais peut se rencontrer en sols plus argileux compacts (exemple d'une terre sur alluvions récentes du Tarn, tableau 12).

Toutefois, les accidents culturaux dus à l'asphyxie se déclarent avec plus de fréquence et d'acuité en bouldènes qu'en terre franche ou en terreforts, pour des conditions climatiques identiques et malgré des macroporosités peu différentes. D'une façon à peu près générale tous les blés d'hiver souffrent en bouldènes, et les accidents sur arbres fruitiers sont périodiquement spectaculaires (hiver 1960-1961, DELMAS J. et DUTHIL P. - hiver 1965-1966, MAERTENS C. et Mlle COURAU); sur les autres types de sols, exception faite de quelques cas particuliers, ce genre d'accident est assez rare.

Si nous relient ce caractère asphyxiant des bouldènes à leur structure spécifique du genre "pierre ponce", nous sommes amenés à penser que la porosité grossière de ces terres est peu propice à la dynamique des échanges gazeux et comme nous le verrons par la suite à la circulation de l'eau.

Par ailleurs, le manque de cohésion des bouldènes à la capacité au champ, entraîne à cet état des phénomènes d'effondrement de la structure susceptibles de diminuer la porosité totale : la valeur de la macroporosité tend alors à devenir nulle. Le tassement à l'état humide provoque des

..../....

résultats analogues, et les conséquences néfastes sur le comportement des cultures sont considérables (MARTY et MAERTENS, 1966).

II - COMPORTEMENT HYDRIQUE DES BOULBENES

Ce comportement découle directement de la granulométrie et des qualités structurales de ces sols.

A/- TENEURS EN EAU CARACTERISTIQUES

Au préalable, nous devons définir deux teneurs en eau caractéristiques :

- l'une, correspondant à la capacité de rétention en place
- l'autre, correspondant au point de flétrissement permanent.

La capacité de rétention du sol en place, ou capacité au champ ("field capacity") a été définie comme étant "la quantité d'eau retenue dans le sol lorsque l'eau gravitationnelle en excès a drainé et que le régime du mouvement descendant de l'eau a pratiquement décréu". Cette constante hydrique doit être déterminée par des mesures au champ.

Le point de flétrissement permanent correspond à un potentiel capillaire qu'il est nécessaire de relier à une teneur en eau; pour ce faire, nous avons adopté les conceptions de SCHOFIELD et sa notation logarithmique de pF ("potentiel of Free Energy"). Compte tenu des observations fondamentales formulées à cet égard (FEODOROFF, 1968), il est pratique de situer les caractéristiques hydriques d'un sol par la relation existant entre la teneur en eau et le pF correspondant.

Rappelons que le potentiel capillaire Ψ correspond à la hauteur à laquelle on peut élever 1 gramme d'eau dans le sol en utilisant réversiblement l'énergie dégagée par sa fixation, on exprime cette énergie de rétention de l'eau par le sol en centimètres ou en atmosphère.

La notation pF est le logarithme du potentiel capillaire exprimé en cm d'eau : $pF = \log \Psi$.

Pour réaliser les courbes de pF - teneur en eau correspondante, nous devons d'abord déterminer la valeur de la capacité de rétention d'après les mesures effectuées au champ, nous pourrons ensuite envisager la possibilité d'extrapoler ces résultats à d'autres sols du même type, à partir de mesures in vitro de pF. Cette démarche a pour principal objectif la possibilité de répondre à des impératifs agronomiques immédiats tels que conseils d'irrigation, ou de drainage, par exemple.

1°- La capacité au champ en bouldènes déterminée in situ

Définie donc comme étant l'humidité maxima du sol total (y compris les cailloux et graviers) après que celui-ci ait été saturé et se soit bien ressuyé, cette humidité se maintient après quelques jours sans pluie et sous de faibles évapotranspirations. Ces conditions sont difficilement réunies en bouldènes à la fin de l'hiver, époque la plus favorable pour saisir la capacité au champ; les pluies fréquentes et les faibles perméabilités du sous-sol créent des excès d'eau qui s'éliminent lentement. L'évaporation du sol nu peut ensuite être rapide, et la capacité au champ n'offre alors dans ces sols qu'un palier assez court. C'est ce qu'illustre le graphique 27, où sont portées les fluctuations d'humidité d'une bouldène sous des conditions de pluviosité différentes (1966 et 1967) comparativement au comportement d'un terrefort soumis à des conditions climatiques identiques, dans tous les cas le sol ne portait aucune végétation. Le palier correspondant à la capacité au champ des bouldènes se maintient environ 3 semaines si la pluviosité est faible, devient très court lorsque les pluies sont trop fréquentes, alors qu'en terrefort ce palier évolue peu en dépit des pluies ou de l'évaporation. A. FEODOROFF (1961) avait montré, par ailleurs, que ce concept théorique de capacité au champ n'était plus valable dans les sols de structure instable à l'eau. Nous avons donc admis que la capacité au champ des bouldènes se situait à ce palier, si court soit-il, pendant lequel les variations d'humidité restent faibles. Ce palier caractérise un état d'équilibre entre le sol, l'eau et l'atmosphère, pendant lequel il n'y a que de très faible circulation de l'eau de gravité et où les pertes par évaporation n'ont pas encore pris de l'importance. Signalons enfin que ces résultats ont été obtenus grâce à l'utilisation d'un humidimètre à neutrons (MAERTENS, 1965); les dosages d'humidité par des

..../...

prélèvements d'échantillon par carottage étant techniquement impossible au voisinage de la capacité au champ. En effet, dans ces sols un faible excédent d'eau provoque un état de fluence et l'eau libre apparaît à la moindre modification de la porosité par tassement.

Les résultats donnés au tableau 12 situent la capacité au champ ainsi redéfinie pour des bouldiers typiques, par rapport à celle d'alluvions récentes plus argileuses ou plus sableuses. Les terreforts fournissent des résultats semblables à ceux des horizons argileux sous bouldiers.

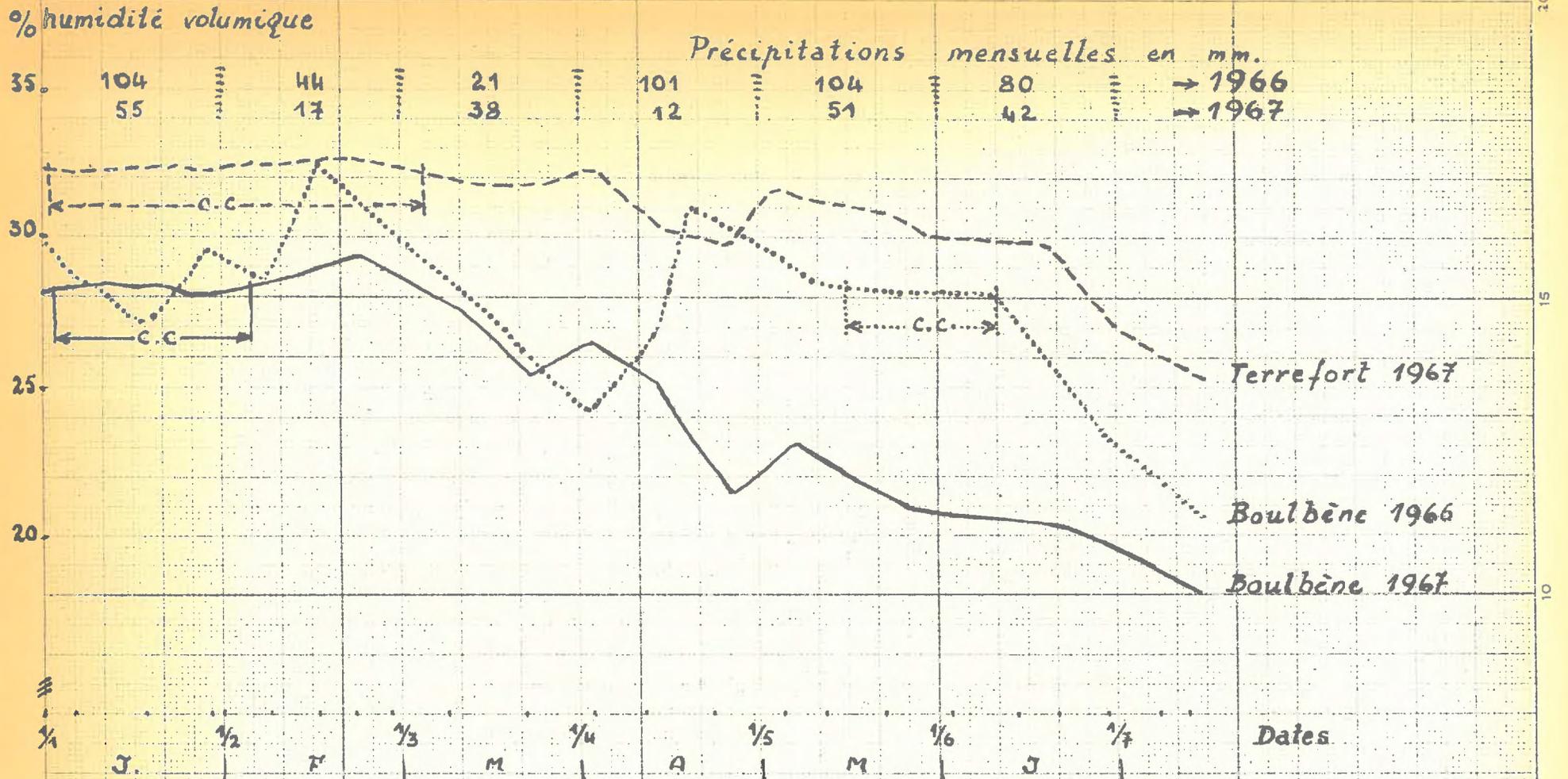
Précisons que sur ce tableau la capacité au champ est exprimée en humidité pondérale, résultat obtenu à partir de l'humidité volumique fournie par l'humidimètre à neutrons et de la densité apparente du sol en place à la profondeur correspondante. Ce mode de calcul peut présenter une légère incertitude par suite de l'hétérogénéité des profils, toutefois la multiplicité des déterminations effectuées et les précautions prises pour l'étalonnage de l'appareil montrent que les écarts enregistrés dépassent rarement plus ou moins 5 % en valeur relative.

2° - Le pF 4,2

C'est avec la capacité au champ, un des points caractéristiques, il correspond au "point de flétrissement permanent" où la quantité d'eau est trop énergiquement retenue par le sol pour être utilisable par les plantes.

Cette humidité obtenue à $\psi = 16.000$ g varie peu pour l'ensemble des bouldiers et se maintient aux environs de 5 à 6 % dans les horizons limoneux; par contre, elle s'élève à 14 - 15 % en horizon argileux (ainsi d'ailleurs que pour les terreforts) et s'abaisse à 2 % pour les sols sableux (voir tableau 12).

En définitive, nous constatons que la capacité au champ des bouldiers est équivalente à celle obtenue sur échantillon remanié à des pF de 2,7 - 2,8, celle des sous-sols argileux à des pF de 3,0 - 3,2. Les correspondances obtenues pour les sous-sols argileux sont sensiblement identiques à celles obtenues dans des alluvions récentes limono-argileuses ou argilo-



Graphique - 27

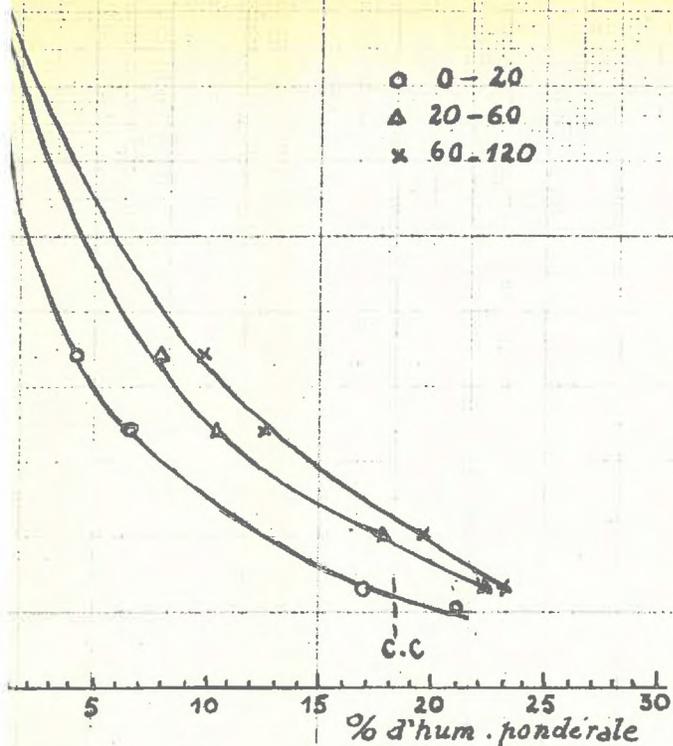
Détermination de la capacité au champ.

Palier de ressuyage en houlbène et en terrefort (sols nus)

Graphique 28

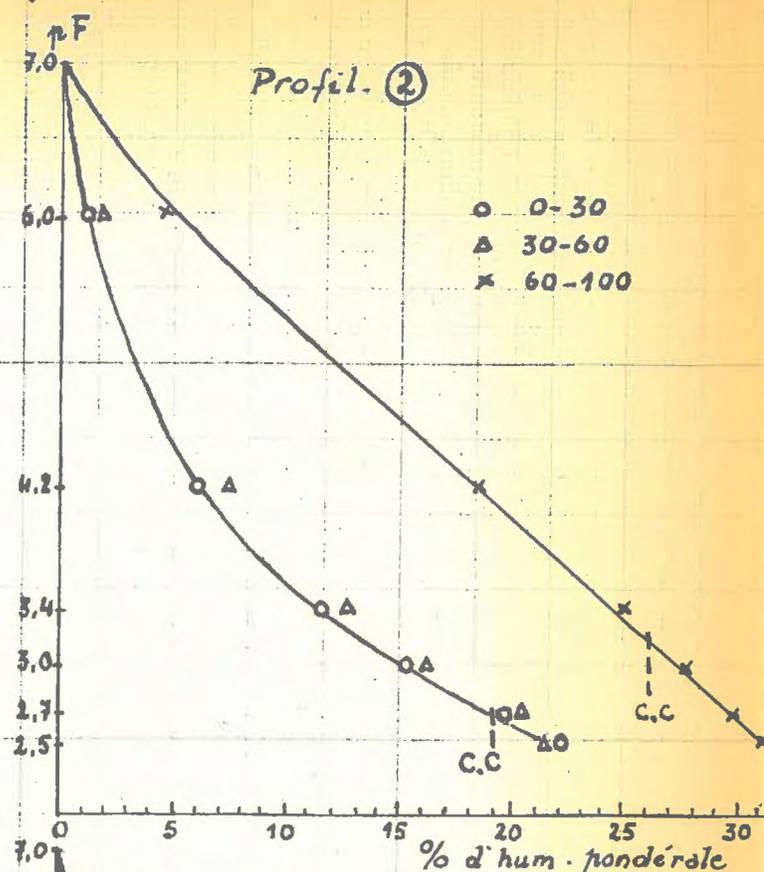
Profil. ①

- 0-20
- △ 20-60
- × 60-120



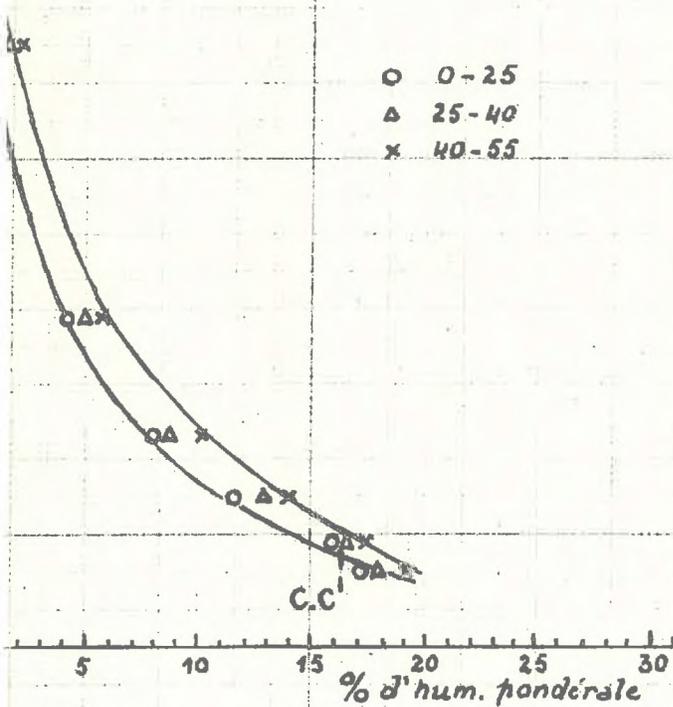
Profil. ②

- 0-30
- △ 30-60
- × 60-100



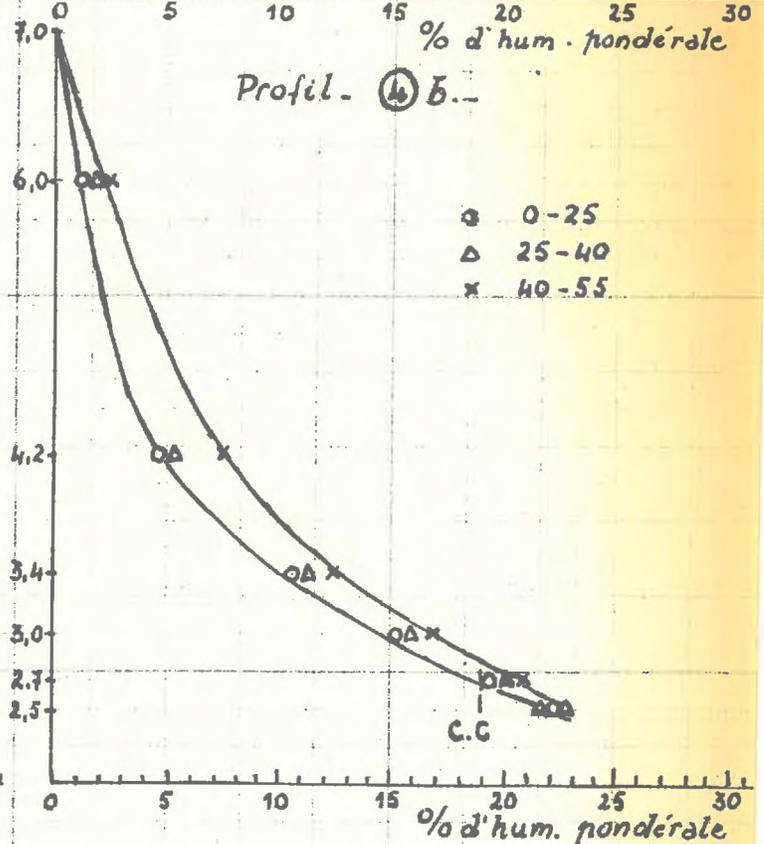
Profil. ③

- 0-25
- △ 25-40
- × 40-55



Profil. ④ B.

- 0-25
- △ 25-40
- × 40-55



Relation pF - teneur en eau

de quelques profils typiques de boubènes

limoneuses. Par contre, en sol sableux, le taux d'humidité à la capacité au champ diminue et se rapproche de celle obtenue au pF 1,5. Ces résultats rejoignent ceux fournis par différents auteurs (BONNEAU, 1961 - PERIGAUD, 1963) qui ont étudié les relations entre capacité au champ et texture.

En boubènes caillouteuses, et pour les sols renfermant une certaine surcharge d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm, les comparaisons ne sont plus possibles entre les résultats fournis par l'humidimètre à neutrons pour le sol en place, et ceux fournis au laboratoire sur échantillon remanié. Dans ce cas, on est contraint d'effectuer une approximation qui risque d'être assez large compte tenu de l'hétérogénéité de répartition des cailloux. Une telle approximation a été effectuée pour le profil 4 a (tableau 12).

3°- Relation pF - teneur en eau

Pour construire les courbes pF en fonction de l'humidité exprimée en pour cent de terre sèche, nous avons déterminé l'humidité correspondant à différentes valeurs de ψ . Nous avons choisi, pour cela, des techniques compatibles avec le pF à obtenir, en opérant sur des échantillons de terre tamisés et préalablement réhumectés (STUDER, 1961):

pour les pF inférieurs à 2,7 : centrifugation
de 2,7 à 4,2 : pression (appareil de RICHARDS)
supérieur à 4,2 : hygroscopticité

une humidité nulle obtenue après passage à l'étuve à 105° correspond au pF 7,0.

Les courbes du graphique 28 ont été obtenues à partir des échantillons provenant des profils typiques n°s 1, 2, 3, 4b.

Suivant les horizons et leur teneur respective en argile, l'allure des courbes se modifie et tend vers une droite pour l'horizon argileux profond du profil 2. En surface les courbes obtenues traduisent le caractère faiblement argileux des boubènes : pour un pF égal à 2,5 les humidités varient de 17 à 22 %, les courbes s'infléchissent à mesure que le pF augmente et le taux d'humidité s'abaisse aux environs de 5 % au pF 4,2.

...../....

TABLEAU n° 12 - Caractéristiques hydriques de différents horizons en sols d'alluvions.

Profondeur cm	Argile %	Limons 2-50 μ %	% de terre sèche		pF cor- respon- dant à la c.c	Réserves utilisa- bles en mm/cm de terre	Porosi- té totale	Macro- poro- sité
			capacité au champ	pF 4,2				
<u>Boulbènes non caillouteuses :</u>								
<u>Profil n° 1</u>								
10-20	11,8	44,7	18,0	4,2	2,7	2,04	37	7
> 50	18,0	51,5	19,0	9,0	3,0	1,70	36	4
<u>Profil n° 2</u>								
10-20	13,2	69,4	19,0	6,1	2,7	2,12	38	6
> 70	49,7	43,0	26,0	18,0	3,2	1,26	41	1
<u>Plaine de Revel</u>								
10-20	11,5	49,5	19,6	6,1	2,8	2,06	43	13
50-70	22,9	50,0	20,2	7,8	2,9	2,02	39	6
> 80	37,2	40,4	22,4	14,9	3,0	1,21	39	3
<u>Boulbènes caillouteuses :</u>								
<u>Profil n° 4 a</u>								
10-20	11,4	60,6	15,5	4,9	-	1,88(1)	37	11
30-45	25,9	46,8	18,4	11,9	-	1,85(1)	37	6
<u>Alluvions limono-argileuses :</u>								
<u>Alluvions récentes Tarn</u>								
10-20	18,5	47,0	18,4	7,0	2,9	1,90	37	6
50-70	25,0	40,3	22,5	10,5	3,0	1,98	38	1
<u>Alluvions sableuses :</u>								
<u>Alluvions récentes de l'Hers</u>								
10-30	3,2	15,0	10,5	2,1	1,5	1,47	36	18

(1) - Estimées approximativement compte-tenu des taux de cailloux et de graviers.

4°- Les réserves hydriques utilisables

Les réserves hydriques susceptibles d'être utilisées par les plantes correspondent à la différence entre l'humidité du sol à la capacité au champ et l'humidité résiduelle à pF 4,2. Ces réserves habituellement calculées sur la profondeur de sol exploitée par les racines, sont, de ce fait, soumises à des variations liées aux possibilités d'enracinement d'espèces différentes, ou pour une même culture, au développement des racines en profondeur au cours de la croissance du végétal (C.MAERTENS et al, 1966).

Dans le but de pouvoir comparer différents sols, il est intéressant d'exprimer cette humidité en mm d'eau par cm de hauteur de terre, plutôt que de la calculer globalement pour une profondeur conventionnelle.

Cette valeur se déduit de la relation suivante :

$$\begin{array}{l} \text{RU} \\ \text{mm d'eau par cm de} \\ \text{hauteur de terre} \end{array} = \frac{1}{10} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humidité}^{(1)} \\ \text{capacité} - \\ \text{au champ} \end{array} \begin{array}{l} \text{Humidité}^{(1)} \\ \text{pF 4,2} \end{array} \right\} \times \text{densité apparente}$$

(1)- Humidité % de terre sèche

A titre d'exemple, quelques résultats figurent au tableau 12; ils montrent qu'en boubènes, comme pour tous les sols limoneux, la valeur de ces réserves hydriques est élevée. Celles-ci sont un peu moins importantes en sols argileux, et nettement plus faibles en sols sableux. Il est bien évident que la présence de cailloux et de graviers concourt à limiter l'importance de ces réserves dans une proportion qui équivaut sensiblement à leur pourcentage dans la terre, mais, cette approximation peut varier suivant les proportions respectives de cailloux et graviers. En effet, le pouvoir de rétention de l'eau par des graviers compris entre 2 et 5 mm n'est pas nul et se situe aux environs de 5 %.

Nous venons de voir que le taux d'humidité des boubènes à la capacité au champ correspond à un pF inférieur à celui des terreforts (2,7/2,8 au lieu de 3,0). Or, entre pF 2,7 et 3,0 l'eau est plus facilement disponible qu'au-dessus de pF 3,0 et cette fraction constitue environ 30 % des réserves hydriques des boubènes. A partir de pF 3,0 les réserves que conservent encore les sols limoneux deviennent plus faibles qu'en sols

argileux. De plus, les courbes de p^F - humidité (graphique 28) montrent que les sols limoneux cèdent plus facilement leur eau que les sols argileux, principalement en partant d'humidité élevée. Des travaux en cours (J.PUECH (1)) montrent que le gradient d'humidité est beaucoup plus marqué pour un sol argileux que pour un sol limoneux, lorsque partant d'une teneur en eau comparable, les forces de succion appliquées sont identiques. Il s'ensuit que la conductivité pour l'eau est meilleure en boubène qu'en terrefort. Ainsi s'explique le comportement des cultures d'été en boubènes qui souffrent brutalement, plus rapidement et plus intensément de la sécheresse qu'en terrefort, malgré des réserves hydriques globales généralement plus élevées.

B/- DYNAMIQUE DE L'EAU EN BOULBENES

MUNTZ et ses collaborateurs accusaient les boubènes d'une imperméabilité localisée aux premiers centimètres de surface par suite de la formation d'un "glacis superficiel empêchant l'humectation en profondeur". Par ailleurs, LEYMERIE (déjà cité) avait écrit que "le sol des plateaux d'alluvions anciennes est par sa nature assez perméable et que les eaux pluviales et autres trouvent à s'y infiltrer". Ainsi, il est curieux de constater que les boubènes étaient accusées autrefois davantage d'un manque de structure que d'un défaut de perméabilité. Actuellement, au contraire, les agriculteurs les considèrent généralement comme très peu perméables et cette propriété défavorable serait à l'origine des nombreuses difficultés rencontrées dans ces sols.

Ces jugements paraissent contradictoires, cependant on peut penser que la diminution des surfaces enherbées, l'abandon de la pratique du marnage, la disparition du bétail, enfin les possibilités de compactage des sols par la mécanisation et les excès de travaux superficiels, sont autant de facteurs qui ont pu contribuer, au cours de ces dernières décennies, à diminuer la perméabilité de ces sols instables et fragiles.

...../...

(1)- J.PUECH - communication personnelle - Travaux en cours de publication

D'autre part, de nos jours on confond souvent sous le vocable de boubènes, la terre arable et le profil même constitué d'une juxtaposition d'horizons de perméabilité différente; de plus, des formations temporaires de surface (croûtes de battance) peuvent modifier le comportement superficiel et masquer celui de l'horizon sous-jacent.

Nous avons donc tenté d'étudier le comportement de ces sols vis à vis de l'eau en suivant la réhumectation de quelques profils de boubènes typiques au cours d'un hiver, et l'utilisation de cette eau par différentes cultures au cours de l'été. Ensuite des essais de perméabilité sous charge d'eau constante ont été entrepris dans les mêmes conditions de plein champ.

Nos observations et nos mesures sur la perméabilité des différents horizons, particulièrement limons en surface et argile en sous-sol, nous ont permis de mettre en évidence l'influence du sous-sol dans les phénomènes d'ennoyage, et de montrer l'importance du type de culture dans la dynamique de l'eau.

1°- La réhumectation des boubènes

Des profils hydriques réalisés au moyen d'un humidimètre à neutrons et effectués au cours de l'automne et de l'hiver nous ont permis de suivre la réhumectation de la terre en fonction de l'intensité des pluies et suivant le système de culture.

Il s'agissait d'une boubène profonde des environs de Rieumes avec horizon argileux en profondeur (profil type n° 2) (1). Les postes de mesure avaient été installés dans 4 champs soumis à des cultures différentes :

- une fétuque élevée de 3 ans,
- une vigne d'une trentaine d'années,
- culture de colza 2ème année après prairie,
- culture de colza après rotation blé-maïs sans prairie.

..../...

(1)- Notons cependant que l'horizon superficiel de cette boubène possédait une densité apparente un peu plus faible que la normale (cf. tableau 13).

Ces champs étaient situés sur le même plateau, à peu de distance les uns des autres. Ils possédaient des profils comparables et les résultats de l'analyse granulométrique étaient identiques pour les horizons correspondants. Seules différences : les taux de matières organiques, faibles sous vigne, plus élevés sous prairie, et la capacité de rétention pour l'eau, celle de l'horizon de surface de la vigne étant la plus faible (tableau 13).

Les profils hydriques de réhumectation représentés sur le graphique 29 ont été suivis à partir du dessèchement maximum.

TABLEAU 13 : Caractéristiques des champs d'essais

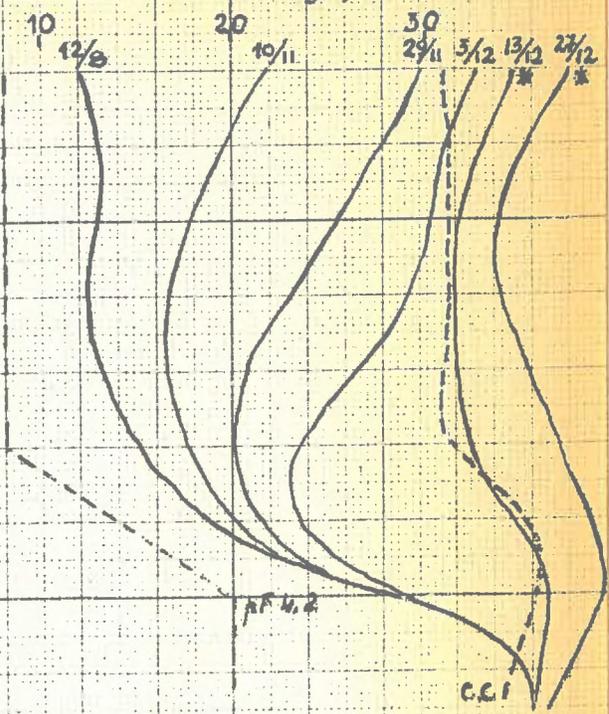
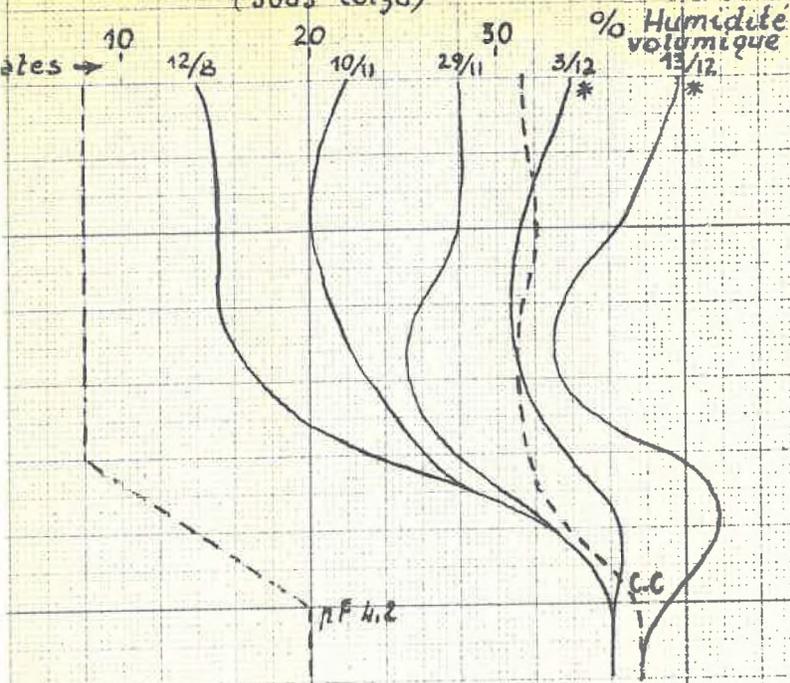
	Vigne (1)			Rotation sans prairie (2)			Rotation avec prairie (3)			Fétuque 3 ^e année (4)		
	sol 0-20 cm	hori- zon inter médi- aire 40-60 cm	> 60 cm	sol 0-20 cm	hori- zon inter médi- aire 40-60 cm	> 60 cm	sol 0-20 cm	hori- zon inter médi- aire 40-60 cm	> 60 cm	sol 0-20 cm	hori- zon inter médi- aire 40-60 cm	> 60 cm
<u>- p.100 de terre fine sèche :</u>												
mat.org.	1,1	0,6	0,4	1,5	0,5	0,3	1,7	0,5	0,4	2,4	1,2	0,4
< 2 μ	13,1	18,7	41,3	13,3	18,0	40,7	12,4	15,0	32,6	14,6	19,0	41,8
2-50 μ	65,9	69,6	66,6	71,9	68,5	49,7	69,9	69,5	55,2	65,1	66,1	42,8
200-2000 μ	3,8	4,0	3,5	4,0	4,0	2,1	5,0	6,0	3,5	3,3	3,2	2,1
<u>- teneur en eau en p.100 de terre fine sèche :</u>												
pF 2,5	19,9	20,8	27,0	24,0	21,0	28,0	24,5	22,5	25,0	25,8	21,6	26,0
3,0	14,8	15,3	24,4	16,9	17,0	24,8	17,5	15,8	21,6	19,0	16,4	22,8
3,7	7,0	7,4	17,4	7,6	8,4	18,5	7,5	16,0	14,5	9,0	7,4	16,6
4,2	5,0	6,0	14,5	5,2	4,8	14,7	4,8	5,2	10,0	6,1	5,5	13,5
densité apparente	1,50	1,62	1,70	1,50	1,60	1,50	1,50	1,60	1,65	1,47	1,65	1,67
porosité totale	44	39	36	45	40	38	44	40	38	45	38	37

Graphique 29

humectation d'un profil de boubène sous différents types de culture

Rotation sans prairie
(sous colza)

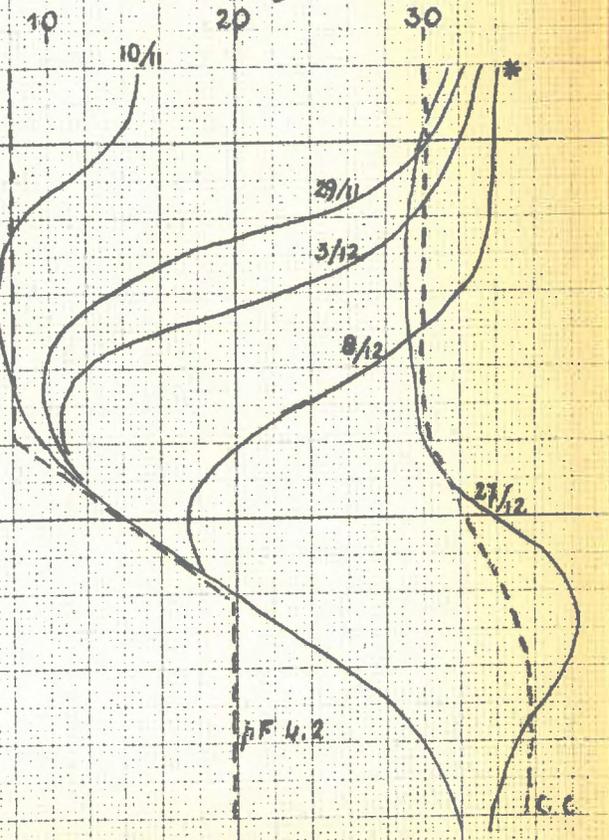
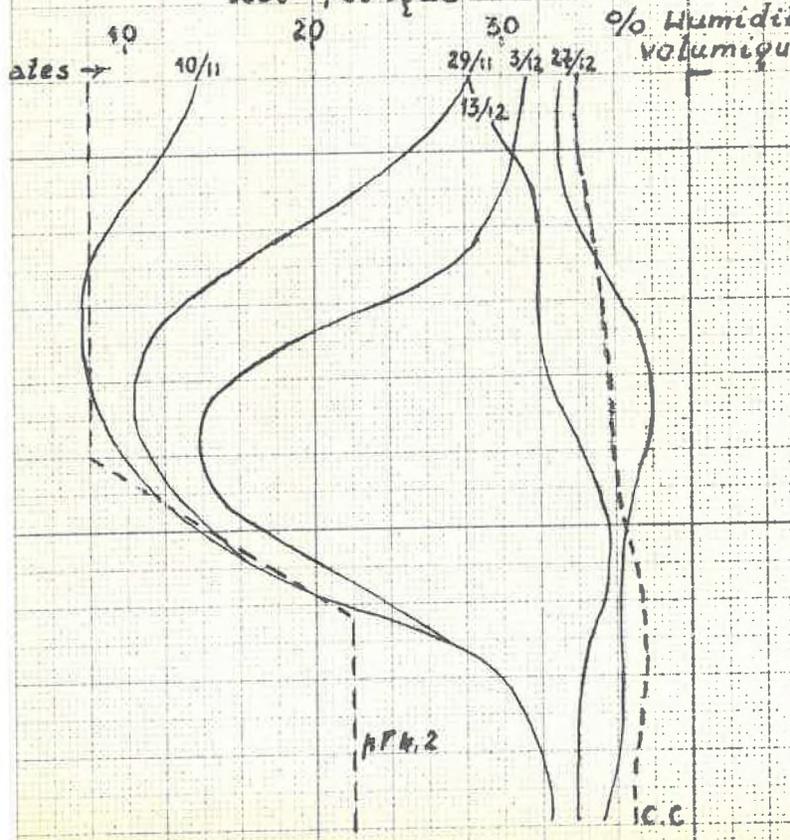
Rotation avec prairie
(sous colza)



Profondeurs (cm)
* eau libre en surface

sous fêtuque

sous vigne



Profondeurs (cm)

La vigne et la fétuque, grâce à leur enracinement puissant et profond et à leur exigence en eau, ont utilisé la totalité des réserves jusqu'à 90 cm et la consommation en eau est restée importante au-delà. Sur les deux autres champs et précédant l'ensemencement en colza, la culture de blé n'avait utilisé qu'une partie des réserves en eau du sol et au-delà de 75-80 cm la terre était restée à la capacité au champ.

Mais entre ces deux parcelles soumises à des rotations différentes avec ou sans prairie, nous avons pu observer des différences dans l'enracinement et l'utilisation des réserves du sol.

Dans le champ (2) (blé-maïs sans prairie), l'enracinement du blé était moins abondant et moins profond que dans le champ (3) (blé après maïs succédant à une prairie). Ces données seront précisées dans la 3ème partie. La meilleure implantation du blé, la deuxième année de culture après prairie, explique la consommation légèrement plus importante en eau et dans ce cas le léger retard pour arriver à la saturation du profil.

Le dessèchement maximum pris comme base de départ avait été enregistré le 10 novembre pour vigne et fétuque, et le 12 août pour les deux champs en culture.

A partir du 10 novembre 1965, commence une période pluvieuse qui s'est poursuivie jusqu'au 5 janvier 1966. Durant cette période il est tombé environ 3 fois plus d'eau que la normale : 284 mm pour 95 mm en moyenne, et nous avons pu juger des possibilités d'infiltration de l'eau dans les bouldiers sous des conditions nettement défavorables.

Les résultats obtenus figurent au tableau 14, les différences d'humidité du sol entre périodes successives ont été calculées à partir des données des profils hydriques.

..../...

TABLEAU n° 14 : Réhumectation d'une bouldène sous différentes cultures

périodes (dates)	Pluie mm	Différence d'humidité du sol entre périodes (en mm)			
		1°- (vigne)	2°- (rotation sans prairie)(Colza)	3°- (rotation avec prairie)(Colza)	4°- (fétuque 2ème année)
10/11-26/11	33	33	16	18	23
26/11-29/11	21	17	12	18	17
29/11- 3/12	19	14	39	27	27
			----- (1)		
3/12- 8/12	39	32		37	40
				----- (1)	
8/12-13/12	57	40			55
13/12-17/12	37	25			- 6 (3)
17/12-27/12	38	32			20
		----- (1)			----- (2)
27/12- 5/1	40	11			} 15
5/1 -17/1	13				

(1)- profil réhumecté et à la capacité au champ, de l'eau libre apparaît en surface

(2)- profil réhumecté et à la capacité au champ, pas d'eau libre en surface

(3)- pendant ces quatre jours, il y a diminution de la teneur en eau soit par suite de perte en profondeur, soit par consommation de la prairie.

Discussion

Les profils hydriques et les résultats du tableau 14 montrent que la réhumectation s'est effectuée sans engorgement marqué sous des intensités de pluie maximales de 50 mm en 3 jours.

Excepté pour le sol sous fétuque, les premières manifestations d'engorgement sont apparues d'abord au niveau de l'horizon argileux lorsque l'ensemble du profil était ramené à la capacité au champ, l'engorgement de l'horizon superficiel se manifestant ensuite.

...../....

On remarque un léger retard entre les chutes de pluie et la pénétration de l'eau en profondeur, ce qui indique une infiltration relativement lente à travers les premiers centimètres.

Sous fétuque nous n'avons pas enregistré de difficulté d'infiltration pour cette pluviométrie aussi bien en profondeur qu'en surface. La valeur de la capacité au champ de ce sol se situe à un niveau un peu plus élevé que celui des 3 autres parcelles, cela peut s'expliquer par la porosité plus élevée due à la présence d'un système racinaire abondant et un taux plus important de matières organiques. Dans cette parcelle, l'écoulement vers la profondeur est satisfaisant, alors qu'il semble très limité dans les autres.

La capacité au champ était atteinte à des dates différentes qui dépendaient des réserves en eau du sol utilisées par la culture. C'est ainsi qu'il fallait combler environ 190 mm des réserves du sol sous vigne, 175 mm sous la fétuque, 100 mm après le blé "rotation avec prairie" et 67 mm après le blé "rotation sans prairie". Entre ces deux parcelles nous constatons une semaine d'écart avant l'apparition de l'ennoyage, à l'avantage de la parcelle faisant intervenir la prairie dans la rotation. Ce retard, joint aux autres conditions améliorantes subsistant après retournement de la prairie, a favorisé une meilleure implantation du colza qui a pu résister sur cette parcelle durant l'hiver, alors qu'il a petit à petit disparu sur l'autre.

Quant aux bilans hydriques, ils sont délicats à effectuer surtout pour la vigne et la fétuque où l'utilisation de l'eau a légèrement dépassé la profondeur des tubes utilisés pour les déterminations d'humidité.

Ainsi donc, en suivant la réhumectation au cours d'un hiver exceptionnellement pluvieux, nos mesures ont essentiellement montré que les boubènes ne présentaient pas de frein important à l'infiltration de l'eau au cours de la réhumectation du profil, aussi bien en sol nu battant (vigne), qu'en sol récemment travaillé (colza) que sous prairie (fétuque). Par contre, la circulation de l'eau et la filtration deviennent très faibles dès que le profil est réhumecté, exception faite pour le sol portant une fétuque depuis 2 ans. Dans ce cas la surface ne s'est pratiquement pas ennoyée durant tout l'hiver alors qu'elle l'était pour les autres parcelles aussitôt que la capacité au champ était atteinte.

..../...

2°- Le dessèchement des boubènes

Dans les mêmes parcelles utilisées pour étudier l'infiltration de l'eau, nous avons suivi le dessèchement du profil sous différentes cultures (graphique 30) :

- (1) vigne,
- (2) maïs ensemencé le 1er juin après la perte de la culture de colza disparu au cours de l'hiver (rotation sans prairie),
- (3) colza récolté mi-juin, sol nu travaillé ensuite (rotation avec prairie),
- (4) fétuque élevée 3ème année.

Les conditions climatiques de l'été 1966 pour ce secteur se caractérisent par une pluviométrie légèrement supérieure à la normale en avril, mai et juin et une sécheresse marquée en juillet et août. Le déficit climatique a commencé début juin.

Le dessèchement du profil est directement lié à l'utilisation des réserves en eau du sol qui dépend des conditions climatiques, de la culture, de ses besoins et de ses possibilités d'enracinement.

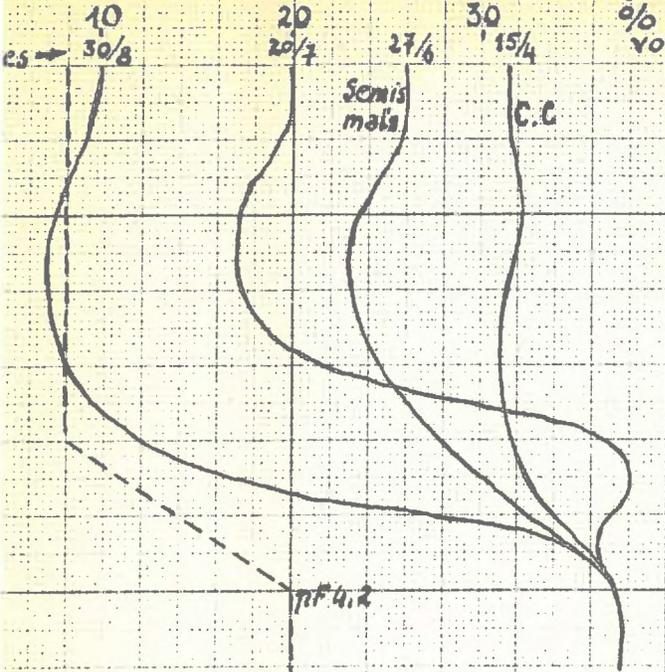
Nous avons déjà pu constater qu'en 1965 le blé n'avait pas utilisé les réserves du sol au-delà de 70-80 cm; en 1966 le colza les utilise peu et superficiellement, le maïs ne descend guère au-delà de 70 cm. De nombreuses autres observations confirment le fait que les cultures annuelles d'été ne profitent pas ou très peu des réserves en eau du sous-sol des boubènes profondes. L'horizon argileux est un obstacle à la pénétration des racines, celui-ci peut néanmoins être partiellement prospecté lorsqu'une prairie a précédé depuis peu l'implantation de la culture annuelle (exemple du blé - rotation prairie en 1965). En effet, des cultures plurianuelles vigoureuses telles que vigne et fétuque sont susceptibles de coloniser le sous-sol et d'utiliser les réserves hydriques qu'il renferme. En 1966, vigne et fétuque ont utilisé la totalité des réserves jusqu'à 80 cm et le dessèchement du sous-sol s'est poursuivi au-delà de 1,10 m dans les 2 cas.

Graphique 30

Dessèchement d'un profil de boulbène sous différentes cultures

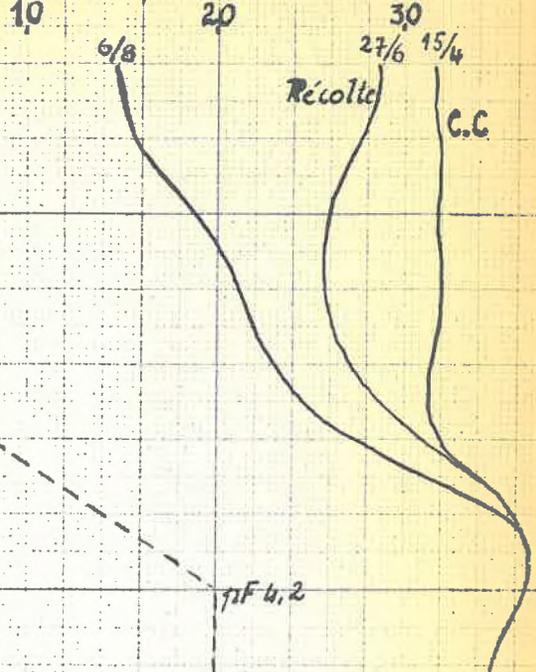
Rotation sans prairie

(sous maïs après disparition du colza)

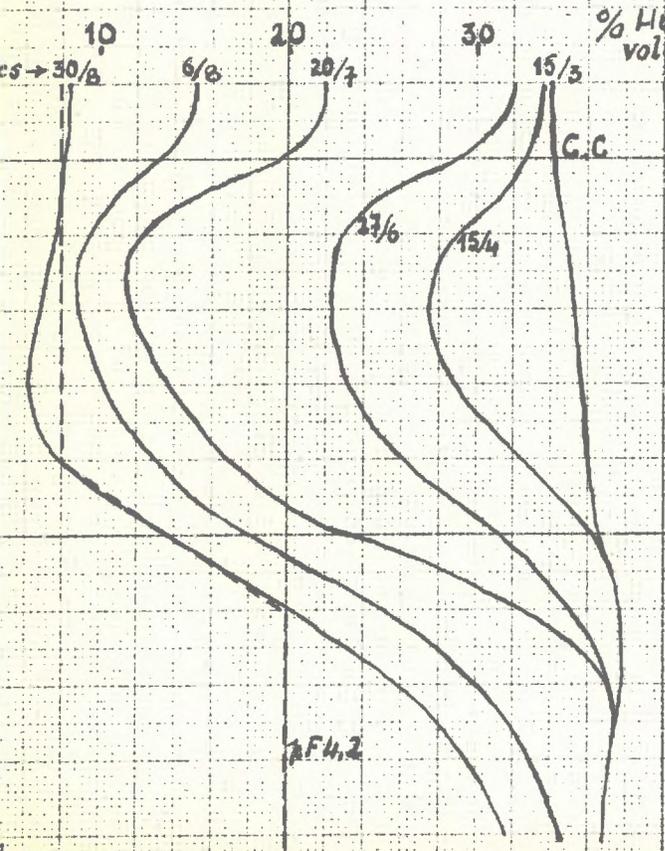


Rotation avec prairie

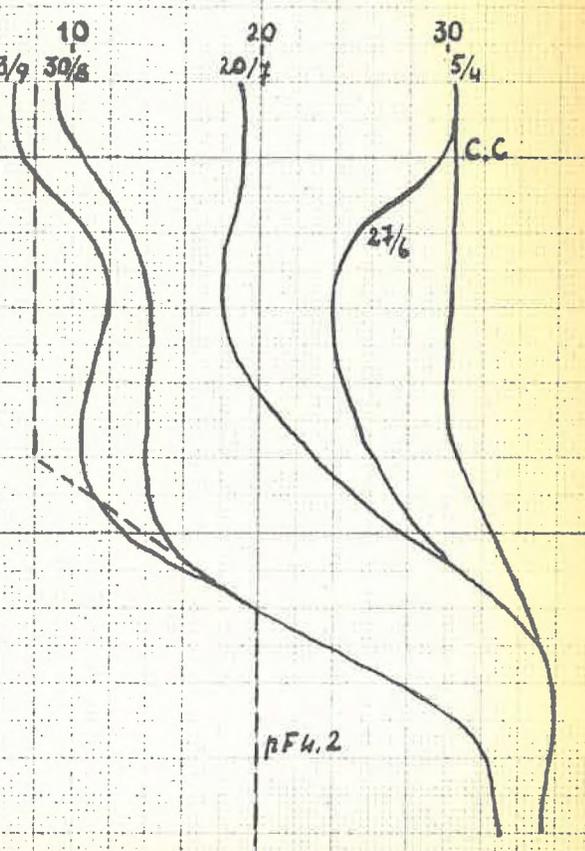
(sous colza puis sol nu travaillé.)



sous fétuque



sous vigne



On peut penser qu'une culture succédant au retournement d'une fétuque profite du passage des racines de celle-là; d'autre part, la dessiccation du sous-sol provoque la formation de fentes de retrait qui sont autant de voies de circulation pouvant assurer pendant un certain temps la filtration de l'eau en profondeur.

L'examen de profils hydriques de dessèchement montre que le colza a le moins utilisé les réserves du sol par suite de sa récolte hâtive (mi-juin). La quantité d'eau du sol utilisée par le colza a été d'environ 30 mm; la dessiccation du sol travaillé après récolte s'est poursuivie jusqu'au 6 août pour atteindre 75 mm au total.

Le maïs a levé dans un sol présentant sur les 30 premiers centimètres un déficit d'environ 15 mm, mais au-delà, et principalement aux environs de 70 cm, il y avait un engorgement en eau provoqué probablement par les travaux ayant abouti au retournement du colza et des plantes adventices. Le labour avait favorisé la pénétration des pluies jusqu'aux environs de 30 cm et la circulation de cette eau se trouvait ensuite freinée par l'argile entre 60 et 80 cm de profondeur. Le maïs a rapidement puisé dans les réserves en eau des couches superficielles et le dessèchement à pF 4,2 a été atteint le 30 août, jusqu'à 60 cm de profondeur; au-delà de 70 cm le maïs n'avait pratiquement pas utilisé les réserves du sous-sol. Le dessèchement total obtenu en 1966 pour la vigne et la fétuque est comparable à celui observé en 1965 (respectivement 170 et 200 mm). On peut constater que la vigne ne commence à puiser dans les réserves du sol qu'à partir du mois de juin et qu'elle utilise régulièrement ces réserves sur 70 cm. La fétuque a commencé dès le mois d'avril et le dessèchement jusqu'au début août s'est effectué principalement dans la zone 20-40cm, la plus abondamment prospectée par les racines. Cela démontre l'importance de la colonisation du profil par les racines dans l'utilisation des réserves hydriques et l'importance que revêt ce phénomène sur la réhumectation.

3°- Circulation de l'eau saturante (1)

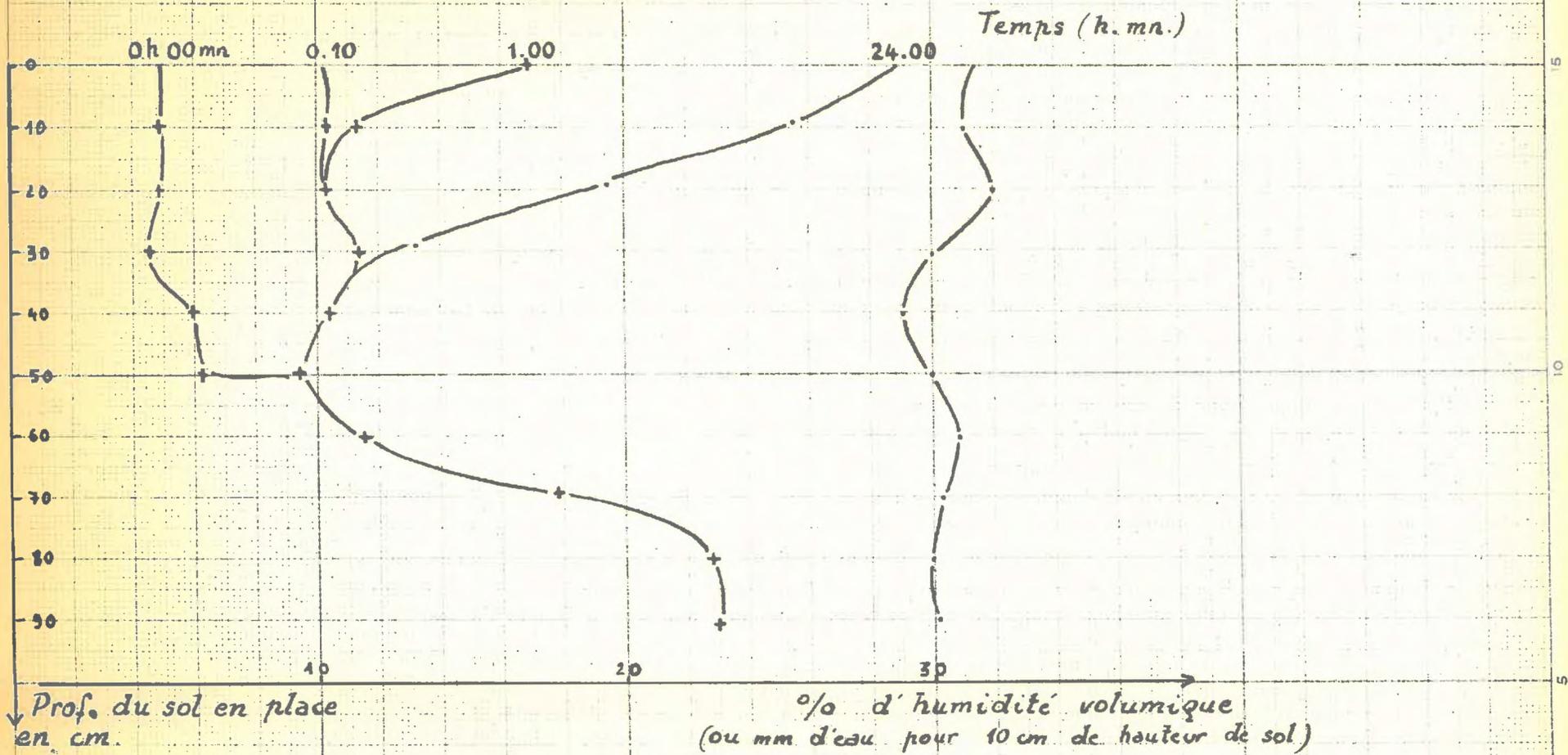
...../...

(1)- expériences effectuées en collaboration avec Mlle COURAU M.

Graphique 31

Infiltration de l'eau : évolution des profils hydriques au cours du temps jusqu'à la saturation.

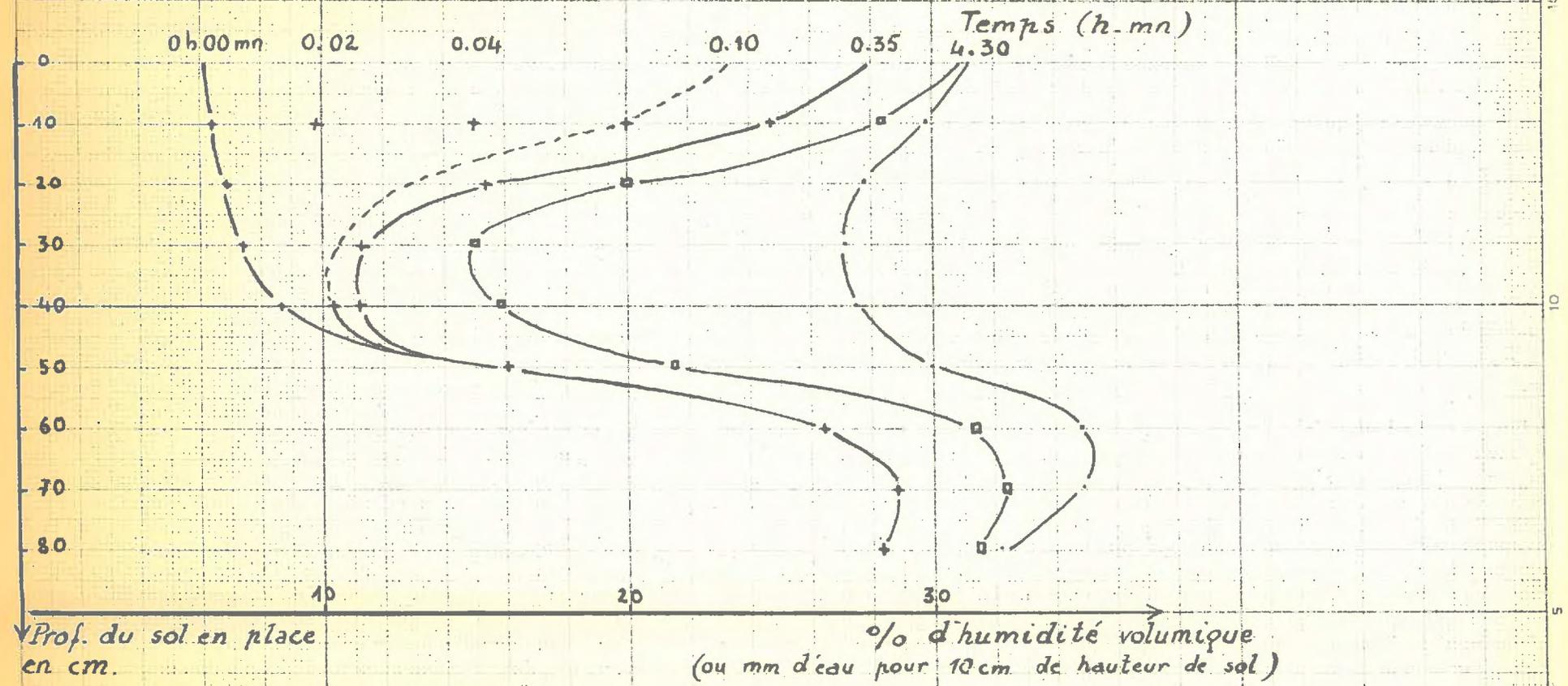
(sous vigne)



Graphique 32

Infiltration de l'eau : évolution des profils hydriques au cours du temps jusqu'à la saturation.

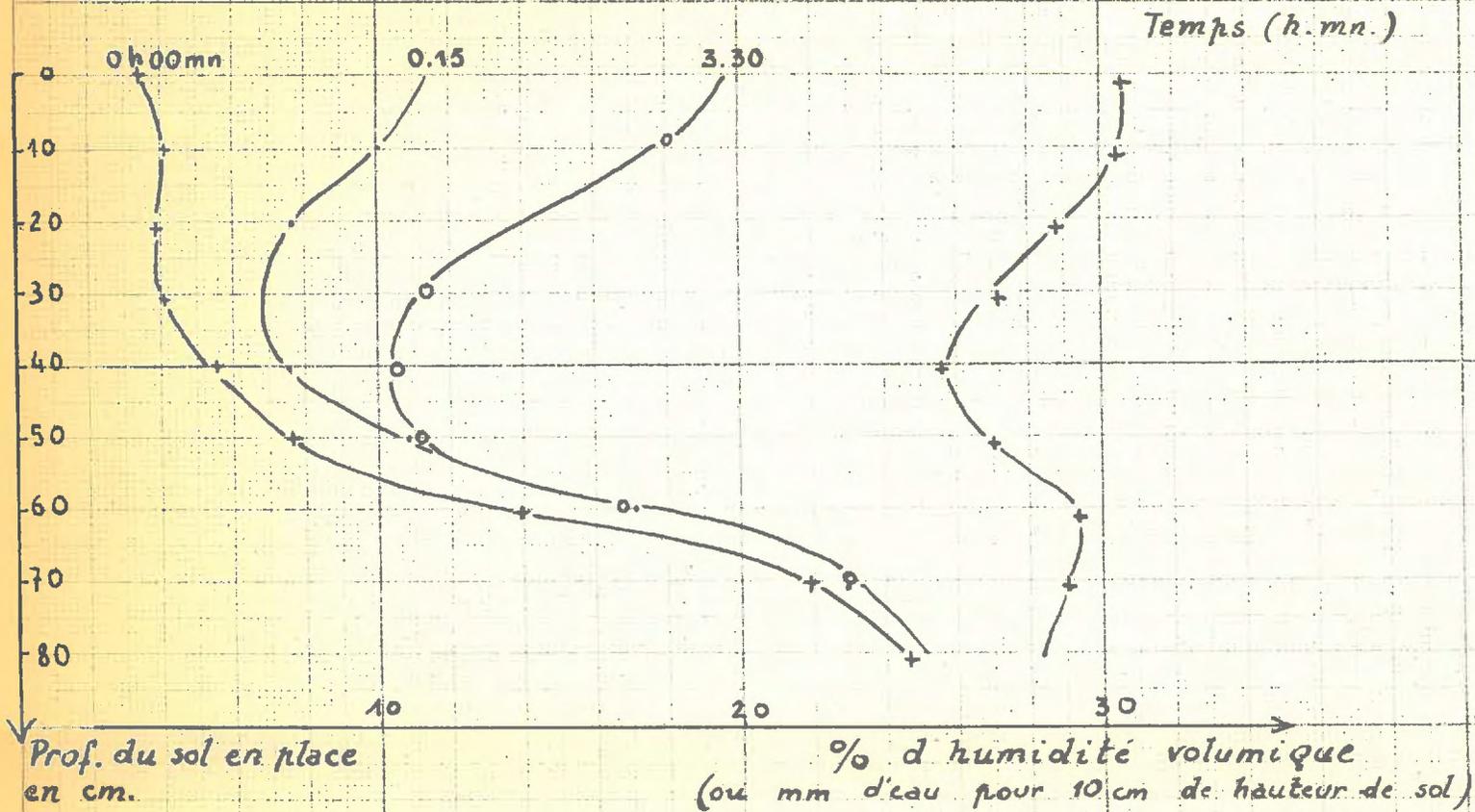
(sous blé rotation sans prairie)



Graphique 33

Infiltration de l'eau : évolution des profils hydriques
au cours du temps jusqu'à la saturation.

(sous prairie)



Sur 3 parcelles (1) précédemment décrites :

- (1)- vigne
- (2)- rotation sans prairie
- (4)- prairie 3ème année de fétuque élevée

nous avons entrepris l'étude de l'écoulement de l'eau en régime d'infiltration et de filtration suivant le principe de MUNTZ modifié par la méthode de BÜRGER (DUCHAUFOR, 1960). Ces mesures se sont effectuées sous une charge d'eau constante de 8 cm de hauteur à travers une section de sol de $0,3 \text{ m}^2$. Le cylindre métallique retenant la charge d'eau, était au préalable légèrement enfoncé dans le sol et avait en son centre un tube pour mesure à l'aide d'un humidimètre à neutrons. Ce tube avait servi aux déterminations précédentes, et nous l'avons utilisé dans ces expériences pour suivre le cheminement de l'eau en régime d'infiltration. Un second cylindre plus grand, extérieur au premier, rempli d'eau dans les mêmes conditions, était placé comme anneau de garde.

Nous avons ainsi pu suivre l'avancement du front jusqu'à une profondeur de 80 cm (graphiques 31, 32, 33). Les débits en régime d'humectation et de saturation ont été calculés à partir des quantités d'eau introduites dans le cylindre intérieur, et des moyennes obtenues après plusieurs répétitions en des emplacements différents.

Cet essai a été complété par l'apport d'eau chlorée, à la concentration de 0,8 g de chlore par litre sous forme de Ca Cl_2 , lorsque le profil était saturé. L'eau chlorée était introduite en quantité suffisante pour remplacer la totalité de l'eau du profil sur plus de 1 m de profondeur. Des échantillons de terre étaient ensuite prélevés à la tarière à différentes profondeurs et le chlore y était dosé par mercurimétrie (CHARLOT, 1961). Nous avons alors calculé le pourcentage de porosité participant à la circulation de l'eau compte tenu de l'humidité globale et de la concentration en chlore.

..../...

(1)- Nous avons abandonné la parcelle (3), rotation avec prairie, qui avait été à nouveauensemencée en fétuque. Les premiers résultats obtenus, assez hétérogènes, nous ont semblé trop largement influencés à la fois par le semis en ligne créant des discontinuités latérales de circulation de l'eau, et par le début d'implantation de la prairie.

Nous avons constaté des écarts relativement importants dans les faibles teneurs en chlore des témoins, probablement dus à l'hétérogénéité des prélèvements, à la technique d'extraction et de dosage. Toutefois, la méthode appliquée à un sol sec permet d'obtenir une excellente correspondance entre les concentrations de la solution initiale et des solutions du sol comme le montre le tableau 15. Nous pouvons donc considérer que cet essai reflète valablement la pénétration de l'eau chlorée dans le profil préalablement saturé.

Résultats et discussion

A partir d'un sol desséché, sans croûte de battance, dont les 30 premiers centimètres étaient à pF 4,2 dans tous les cas, la réhumectation a été rapide, et la mise en état de saturation pratiquement totale de la partie limoneuse du profil, n'excédait pas 24 heures. Les vitesses de pénétration de l'eau en mm/heure dans l'horizon limoneux sont consignées au tableau 16.

TABLEAU n° 15 : Infiltration dans un profil sec (pF 4,2) d'une solution de chlore à 0,8 g/litre : différences de concentration en chlore le long du profil (ΔCl en ‰) et d'humidité pondérale (ΔHp en ‰) avant et après l'infiltration.

profondeur en cm	ΔCl en ‰	ΔHp en ‰	$\frac{\Delta Cl}{\Delta Hp}$ en g/litre
10	0,17	21	0,8
20	0,15	19	0,8
30	0,13	17	0,8
40	0,12	15	0,8
50	0,10	13	0,8
60	0,065	6	1,1

...../.....

TABLEAU n° 16 : Vitesse de pénétration de l'eau en mm/heure
 de 0 à 10 mm en sol sec
 1 à 24 h en sol en partie humecté
 au-delà de 24 h en milieu saturé

Périodes	Etat du sol	vigne (1)	rotation sans prairie (2)	prairie fétuque 3ème année (4)
0 - 10 mm	sec	120	220	3.000
1 - 24 h	partiellement humecté	6	14	150
> 24 h	saturé	8	10	50

Dans ces boubènes de même nature, mais de structure diversifiée par le système de culture, les vitesses de circulation de l'eau sont toujours plus élevées sous prairie, que le sol soit sec ou saturé.

L'eau chlorée introduite sur les profils déjà saturés circule uniquement à la verticale dans l'horizon limoneux. Cela a été démontré par des sondages effectués à 20 cm de distance à l'extérieur des cylindres et à différentes profondeurs, qui ont conduit aux mêmes valeurs de concentration en chlore, avant l'introduction de l'eau chlorée et après plusieurs jours d'essais.

Après la pénétration d'eau chlorée en quantité suffisante pour remplacer l'eau du profil, les résultats des sondages à l'intérieur des cylindres montrent que l'écoulement de l'eau n'intéresse qu'une partie de la porosité. En effet, si toute la porosité y participait, l'eau du sol aurait la même concentration en chlore que la solution chlorée introduite, comme dans le cas de la réhumectation d'un sol sec (cf. tableau 15). Or, ce n'est pas le cas et le tableau 17 indique les rapports des concentrations en chlore de l'eau du sol à la solution introduite, c'est à dire la proportion de la porosité ayant participé à l'écoulement.

..../...

TABLEAU 17 : Proportion de la porosité participant à l'écoulement de l'eau dans le profil saturé.

$$\left(\frac{\text{concentration en Cl de l'eau du sol}}{\text{concentration de l'eau chlorée introduite}} \times 100 \right)$$

Profondeur en cm	Vigne (1)	rotation sans prairie (2)	prairie 3ème année (4)
0 - 30	30 %	30 %	25 %
30 - 60	très faible	8 %	10 %
60 - 100	très faible	5 %	20 %

La porosité participant à l'écoulement de l'eau est importante dans les trois horizons de surface, elle est un peu plus faible sous prairie malgré une porosité globale sensiblement identique (tableau 13) ; cette particularité jointe aux forts débits est la conséquence d'un enracinement puissant. Cette fraction de la porosité accessible à l'eau de gravité diminue rapidement avec la profondeur, s'annule presque sous vigne, mais reste encore relativement importante sous prairie, malgré des valeurs calculées analogues de la macroporosité.

Ces observations rejoignent celles que nous avons pu effectuer sur un sol d'alluvions récentes du Tarn, où malgré une très faible macroporosité du sous-sol (tableau 12) la circulation de l'eau était relativement rapide. Cela démontre que la valeur intrinsèque de la macroporosité a moins d'importance que la connaissance de la nature de cette porosité, et qu'il est parfois délicat de vouloir interpréter ces chiffres indépendamment de l'examen du profil cultural.

D'autre part, nous avons vérifié sous vigne la faible perméabilité du sous-sol, en éliminant les horizons de surface du profil, et en reprenant ces mesures directement sur l'horizon argileux. Nous avons constaté que le débit d'infiltration était très faible, de l'ordre de 3mm/jour. Rappelons que pour ce champ une légère pente intéressait aussi le sous-sol et assurait un écoulement latéral relativement important au niveau de l'horizon argileux.

Notons encore que dans ces bouldènes dites "de faible perméabilité", les vitesses d'infiltration sous charge constante sont élevées en sol sec, l'eau atteignant en 10 mn une profondeur de 40-50 cm (70 cm dans le sol 3). Ces mesures effectuées à partir d'un sol sec montrent que la mouillabilité est satisfaisante et qu'un réseau grossier peut assurer largement la pénétration d'une pluie normale, comme nous l'avons déjà vérifié expérimentalement.

Après cette première phase, faisant intervenir une porosité "facilement accessible", jouant sur 1/3 environ de la porosité totale, la réhumectation se poursuit plus lentement jusqu'à saturation du profil, ceci grâce à des forces de succion importantes. Ensuite, la perméabilité est freinée par l'horizon argileux, exception faite du sol sous prairie, et, si l'eau ne trouve pas d'exutoire à ce niveau, l'engorgement se manifeste en surface avec l'apparition d'eau libre. On constate l'importance primordiale du système de culture, notamment l'influence de l'enracinement de la fétuque, susceptible de créer des voies de circulation préférentielles agissant sur une profondeur relativement importante.

Des observations analogues, effectuées en cours d'irrigation de bouldènes peu profondes limitées par un cailloutis ou un grep, ont montré que le défaut de perméabilité du profil émanait davantage du sous-sol compact que de l'horizon limoneux, même lorsqu'il y avait formation de croûtes de battance.

III - COMPORTEMENT MECANIQUE DES BOULDENES

1°- Cohésion des mottes

L'instabilité structurale des bouldènes provient de ce qu'une proportion trop faible d'argile à capacité d'échange réduite ne peut engendrer des forces de cohésion suffisantes pour maintenir associée en agrégats une masse importante de limons.

Toutefois, dans certaines conditions, cette faible quantité d'argile, associée à l'action d'autres éléments, peut aboutir à un état plus cohérent. Ainsi, lorsque ces sols sont légèrement humides, l'eau crée des liaisons aux points de contact entre particules. Les forces de contact mises

en jeu peuvent agir temporairement sur l'union des particules élémentaires et donner une impression d'organisation en mottes. En fin de dessèchement, des forces de cohésion importantes apparaissent et provoquent la formation d'éléments structuraux massifs et compacts à l'échelle d'un horizon ou de mottes. Des travaux d'émiettement effectués en cours de dessèchement brisent ces liaisons et l'état particulaire apparaît aussitôt. De même, sous un excès d'eau toute cohésion disparaît et l'état de boue (liquidité) est rapidement atteint.

Ces processus sont analogues à ceux qui se produisent dans un tas de sable (K. TERZAGHI, 1961), ils montrent bien le rôle prépondérant de la granulométrie et de l'eau (rôle des ménisques).

Par ailleurs, un enracinement puissant est capable de structurer ce milieu peu cohérent et de modifier temporairement le comportement de ces sols par divers effets (HENIN et al, 1960).

Les boubènes ne renfermant pratiquement pas d'agrégats, nous avons été conduits à mesurer la cohésion des mottes, plutôt que les forces mises en jeu à l'échelle d'un agrégat.

Ces mesures ont été effectuées sur des mottes prélevées plus ou moins humides au champ, et soigneusement retaillées en évitant tout lissage, de façon à présenter deux faces à peu près planes séparées par environ 2 cm. Les mesures étaient suivies régulièrement au cours de la dessiccation à l'air. Pour éviter entre 2 mesures la formation d'une croûte de surface résultant d'une dessiccation trop rapide, chaque motte était protégée par un petit entonnoir plastique de manière à diminuer la vitesse d'évaporation.

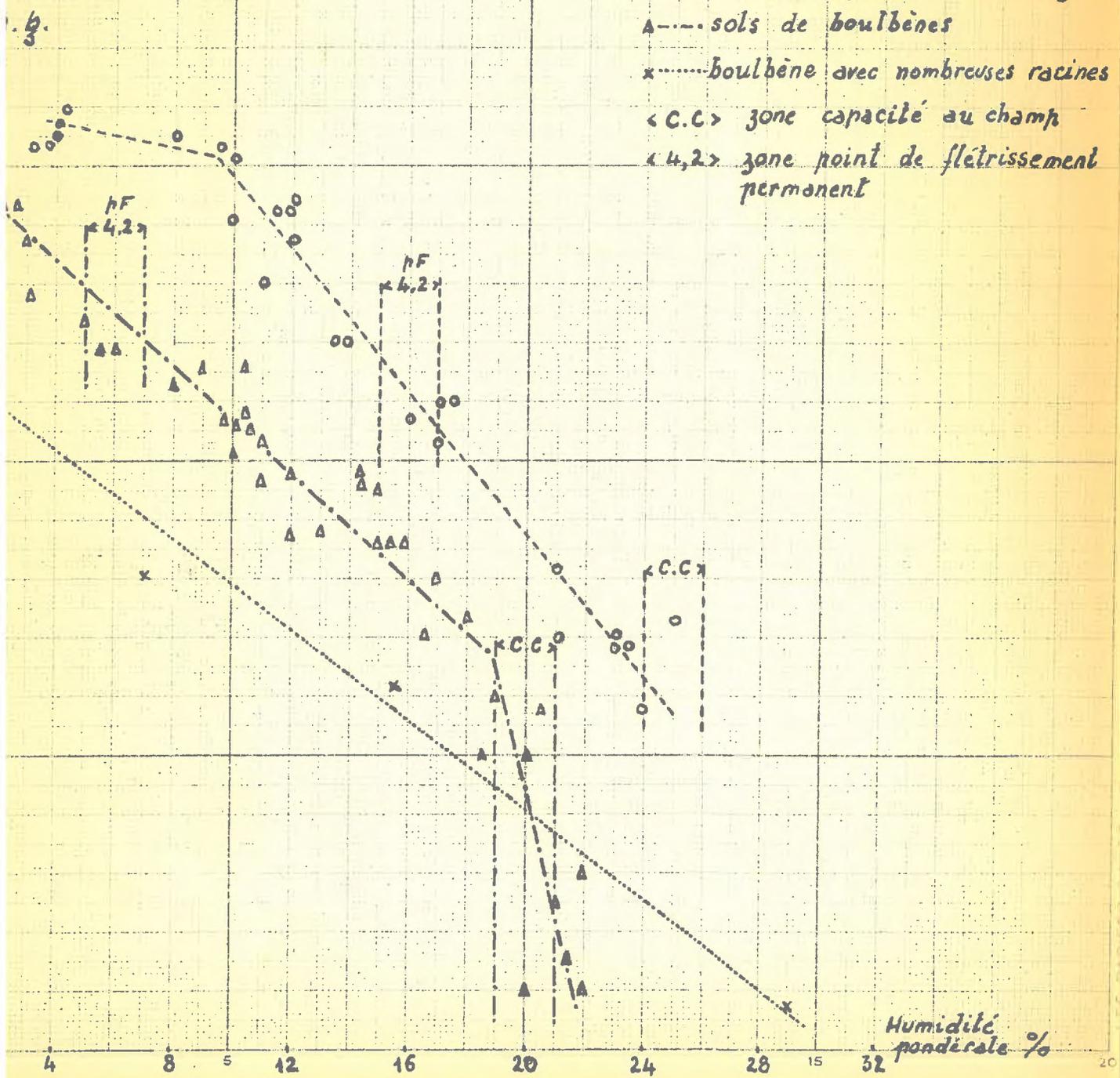
Ces mesures, réalisées au moyen d'un pénétromètre consistaient à évaluer la résistance à la pénétration d'une aiguille calibrée dans la motte. Cet appareil était constitué d'un plateau mobile porte-échantillon qui se déplaçait verticalement à 1 mm par seconde vers une aiguille de 2,5 mm de diamètre reliée à un dynamomètre composé de ressorts étalonnés (MAERTENS, 1964). La force nécessaire à la pénétration de l'aiguille était évaluée en grammes.

..../...

Graphique 34

Cohésion des mottes

- o-----sols terre forts et s-sols argileux
- A-----sols de bouldènes
- x-----bouldène avec nombreuses racines
- <C.C> zone capacité au champ
- <4,2> zone point de flétrissement permanent



Humidité pondérale %

Nous avons pu ainsi comparer des mottes de différentes origines : sol de boubènes ou de terreforts, sous-sols argileux sous boubène, et les résultats obtenus figurent sur le graphique 34.

Les forces mesurées correspondent davantage aux liaisons entre particules pour les boubènes, et aux liaisons entre petits agrégats pour les terreforts, et les sous-sols argileux. En effet, la présence de radicelles dans une motte de boubène, en rompant la continuité de l'ensemble, a diminué la cohésion et les possibilités de prise en masse. C'est pourquoi ces mesures ne doivent être considérées que comme des tests permettant de comparer la cohésion de mottes d'origines diverses.

D'autre part, pour les boubènes, la moindre pénétration de l'aiguille provoquait la fissuration des mottes et cela pour un taux d'humidité à peine inférieure à la capacité au champ, ce qui indique un défaut presque total de plasticité. Par contre, les mottes de terreforts subissaient généralement la pénétration de l'aiguille sans rupture (hormis quelques cas à potentiel structural élevé qui avaient tendance à se diviser en petits agrégats); il fallait atteindre des faibles taux d'humidité et des forces importantes pour assister, comme en boubènes, à l'éclatement brutal de la motte. Il était alors difficile de constater une pénétration de l'aiguille, toute plasticité ayant disparu .

Ce test permet cependant de mettre en évidence qu'en boubène, la cohésion mottière tend rapidement vers zéro lorsque le taux d'humidité devient sensiblement égal à celui correspondant à la capacité au champ, par contre, en terreforts, à ce même taux d'humidité, la cohésion est bien meilleure.

La dessiccation augmente rapidement la cohésion. Celle-ci atteint les valeurs les plus fortes pour les terreforts et sous-sols argileux; par contre, si l'on compare les forces mises en jeu à un taux d'humidité égal au point de flétrissement permanent (pF 4,2), on constate que les mottes de boubènes témoignent d'une cohésion beaucoup plus importante que celles des terreforts.

..../...

Ainsi, en boubènes, la cohésion augmente davantage qu'en terreforts entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent, pour atteindre à ce taux d'humidité des valeurs élevées.

Dès que le taux d'humidité s'abaisse, les racines rencontrent donc davantage de contraintes mécaniques en boubènes qu'en terreforts, cela d'autant plus rapidement et sévèrement que les boubènes cèdent plus facilement leur eau que les terreforts et qu'elles ne présentent guère de fissures facilitant leur pénétration.

2°- Limites d'ATTERBERG

Les limites d'ATTERBERG sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre l'état solide, l'état plastique et l'état dit liquide. Dans le cas des sols, elles ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considéré et sont exprimées en pourcentage du poids de sol sec.

La limite de liquidité L_l , ou limite supérieure de plasticité, marque le passage de l'état liquide à l'état plastique; elle s'obtient au moyen de l'appareil de CASAGRANDE et correspond à la quantité d'eau avec laquelle un échantillon de terre doit être malaxé pour qu'un sillon tracé dans la masse se ferme partiellement lorsqu'on applique mécaniquement 25 coups à la coupelle qui le contient (PELTIER R., 1955).

La limite de plasticité L_p , ou limite inférieure de plasticité, marque le passage de l'état plastique à l'état solide, elle correspond à l'humidité minimum d'un échantillon de terre malaxé et roulé qui permet d'obtenir des cylindres de 3 mm de diamètre sans se fragmenter.

L'indice de plasticité s'exprime par la valeur de la différence $L_l - L_p$, qui définit l'étendue où la terre reste plastique et permet d'apprécier, dans une certaine mesure, les possibilités de travail du sol, et sa cohésion lorsqu'il est humide.

..../...

La limite de retrait L_r , correspond à la teneur en eau à partir de laquelle le volume de l'échantillon cesse de diminuer quand sa teneur en eau décroît. Elle peut être déterminée, soit à partir du sol en place en utilisant les échantillons de terre prélevés à l'aide des cylindres de KOPECKY (mesure de la densité apparente) dont on suit la dessiccation et les variations volumiques, soit au laboratoire sur sol remanié en appliquant la technique du laboratoire routier (PELTIER R., 1955).

Résultats obtenus sur boubènes - comparaison avec les terreforts

Par définition, la plasticité d'une terre est son aptitude à subir des déformations permanentes sans rupture; on sait que cette propriété est essentiellement due aux colloïdes argileux. En boubènes où il y a peu d'argile réellement active, on peut prévoir, a priori, que la plasticité se manifestera peu, alors qu'en terreforts argileux, elle sera importante. L'amplitude du gonflement et du retrait est de même lié aux teneurs en argiles, mais peut être davantage influencée que la plasticité par la présence d'éléments grossiers ou de sables fins (MAERTENS C., 1968).

Les résultats comparatifs boubènes-terreforts concernant les limites d'ATTERBERG figurent au tableau 18. Ces déterminations n'avaient aucune signification pour les sables fauves, il était impossible de réaliser le test de la limite de plasticité, et cet inconvénient est apparu aussi dans de nombreuses boubènes.

La variation de volume est exprimée en fonction du volume sec à partir de l'humidité à la capacité au champ jusqu'à l'humidité à pF 4,2 ou à la limite de retrait: elle est déterminée par la formule :

$$\text{variation volumique } \% = \left(\begin{array}{l} \text{humidité } \%^{(1)} \\ \text{à la capacité} \\ \text{au champ} \end{array} - \begin{array}{l} \text{humidité } \%^{(1)} \\ \text{à } L_r \text{ ou à } \\ \text{pF } 4,2 \end{array} \right) \text{ d.a. à } L_r \text{ ou pF } 4,2$$

Ces résultats traduisant directement quelques caractères essentiels du comportement mécanique de ces deux types de sols, font nettement ressortir les différences qui les opposent et permettent d'expliquer les difficultés rencontrées en boubènes.

(1)- pour 100 de terre sèche

TABLEAU n° 18 : Limites d'ATTERBERG et variations volumiques dues au retrait

origine et profondeur cm	Argile	teneurs en eau %					indice de plasticité	pF correspondant à L _r	Variations volumiques % du volume sec		
		capacité au champ	pF 4,2	L ₁	L _p	L _r			entre CC et pF 4,2	entre CC et L _r	
<u>Profil n° 2</u> (boulbènes profondes sur argile)											
0-16	13,2	19,0	6,1	23,8	19,3	20,0	4,5	2,7	3,4	3,4	
> 60	49,7	26,0	18,0	46,7	19,4	14,3	27,3	4,7	20,0	29,1	
<u>Profil n° 3</u> (boulbènes sur graviers)											
0-23	9,8	16,0	5,0	18,2	(1)	16,3	0	2,7	0	0	
<u>Profil n° 4 a</u> (boulbènes sur grep)											
0-20	11,4	15,5	4,9	19,5	(1)	20,1	0	2,4	0	0	
30-40	25,9	18,4	11,9	23,3	16,8	17,1	16,5	3,2	5,3	5,3	
<u>Boulbène de petites vallées</u> (Barguelonne)											
0-20	9,7	17,5	4,9	21,8	(1)	16,3	0	2,7	2,0	2,0	
<u>"Rouget" - St. Clar</u>											
0-26	13,6	19,2	7,8	25,6	19,7	16,0	5,9	3,0	5,4	5,4	

<u>Terrefort - Molasses de Puylaurens-Lavaur</u>											
0-22	27,3	22,0	11,0	37,5	14,2	10,7	23,3	4,2	19,8	20,3	
<u>Terrefort - Molasses de Blan-Vielmur</u>											
0-35	40,9	26,0	15,8	45,0	18,0	9,0	27,0	5,5	18,4	30,6	
<u>Terrefort - Trebons le Tucal</u>											
0-20	33,5	22,9	13,8	40,5	18,3	12,3	22,2	4,5	18,5	21,8	
<u>Terrefort - Mauremont</u>											
0-20	29,4	19,8	10,6	33,5	17,6	11,7	15,9	4,0	15,8	15,8	
<u>Terrefort - Toulouse - Station</u>											
0-20	35,0	27,5	15,1	42,7	19,2	8,3	23,5	5,5	25,8	40,0	

(1)- non plastique

Ces terres ne présentent pratiquement aucune plasticité; certaines d'entre elles (cas du sol du profil n° 2) possèdent un faible indice de plasticité lié à la présence de minéraux gonflants en proportion plus importante que pour les autres échantillons (cf. diagrammes Rayons X). On observe de même une légère plasticité pour les rougets à argile ferrugineuse et pour les horizons d'accumulation un peu plus argileux (profil n° 4, 30-40 cm). L'horizon argileux profond (profil n° 2 > 60) a un comportement analogue à celui des terreforts.

Les terreforts possèdent un indice de plasticité élevé lié à la quantité et à la nature de l'argile (R.BLANCHET et al, 1966). On constate qu'il existe pour ces sols un écart important entre la limite de liquidité et la ^{capacité} ~~plasticité~~ au champ, cela leur assure un comportement sain lorsqu'ils sont ressuyés. Au contraire, les boubènes possèdent un écart très faible ou nul entre la capacité au champ et la limite de liquidité, ce qui démontre l'assertion du Comte François de NEUFCHATEAU (précédemment cité) émise il y a près d'un siècle et demi selon laquelle la boubène "se laisse pénétrer par les pluies et devient comme de la bouillie". En effet, ces sols, normalement ressuyés, se présentent encore dans un état semi-pâteux, sans cohésion, et ce comportement naturel dépend directement de la nature des constituants du milieu. Le drainage, en supposant qu'il puisse jouer son rôle d'élimination de l'eau de gravité, ne pourrait donc remédier à cet état de choses.

Par conséquent, les boubènes se maintiennent longtemps en hiver au voisinage de la limite de liquidité, avec tous les inconvénients qui peuvent en découler, alors que les terreforts atteignent très rarement cette limite, compte tenu par ailleurs de leur topographie différente et de leur meilleure perméabilité, qui assure un écoulement de l'eau plus rapide.

Les variations volumiques sont faibles ou nulles en boubènes qui "se dessèchent sans se fendre". Le gonflement et le retrait apparaissent seulement pour des échantillons renfermant une certaine proportion de minéraux gonflants (sol profil n° 2). Par contre, ces phénomènes se manifestent avec intensité pour les terreforts et l'horizon argileux sous boubène.

Le faible retrait qui peut se produire en boubènes a lieu à un pF sensiblement égal à celui où se situe la capacité au champ, parfois même inférieur, c'est à dire qu'il s'effectue dans un matériau sans cohésion. Ces conditions peuvent expliquer l'apparition, dans ce milieu pâteux, des lacunes sphériques incluses dans la masse, qui témoignent d'une diminution de volume due au départ d'eau au voisinage de la capacité au champ et de la limite de liquidité.

Dans ces sols, on ne peut donc compter sur les successions de dessiccation et de réhumectation pour améliorer leur structure. Au contraire en terreforts, la plus grande partie du retrait s'effectue entre la capacité au champ et pF 4,2, c'est à dire que la dessiccation par les racines est susceptible de créer dans ce milieu plus cohérent à l'état humide, et possédant un potentiel structural élevé, de petites mottes facilitant la perméabilité à l'air et à l'eau.

Il nous a donc été possible de préciser des éléments importants du comportement des boubènes et des conséquences qui en découlent. Citons, par exemple, la difficulté d'intervention au voisinage de la capacité au champ, l'impossibilité de compter sur l'action du climat pour "refaire" une structure, l'acquisition d'une cohésion importante à la dessiccation avec des risques de prise en masse. La plupart de ces mécanismes, dont nous avons tenté de démontrer ou d'expliquer le fonctionnement, se rencontrent globalement dans un test s'appuyant sur la connaissance d'une propriété inhérente aux boubènes, qui serait leur difficulté à se fissurer.

C'est ce comportement : effritement, fissuration, que nous nous proposons maintenant d'examiner.

3°- Effritement - Fissuration

A partir de la relation de S. HENIN et BOSQUET (1964) nous avons tracé sur un graphique à coordonnées rectangulaires, portant en ordonnées le pourcentage d'argile et en abscisses le pourcentage de limons 2-20 μ , les différentes zones distinguant le comportement des sols d'après leur texture (graphique 35). La zone renfermant des terres qui se fissurent a pour

Graphique. 35.

Effritement - fissuration d'après S. Hénin.

Argile
%

50

40

30

20

10

quelques exemples :
o terreforts
x sables fauves
Δ boulbènes

① - zone à fendillement.

② - zone intermédiaire

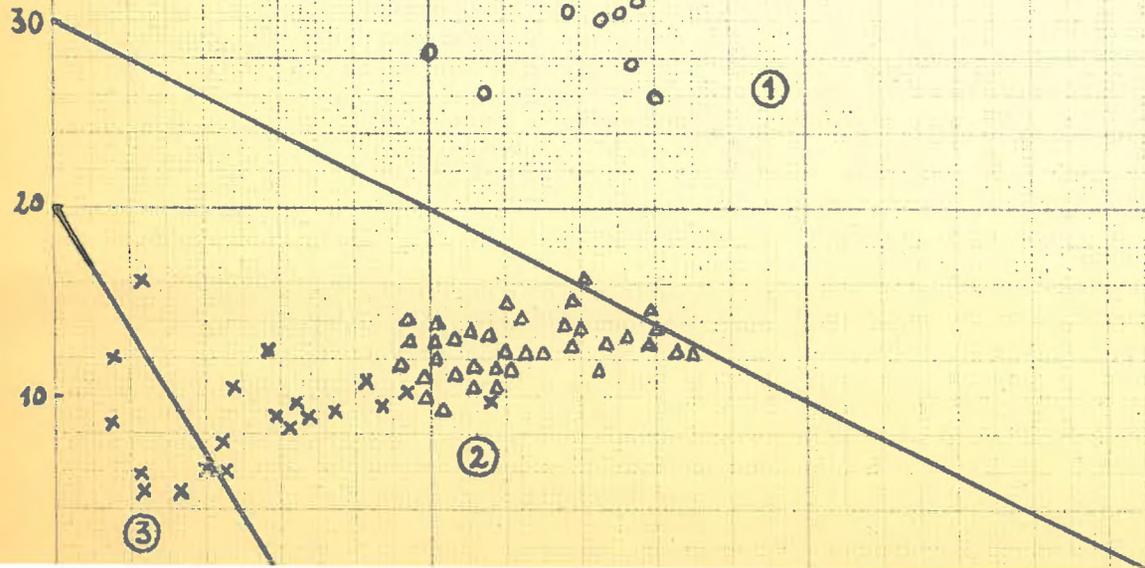
③ - zone à effritement.

①

②

③

Limons 2.204 %



limite inférieure une droite passant par les coordonnées (argile 30, limon 0), et (argile 0, limon 60); la zone avec des terres qui s'effritent a pour limite supérieure une droite de coordonnées (argile 20, limon 0) et (argile 0, limon 12). Entre ces deux droites se situent des terres qui présentent de façon peu marquée l'un ou l'autre de ces caractères. Sur ce graphique figurent quelques résultats concernant des boubènes, des terreforts et des sables fauves.

Nous constatons que la majorité des boubènes se place dans la zone intermédiaire où n'apparaît aucun des caractères définis précédemment; en effet, ces sols ne sont susceptibles ni de se fissurer, ni de s'effriter de façon importante et nous venons de montrer que cette propriété découle de nombreux facteurs liés à la nature du milieu. Notons cependant que ces sols se rapprochent davantage de la zone à fendillement, grâce à leur teneur élevée en limons.

Les sables fauves s'éparpillent de part et d'autre de la limite de l'effritement, ils tendent vers les boubènes s'ils sont à dominante limoneuse, ils sont dans la zone à effritement s'ils renferment une fraction importante de sables fins et grossiers. Les terreforts, au contraire, se groupent en totalité dans la zone à fendillement. Boubènes, terreforts, sables fauves se trouvent donc caractérisés d'après leur comportement global grâce à leur situation différente dans les zones précédemment définies.

Ainsi, malgré la complexité des relations existant entre la composition granulométrique et les propriétés physiques, cette distinction par zones de comportement à l'effritement et à la fissuration permet de prévoir rapidement les propriétés d'un sol à partir d'une analyse granulométrique courante. On pourrait ajouter que cette zone intermédiaire où se placent les boubènes, correspond à des sols limoneux ou limono-sableux manifestant une tendance nette à acquérir une forte cohésion à la dessiccation, avec phénomène de prise en masse dû à l'absence des fentes de retrait et d'éléments grossiers susceptibles de provoquer l'effritement.

VI-CONCLUSIONS

Les propriétés physiques des boubènes se résument donc par les caractères essentiels suivants :

- mauvaise structure de surface, et faible perméabilité des sous-sols,
- tendance marquée à la battance,
- voies de circulation de l'eau et de l'air peu efficaces,
- perte de portance dès que le sol atteint la capacité au champ, et à ce taux d'humidité tendance au tassement ("effondrement de la structure").

La potentialité de ces sols est donc en relation étroite avec l'ensemble de ces propriétés, compte tenu par ailleurs de la profondeur de sol exploitable par les racines et de la présence d'éléments grossiers dès la surface (cailloux et graviers), susceptibles de limiter encore leurs possibilités.

Nous nous proposons maintenant d'aborder les propriétés agronomiques qui en découlent, nous envisagerons ensuite les possibilités d'amélioration de ces sols, dont la principale est liée au problème de l'assainissement qui ne peut être dissocié du système de culture.