

T R O I S I E M E P A R T I E

CONSEQUENCES AGRONOMIQUES

"Le sol des terrasses d'alluvions anciennes (boulbènes)
" privé d'engrais, fort souvent mal disposé pour l'écoulement
" des eaux et très superficiellement travaillé, souffrait tantôt
" de l'excès d'humidité, tantôt de l'excès de chaleur. La récol-
" te des céréales, que l'assolement avait pour but de favoriser,
" était par suite bien faible et singulièrement incertaine et
" inégale. Toutefois, on citait des localités où le froment
" était cultivé avec intelligence et succès".

I - GENERALITES

En 1869, THERON de MONTAUGE écrivait ces observations qui témoignaient des difficultés rencontrées en boulbènes, des échecs qui s'ensuivaient mais aussi de quelques réussites. Ces différences de comportement découlent des différents types de profils que nous venons d'étudier et qui règlent la potentialité de ces sols ; c'est pourquoi de nombreuses opinions divergentes ont été émises à leur sujet, suivant qu'il s'agissait de boulbènes franches et profondes ou de boulbènes blanches, battantes et limitées par un grep peu profond.

Ainsi, en se basant sur des écrits plus anciens, on serait tenté d'accorder aux boulbènes le synonyme de "bonne terre". Arthur YOUNG décerne des éloges au Pays de la Garonne ("Travels in France", 1788) et considère que : "le sol se présente comme excellent, il consiste ordinairement en limons

..../...

sablonneux, profonds, meubles, friables, avec une humidité suffisante pour produire des récoltes de toutes sortes : une grande partie en est calcaire". Ce sont plutôt là les caractères des alluvions récentes que celles des boubènes. A. YOUNG a rapidement traversé la basse plaine et paraît avoir ignoré les terrasses d'alluvions anciennes. LULLIN de CHATEAUVIEUX, dans ses "Voyages Agronomiques" (1843) considère cette région comme une "terre de prédilection", ces deux voyageurs allant jusqu'à comparer la richesse et la prospérité du pays de la Garonne à celle des Flandres. Il en est de même pour MICHELET, qui, dans Tableau de la France de 1843, brosse une peinture "féérique" du Sud-Ouest. Ces auteurs ont probablement parcouru la basse plaine, voie principale de communication, dont les bonnes terres franches portent de riches cultures, alors que les boubènes y sont assez rares.

Peut-être aussi la dégradation de ces sols était-elle moins avancée qu'actuellement ou bien ces observations furent-elles effectuées à une période succédant à des conditions climatiques particulièrement favorables.

Toutefois, certaines boubènes permettaient au début de ce siècle des rendements aussi élevés qu'en terreforts. RISLER, en 1894, cite le cas de boubènes de Merville (Haute-Garonne) qui produisaient 11 q de blé avant marnage et 22 q après marnage, à raison de 300 m³ à l'hectare. Il ne faut pas extraire cet exemple de l'ensemble du système de culture de l'époque où la prairie tenait une place importante. Cela explique, en partie, que les meilleures boubènes aient pu participer à la prospérité des pays de la Garonne dans le courant du XIXème siècle.

Depuis, les possibilités modernes de travail du sol, la fertilisation, l'apparition de variétés nouvelles à hauts rendements, ont permis d'utiliser la potentialité élevée des terreforts, alors qu'en boubènes, le maximum rapidement atteint, on se heurte à un facteur limitant directement lié à leurs propriétés physiques défavorables.

Cependant, le rôle chimique actuellement voilé par l'importance des facteurs physiques ne doit pas être méconnu. Nous résumons dans le tableau 19 les teneurs en différents éléments de deux profils typiques précédemment étudiés.

TABLEAU n° 19 : Teneur en acide phosphorique assimilable (méthode DYER) et en bases échangeables de profils de boubènes

Origine	Profondeur cm	p. 1000 de terre fine sèche				
		P assimi- lable	Bases échangeables			
			K	Ca	Mg	Na
<u>Profil n° 2</u> boubène sur argile	0-30	0,044	0,082	1,82(1)	0,054	0,037
	30-60	0,009	0,031	1,40	0,11	0,067
	60-100	0,009	0,082	3,14	0,51	0,21
<u>Profil n° 4 a</u> boubène sur grep	0-20	0,018	0,078	0,40	0,060	0,009
	20-35	0,008	0,047	0,47	0,068	0,009
	35-50	-	0,070	1,09	0,24	0,21
	50-80	-	0,078	1,50	0,46	0,039

(1)- Teneur relativement élevée en Calcium apporté par les marnages anciens et chaulages récents, réservés généralement aux boubènes profondes, alors que les terres à faible potentialité (4 a) étaient à ce sujet plus négligées.

Rappelons succinctement que les boubènes ne renferment pas de carbonate de calcium et que leur pH est légèrement acide ou au voisinage de la neutralité; ceci les oppose aux terreforts généralement calcaires et alcalins. Elles sont pauvres en acide phosphorique, leur pouvoir adsorbant à l'égard du phosphore est peu intense, hormis les horizons profonds enrichis en fer et en argile (MARTY et FIORAMONTI, 1965). Elles renferment peu de potasse échangeable à cause des faibles apports d'engrais et parce qu'elles la cèdent très facilement. Ce caractère spécifique des boubènes a été mis en évidence par R. BLANCHET (1966) : cession très rapide, mais limitée alors qu'en terreforts cette cession est plus lente mais longtemps soutenue. La fertilisation doit donc tenir compte de leurs réserves limitées et être proportionnée aux exigences des cultures et aux rendements escomptés. Par ailleurs, il s'avère souvent utile de relever leur niveau calcique et magnésien

en évitant soigneusement le surchaulage et parfois de corriger des états de carence en Bore (DECAU, 1960), ou de toxicité due au cuivre après arrachage de vieilles vignes (FIORAMONTI, MARTY, DESWEEMER, 1965). Toutefois, l'action favorable d'un niveau chimique élevé, ne se manifeste que si les propriétés physiques se trouvent améliorées et capables de satisfaire le développement normal des cultures.

Les agriculteurs étaient en effet, depuis longtemps, principalement préoccupés de conserver à leurs sols de boubène un état physique satisfaisant et les techniques culturales adoptées à ces époques déjà anciennes répondaient fort bien aux besoins de ces terres. Nombre d'entre eux, possédant des boubènes profondes, suivaient un assolement faisant une place importante aux fourrages artificiels ce qui augmentait la masse de fumier disponible pour le blé et le maïs. De plus, la présence de nombreuses prairies naturelles ou artificielles qui étaient remises en culture à des intervalles assez éloignés, restructurerait efficacement ce milieu instable et favorisait, comme nous l'avons montré, la pénétration de l'eau. A ce sujet, signalons encore que les parcelles, plus petites qu'actuellement, bordées de fossés bien entretenus, étaient souvent modelées en planches.

RISLER fournit un exemple de domaine comprenant à peu près un tiers de terres labourables, un tiers de prairie et un tiers de vigne. "Dans les terres arables, l'assolement était triennal : première année, plantes sarclées fumées (pommes de terre, betteraves et maïs); deuxième année, céréales avec engrais chimiques (blé, avoine et orge); troisième année, fourrages verts (trèfle incarnat, jarosses (1) d'hiver et de printemps) ". Les prairies étaient irriguées au moyen des eaux du Canal de Saint-Martory.

(1) Nom vulgaire de plusieurs espèces de gesses et particulièrement de la gesse chiche.

Par ailleurs, dans les boubènes à plus faible potentialité, le fourrage annuel était remplacé par une jachère, enfin cette jachère était poursuivie 2 ans dans les boubènes caillouteuses sur grep sur lesquelles on ne faisait pas de maïs (RISLER, déjà cité).

Ainsi, un système de culture où la prairie avait une place importante, associé aux apports de fumier et de marne, cette dernière assurant le maintien d'un bon niveau calcique en amenant une part non négligeable d'argile à forte capacité d'échange, joint à l'entretien des fossés et aux modèles des champs, permettait l'obtention de rendements satisfaisants. C'est ce que THERON DE MONTAUGE signale en citant "des localités où le froment était cultivé avec intelligence et succès". Les agriculteurs, guidés par le même esprit d'observation qui les avait conduits à classer et à baptiser leurs sols d'après leurs propriétés physiques, avaient éprouvé implicitement et avec bon sens, la nécessité d'assurer aux boubènes un "mesnage savant".

Actuellement, l'évolution du système de culture engendrée par l'évolution des conditions économiques et sociales a abouti, dans la majorité des cas, à la disparition du bétail, de la prairie, du marnage. L'assolement s'est orienté vers la succession blé-maïs, mais par suite des difficultés d'implantation du blé après maïs, on est souvent amené à la culture unique du maïs, notamment lorsqu'il y a possibilité d'irrigation. L'aménagement mécanique de grandes parcelles conduisant à la disparition des modèles et des fossés, le défaut d'entretien de ceux restant en place bien souvent peu fonctionnels, accentue les phénomènes d'envoyage.

Dans ces conditions, la protection des boubènes est mal assurée et leur dégradation intensive conduit à l'abandon de surfaces importantes (canton de Rieumes). Les problèmes qu'elles posent sont difficiles à résoudre parce qu'ils restent conditionnés par des facteurs agronomiques relativement stables et des facteurs économiques rapidement évolutifs.

Du point de vue agronomique , nous avons pu constater que la nature du profil est définie par un ensemble de caractères permanents, physiques, hydriques et chimiques, qui régulent les potentialités des différents types de boubènes. D'autres caractères, tels que la structure et la perméabilité sont par contre susceptibles d'évoluer selon le système d'exploitation, soit vers une dégradation, soit vers une amélioration. Il convient donc d'envisager la mise en oeuvre simultanée de toutes les conditions susceptibles de faire évoluer favorablement ces sols, notamment l'assainissement et le système de culture, compte-tenu évidemment, des préoccupations économiques actuelles.

II - POSSIBILITES D'AMELIORATION

A/ - L'ASSAINISSEMENT

L'engorgement par l'eau est un inconvénient majeur des boubènes; il découle de leurs caractères propres et des conditions climatiques locales, il se trouve aggravé par leur situation topographique et la présence d'horizons peu perméables :

- grep consolidé ou cailloux enrobés d'éléments fins,
- sous-sol argileux, compact, très souvent mal structuré, peu exploité par les racines et donc peu fissuré,
- croûtes de battance.

Le choix du mode d'assainissement dépend de l'objectif recherché : d'une part, empêcher la stagnation de l'eau en surface, qui accélère la dégradation de la structure (formation des croûtes de battance) et provoque l'asphyxie des racines, d'autre part évacuer l'eau du sous-sol, laquelle entraîne l'ennoyage de la couche arable, le défaut de portance et l'asphyxie des cultures pluriannuelles à enracinement profond.

Quelle que soit la réussite de l'assainissement, il ne faut pas perdre de vue que l'évacuation de l'eau jusqu'à la capacité au champ ne résoudra guère le défaut de portance. La portance reste en effet très faible à cette humidité. Toutefois, l'assainissement en accélérant la vitesse de ressuyage, permet d'augmenter les jours disponibles pour le travail, ou de réduire les phénomènes d'asphyxie.

1°- Ados et fossés ouverts

La culture en planches et surtout l'entretien des fossés ont été en partie négligés par manque de main d'oeuvre. Or, ce mode d'assainissement semble le mieux approprié à l'ensemble de ces terres; en effet, le modelage des surfaces cultivées, joint à l'installation d'un réseau de fossés bien conçus, assure l'évacuation des excès d'eau superficiels. Actuellement, la mécanisation permet de réaliser l'aménagement de surfaces importantes, du moins dans le cas de boulbènes ayant un potentiel suffisant susceptible de valoriser les travaux à entreprendre.

Signalons que les dérayures provoquent une perte appréciable de surface productive surtout en cultures céréalières d'hiver. C'est ainsi que les contrôles de rendements en blé et orge d'hiver, effectués sur des parcelles modelées en larges planches, ont donné les résultats suivants.

	Blé en q/ha (Bérat)			Orge en q/ha (Labastidette)
	parcelle II	IV	VI	
sommet de l'Ados..	26,9	22,9	25,0	29,5
côtés de l'Ados...	18,0	15,7	22,3	25,3
dérayure.....	0,1	13,1	11,8	10,0
rendements moyens.	16,2	17,2	20,3	22,1

Ces contrôles effectués après l'hiver 1965-66 particulièrement pluvieux, témoignent de l'efficacité du modelé, compte tenu des rendements moyens en blé obtenus sur des parcelles planes voisines qui fournirent respectivement 13,8 et 14,8 q. Il faut aussi noter que le rendement très faible des dérayures est en partie dû à un mauvais écoulement de l'eau vers le fossé.

2°- Le drainage

Alors que la technique précédente évite la stagnation de l'eau en surface, le drainage a pour but d'assainir le profil par l'évacuation de l'eau du sous-sol. Cette technique peut être réalisée soit au moyen de tuyaux enterrés, en poterie ou en plastique, soit par le passage d'une sous-soleuse munie d'un boulet : c'est le drainage-taupe.

Bien que des essais nombreux, soigneusement réalisés et contrôlés fassent encore défaut, notamment en ce qui concerne les tuyaux enterrés, l'une et l'autre de ces solutions paraissent difficilement convenir aux boubènes. Citons cependant que des essais sommaires de drainage-taupe et de drainage par drains enterrés, effectués au domaine I.N.R.A. de la Tour de Rance en boubènes moyennement hydromorphes, se sont généralement soldés par des échecs : il n'y a pas eu, ou peu, d'écoulement d'eau dans les drains (FAVROT, 1965).

En effet, en raison des lents mouvements d'eau lorsque le sol est réhumecté, celle-ci ne pénètre que très lentement dans les drains, voués de surcroît à un colmatage rapide dû à l'entraînement d'éléments fins et surtout des oxydes de fer.

D'autre part, nous avons pu observer les effets résiduels de quelques drainages-taupe effectués en boubènes profondes sur horizon argileux et qui n'avaient pas conservé longtemps leur efficacité. Par contre, l'obturation partielle des galeries provoque des ennoyages localisés, susceptibles, en verger, de léser une fraction du système racinaire, qui s'était préférentiellement développé en période sèche dans ces zones ameublées et aérées (MAERTENS et COURAU, 1966).

Quant aux boubènes sur grep, qui présente un obstacle mécanique à la circulation de l'eau, leur amélioration pose des problèmes particulièrement ardues. Toutefois, RISLER cite des cas où l'aménagement de puits perdus, dans les endroits les plus bas, traversant le grep pour atteindre les cailloux roulés, avait permis un assainissement efficace.

B/- LE SYSTEME DE CULTURE

1°- L'importance des rotations et de l'assolement en boubènes

En boubènes, si l'assainissement est indispensable, un système de culture approprié doit lui être associé. En effet, nous avons déjà pu constater le rôle dégradant de la vigne sur ces sols fragiles et instables, laissés sans couverture végétale à l'action des pluies; nous avons aussi indiqué l'action plus connue de la prairie qui devient un facteur essentiel d'amélioration. A l'augmentation de niveau humique s'ajoutent les effets mécaniques des racines qui "tiennent" le sol et conservent une certaine structure, facilitant en même temps l'infiltration superficielle et en profondeur. Nous avons déterminé précédemment l'évolution des régimes de filtration sur quelques cultures différentes. Au moyen des tests classiques de stabilité S et K nous pouvons chiffrer les améliorations structurales attribuables à la prairie. Dans le tableau 20, nous pouvons comparer les résultats obtenus, sur un même type de boubène, entre des parcelles sous prairies et des parcelles subissant d'autres traitements, avec ou sans prairie. Certaines de ces parcelles ont servi aux essais de comportement hydrique et nous en avons déjà donné les références (tableau n° 13).

TABLEAU n° 20 : Influence de la prairie sur les qualités structurales des sols de boubènes.

Traitements	Vieille prairie naturelle		Fétuque en 5ème année		2ème année de culture après prairie		Assolement blé - maïs		Vigne depuis 40 ans		
	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	
<u>Profondeur:</u>											
0 - 5 cm	1,2	4,0	3,8	1,8	7,0	1,4	10,3	1,4	15,4	1,3	
5 - 10	1,7	3,0	4,9	1,7	7,0	1,7	13,3	1,7	19,9	1,2	
10 - 15	1,7	3,0	6,6	1,4	7,0	1,4	7,4	1,8	7,9	1,2	
15 - 20	5,2	1,6	7,2	1,5	8,0	1,8	26,8	1,1	17,9	1,7	
20 - 25	5,2	1,6	6,7	1,5	8,0	1,8	26,8	1,1	17,9	1,7	
25 - 30	5,2	1,6	7,6	1,5	8,0	1,8	26,8	1,1	17,9	1,7	

Ces résultats montrent la nette amélioration des qualités structurales, sensibles surtout par la diminution de la valeur du test S, mais aussi, dans le cas de l'ancienne prairie, par l'augmentation du test K. Cependant, on constate que cette amélioration n'est que temporaire, car dès la deuxième année de culture après prairie, les tests tendent à reprendre leur valeur d'origine. La troisième année, bien que les tests S et K n'indiquent plus de différences entre ces traitements, on observe encore un meilleur comportement des cultures dans l'assolement avec prairie.

Par ailleurs, au-dessous de 15 cm, les valeurs les plus mauvaises, aussi bien de S que de K, se situent dans l'assolement blé-maïs. Ces résultats confirment les observations sur le profil cultural, où nous avons remarqué au-dessous des 15 premiers cm, un horizon plus compact et moins bien colonisé par les racines. En effet, les façons superficielles nécessaires pour un tel assolement sont effectuées bien souvent lorsque la surface le permet alors que le sous-sol immédiat est encore trop humide, ce qui entraîne des effets de tassement et de compactage à ce niveau. Par la suite cet horizon se durcit, devient à la fois moins pénétrable à l'eau et aux racines.

Par contre, le système radiculaire vigoureux de la vigne se manifeste dès 15 cm, et protège en partie la dégradation de la terre à partir de ce niveau, ce qui explique une stabilité de la structure un peu moins faible que dans le cas précédent.

L'influence de la prairie se retrouve encore dans les différences de profondeur et de densité d'enracinement des cultures qui lui succèdent. Ceci a pu être mis en évidence grâce à la comparaison, la même année, de l'enracinement de deux cultures de blé sur deux assolement différents :

- l'un, "l'assolement prairie" étalé sur 6 ans, comprend 3 ans de fétuque élevée (pour graine), suivie d'un maïs, puis d'un blé, enfin d'un colza.

- l'autre, "l'assolement traditionnel blé-maïs" comporte tous les 6 ans l'implantation d'un colza.

..../...

En 1965, ces deux systèmes portaient un blé suivi dans les deux cas par un colza, ce qui nous a permis d'effectuer les observations et mesures suivantes (tableau 21).

TABLEAU n° 21 - Comparaison de l'enracinement d'un blé suivant les différents assolements. Les résultats sont exprimés en kg/ha de matière sèche.

Assolement "prairie"		Assolement "traditionnel"	
Profondeur cm	kg/ha	Profondeur cm	kg/ha
0 - 10	1.237	0 - 7	615
10 - 25	327	7 - 20	412
25 - 60	247	20 - 30	70
60 - 75	29	30 - 50	68
		50 - 70	4

Après prairie, la colonisation par les racines du blé est plus importante que dans l'autre cas, notamment pour les 25 premiers centimètres. De plus, leur répartition est bien meilleure en surface comme en témoignent les résultats suivants (exprimés en grammes de racines sèches par dm³ de sol).

Blé "assolement prairie "	{	2.580 g/dm ³ sous les pieds	}	Rapport 4,65
		0,555 d/dm ³ sous l'interligne		
Blé "assolement traditionnel"	{	1,530 d/dm ³ sous les pieds	}	Rapport 5,65
		0,272 g/dm ³ sous l'interligne		

Quoique les deux parcelles portaient des variétés différentes, les écarts d'enracinement sont tels que l'on peut les attribuer au moins en grande partie à l'assolement. Cet état de choses n'a malheureusement pas permis de comparer les rendements.

Cependant, sur la culture de colza suivante, les observations de racines au cours de l'hiver, ont montré la destruction de la presque totalité des pivots par pourrissement, entre 10 et 15 cm de profondeur, sur la parcelle en assolement blé-maïs. Sur celle ayant porté une prairie, le comportement fut moins mauvais et un rendement de 1⁴ qx/ha a pu être obtenu, alors que sur l'autre, la récolte n'a pu être faite par suite du dépérissement total de la culture en début de printemps.

L'importance de la colonisation du sol par les racines de la fétuque, apparaît dans les résultats ci-dessous. Ils concernent l'enracinement d'une fétuque en place depuis 3 ans sur une parcelle voisine des précédentes.

<u>Profondeurs</u>	<u>kg/ha de racines sèches</u>
0 - 5	6.000
5 - 15	1.900
15 - 30	1.500
30 - 45	450
45 - 60	200
60 - 70	80

On s'explique ainsi comment un enracinement aussi important est susceptible de jouer un rôle primordial dans ce milieu fragile et instable que sont les boubènes. De plus, il participe à l'entretien du niveau humique par une restitution appréciable de matières organiques.

Toutefois, ces quelques données n'ont fait qu'aborder le problème de l'amélioration de ces sols, car nous font défaut des rendements chiffrés et statistiquement contrôlés permettant de juger de la rentabilité actuelle de ce système de culture, ainsi que des possibilités et des facilités de travaux du sol et d'implantation des cultures que l'on peut en escompter réellement.

Ces études systématiques ne peuvent être faites qu'à partir de champs d'essais de longue durée; de tels ensembles ont récemment été réalisés ou sont en cours d'élaboration à la Station d'Agronomie de Toulouse, mais il est encore trop tôt pour exploiter ces premiers résultats.

Malgré la nature du matériau constituant les boubènes, peu favorable à l'édification d'une structure stable, les données précédentes ont démontré le rôle de l'assolement, en particulier l'importance de la prairie dans la rotation. La prairie crée en surface une structure grumeleuse stable tant qu'elle est en place, et assure des voies de pénétration en profondeur; elle confère aux boubènes profondes un comportement favorable. Ainsi, puisque les effets bénéfiques sur les qualités structurales sont fugaces à la disparition de la prairie, celle-ci, après deux ou trois ans de présence, doit revenir à intervalles relativement courts, afin d'assurer un cycle de la structure favorable aux cultures annuelles qui lui succèdent.

2°- L'irrigation des boubènes

a)- Difficultés d'implantation des cultures

L'irrigation, en comblant le déficit en eau des cultures d'été, augmente considérablement les rendements, à condition d'une part, que des facteurs essentiels de productivité tels que fertilisation et choix de la variété soient optimum, d'autre part, et d'une manière aussi impérative, qu'une bonne implantation de la culture ait été assurée : semis à époque normale et surtout densité de peuplement suffisante et régulière. Or ces dernières conditions sont difficilement réalisées en boubènes, notamment dans les types de boubènes blanches, battantes, peu profondes, qui possèdent les caractères défavorables les plus marqués.

En effet, la préparation de ces sols est délicate, et dans aucun cas la préparation superficielle des labours ne doit donner une proportion trop importante de terre fine. Vu leur très faible plasticité et leur défaut de structure, les possibilités de réalisation de travaux semblables sont limitées, soit à cause de la pluie, soit à cause d'une période de sécheresse. Il s'ensuit des retards de préparation du sol, portant le semis à des époques moins favorables, ou des préparations défectueuses susceptibles de provoquer par la suite des accidents de végétation. A ces inconvénients, surtout accusés en cultures d'été, s'ajoutent les difficultés de levées imputables aux croûtes de battance ou à la dessiccation rapide du lit de semence.

Ainsi, l'implantation difficile des cultures en boubènes, gêne la mise en place au moment voulu des rotations dans l'assolement, et limite très souvent l'obtention de rendements élevés que l'irrigation serait susceptible de fournir.

b)- résultats d'essais d'irrigation en boubènes

La conduite de l'irrigation est toujours délicate dans ces sols à cause de leur nature et de leur comportement. MUNTZ et ses collaborateurs avaient d'ailleurs remarqué que la technique d'arrosage par ruissellement, adoptée pour l'utilisation des eaux du canal de St-Martory, provoquait des phénomènes d'érosion par entraînement difficiles à surmonter. Actuellement, l'irrigation par aspersion limite ces dégâts, à condition d'adopter des débits horaires faibles, de l'ordre de 4 à 6 mm/heure. Cependant, la conduite de l'irrigation devient plus difficile lorsque ces sols sont mal préparés. Dans ce cas, la moindre erreur dans les doses d'apport d'eau peut provoquer des accidents importants en aggravant les propriétés physiques défectueuses (MARTY, MAERTENS, 1966).

Par ailleurs, s'il est bien connu que la profondeur du sol exploitable par les racines conditionne la productivité en culture sèche, il peut en être de même en culture irriguée lorsque le rythme et les doses des arrosages ne sont pas adaptés à l'importance des réserves hydriques (MARTY et al, 1968). Celles-ci sont variables suivant le type de boubènes, elles sont élevées en boubènes profondes où leur utilisation dans le sous-sol reste aléatoire suivant les possibilités d'enracinement, elles deviennent très faibles en boubènes sur horizon caillouteux renfermant de plus une proportion élevée en éléments grossiers.

Ainsi, la conduite de l'irrigation en boubènes doit varier selon le type de profil, qui conditionne les réserves en eau susceptibles d'être utilisées et règlent le rythme des arrosages, la perméabilité qui limite les débits à utiliser, compte tenu des données climatiques locales qui renseignent sur le déficit en eau à combler.

A titre d'exemple, nous donnons les résultats obtenus en 1967 en choisissant deux exemples typiques de boubènes.

Cas n° 1 : boubène franche, limono sableuse, relativement profonde, renfermant aux environs de 150 mm de réserves utilisables. Elles correspondent aux cas les plus favorables rencontrés dans ces sols.

Cas n° 2 : boubène blanche, battante, caillouteuse sur grep à 40-50 cm (type profil 4 a). Les réserves en eau utilisables sont de l'ordre de 50 mm. Ces boubènes sont parmi les plus mauvaises de la région.

En 1967 le déficit climatique (ETP - pluie) s'est élevé du 1er mai au 30 septembre à 716 mm dans le cas n° 1 et à 762 mm dans le cas n° 2, signalons que les pluies sont un peu plus abondantes dans le cas n° 1.

L'irrigation était déclenchée soit pour satisfaire la demande climatique, soit pendant la "période critique" (inflorescence mâle - flétrissement des soies femelles pour le maïs, apparition de l'inflorescence pour le sorgho) dans le cas n° 1, soit lorsque 33 % des réserves hydriques étaient utilisées dans le cas n° 2, l'arrosage "période critique" dans cette situation n'ayant pas de signification. A titre de comparaison, des parcelles non irriguées servaient de témoin dans les deux cas. La densité de l'ordre de 60.000 pieds/ha était réalisée en variété tardive (Funk's G 75 A). Les résultats obtenus figurent au tableau 22.

Les réserves du sol jouent essentiellement un rôle de volant permettant, compte tenu de la profondeur d'enracinement, des doses d'arrosages d'autant plus élevées que ces réserves sont plus grandes. Il s'ensuit qu'en boubènes peu profondes (cas n° 2) on est conduit pour satisfaire totalement la demande climatique, à multiplier les irrigations en apportant de faibles doses, de l'ordre de 15 à 25 mm suivant le stade de la culture. A cette seule condition, le maximum de production pour les différentes cultures peut alors être atteint, mais l'obligation d'effectuer 20 à 25 irrigations présente de fortes contraintes d'ordre technique et économique.

..../...

TABLEAU n° 22 : Résultats d'irrigation maïs, sorgho, fétuque élevée, en 1967

	Maïs			Sorgho			
	Irriga- tion mm d'eau	Nombre d'irri- gations	Rendement grains à 15% d'H en q/ha	Irriga- tion mm d'eau	Nombre d'irri- gations	Rendement grains à 15 % d'H en q/ha	
<u>Cas n° 1</u>							
Irrigation selon demande climatique	295	9	126	300	9	76	
Irrigation période critique	160	4	92	160	4	58	
Témoin sec	0	0	30	0	0	29	
	Maïs			Fétuque élevée			
	Irriga- tion mm d'eau	Nombre d'irri- gations	Rendt. grains à 15 % d'H en q/ha	Irriga- tion mm d'eau	Nombre d'irri- ga- tions	Rdts. à l'ha	
						q de M.S.	U.F.
<u>Cas n° 2</u>							
Irrigation selon demande climatique	404	25	107				
Irrigation à 33 % des réserves	280	17	69	470	20	164	9.300
						en 5 exploitations	
Témoin sec	0	0	7	0	0	67	3.780
						en 2 exploitations	

(Signalons que dans les deux cas la fertilisation a été largement calculée, de façon que la pauvreté du sol ne puisse être un facteur limitant).

Pour le maïs, dans le cas n° 2, dès que la demande climatique n'est pas satisfaite aux environs de 90 - 100 % par l'irrigation, les rendements baissent très rapidement car les trop faibles réserves de ce type de sol ne peuvent compenser un déficit en eau même temporaire. Il s'ensuit que pour une demande climatique supérieure seulement de 46 mm, il ait fallu, dans ce cas, apporter plus de 100 mm supplémentaires pour satisfaire les besoins en eau de la culture. Le rendement plus faible, obtenu dans ces mêmes conditions dans le cas n° 2, peut s'expliquer par différents facteurs : plus grande difficulté d'implantation du maïs, irrégularité de levée et de croissance (malgré une densité correcte), enfin consommation de l'eau irrégulière, en "dents de scie", par suite du défaut d'amplitude du volant de réserve.

Par contre, dans le cas n° 1, un apport d'eau pendant la période critique du maïs a suffi pour maintenir à un niveau élevé les rendements, grâce à une disponibilité plus importante de l'eau du sol et à son utilisation.

Les rendements fournis par le sorgho (variété N K 20) sont plus faibles que ceux du maïs malgré des consommations d'eau analogues. Ceci ne met en cause ni le sol, ni la conduite de l'irrigation, mais serait probablement dû à la potentialité moindre des variétés précoces actuelles du sorgho qui ne peuvent être comparées aux variétés tardives de maïs (COMBRET et AL, dans Plante, Sol, Climat et Irrigation, 1968).

La fétuque élevée (variété Manade), malgré une irrigation un peu moins intensive, et en particulier un déficit en eau vers la fin du mois de juin, a cependant atteint la production potentielle qui est de l'ordre de 10.000 UF/ha, et cela dans la boubène la plus mauvaise (PUECH déjà cité, 1968).

Ces résultats montrent que des apports d'eau susceptibles de couvrir les besoins des cultures permettent, dans les différents types de boubènes, et à condition que l'implantation de la culture soit satisfaisante, d'obtenir des augmentations de rendements d'autant plus élevées que

..../...

le type de boubène est à faible potentialité. Cette augmentation paraît particulièrement intéressante pour la prairie où la production d'herbe verte reste assurée pendant l'été. Toutefois, pour le maïs ou le sorgho, le niveau maximum que l'on peut escompter atteindre reste lié aux différentes potentialités réglées par la nature du profil et sa profondeur.

Rappelons enfin, que dans les cas les plus défavorables (cas n°2 par exemple), l'irrigation constitue une technique très délicate à appliquer, exigeant des investissements en matériel et en main-d'oeuvre qui ne peuvent dans tous les cas être rentabilisés actuellement.

Il en résulte donc que la perspective de l'irrigation, jointe à une fertilisation largement assurée ne suffisent pas pour relever, à coup sûr, le potentiel des différents types de boubènes. En plus de leurs réserves hydriques limitées, ces sols présentent des contraintes influençant le développement normal des plantes, notamment la battance, le compactage, l'asphyxie, qui s'accroissent rapidement si le système de culture n'est pas adapté à leurs exigences, et qui limitent plus ou moins gravement les revenus que l'on serait en droit d'attendre d'une irrigation bien conduite. Il s'ensuit que l'aménagement hydraulique de ces zones pose de nombreux problèmes aussi bien agronomiques, qu'économiques.

CONCLUSIONS GENERALES

L'appellation vernaculaire "boulbène" découle, à l'origine, d'observations empiriques ou intuitives concernant la terre arable, c'est à dire le matériau avec lequel les praticiens avaient des contacts directs. Comme tant d'autres appellations du même genre, elle fut créée par la nécessité où se trouvaient les agriculteurs de classer et de répertorier leurs terres en fonction de leur aspect et de leur comportement. Il en résulte l'adoption de vocables imagés : terreforts, sables fauves, boulbènes, qui présentent encore un vif intérêt du point de vue agronomique.

Traditionnellement, la dénomination boulbène s'appliquait surtout à un horizon de surface dont la qualité première était d'être constitué d'éléments essentiellement siliceux, et à dominante limoneuse. Par suite de la tendance actuelle à l'extension de ce terme à l'ensemble du profil, il en est résulté quelques ambiguïtés, et il convenait alors de préciser les caractères essentiels des profils de boulbènes.

A cet effet, et à partir de travaux antérieurs ainsi que d'une approche sommaire préalable, nous avons pu, grâce à de nombreux résultats analytiques, et à des observations sur les sols en place, définir et décrire des profils typiques qui ont été étudiés ensuite de manière plus approfondie.

Mettant à profit les données de l'observation, de l'analyse, de l'expérience, nous avons élaboré les éléments de diagnostic concernant les caractères et les propriétés des boulbènes, de manière à permettre la compréhension des nombreux phénomènes qui règlent leur comportement. L'une de ces propriétés capitales influençant les conditions du milieu, la filtration de l'eau, dépend en grande partie de la nature des horizons profonds associés aux couches arables; cette interdépendance est générale, et apparait dans le comportement de profils différents.

..../....

Ceux-ci peuvent présenter en profondeur des hétérogénéités de nature, soit qu'il s'agisse d'un matériau argileux, soit d'un cailloutis ou de graviers plus ou moins cimentés par des concrétions ferro-manganiques. Toutefois, les caractères de compacité et de faible perméabilité de ces divers horizons profonds sont comparables, exception faite pour les rares cas où les graviers ne sont colmatés ni par l'argile, ni par le fer.

Nous pouvons dire que les boubènes constituent un ensemble de sols possédant des caractères texturaux et structuraux semblables, et surtout un comportement physique relativement homogène et très différent de celui des autres terres de la région, en particulier des terreforts et des sables fauves. Les boubènes dérivent de formations récentes généralement d'origine alluviale, quelquefois éolienne, qui ont subi des remaniements plus ou moins importants depuis leur mise en place, effectuée à différentes périodes du quaternaire. Par conséquent, tous ces sols n'ont pas subi le même degré d'évolution, ni la même intensité de remaniement. A l'instar de situations et de sols comparables (BONNEAU et al, 1967), il est difficile de déterminer la part de l'action du temps et des pédogenèses anciennes ou récentes sur le stade d'évolution actuel des boubènes. Nous avons pu cependant constater que ces sols semblent avoir subi un lessivage plus ou moins intense, indépendant de leur situation ou de l'ancienneté du dépôt. Dans tous les cas, ils sont marqués par une hydromorphie actuelle nettement caractérisée, soit de surface, soit de profondeur, avec la présence de pseudo-gley. Quoique nous ayons envisagé essentiellement, au cours de ce travail, l'aspect agronomique, nous avons rappelé succinctement ces données qui nous ont souvent été utiles pour la compréhension de certains phénomènes.

Des mesures méthodiques ont conduit à fixer les grandeurs caractéristiques intéressant la nature et la structure de ces sols, ainsi que les propriétés hydriques et mécaniques qui en découlent. Nous avons pu ainsi montrer qu'en raison de leur forte proportion d'éléments très fins non argileux, les possibilités, pour ces sols, d'acquérir et de conserver une structure construite et stable sont limitées; ces conditions entraînent des tassements par effondrement, créant asphyxie, gleyfication, diminution de la perméabilité. Ces inconvénients sont maintenus et aggravés par la nature très peu perméable de leur sous-sol, qu'il s'agisse d'horizons

argileux ou de grep . Il s'ensuit que les propriétés physiques des boubènes constituent le facteur primordial des problèmes agronomiques qu'elles posent, et que l'eau est l'élément prépondérant de leur comportement.

Ainsi, sous l'action de la pluie, en sol nu ou insuffisamment protégé par la couverture végétale, il se produit une évolution de la structure, caractérisée par des arrangements et des sédimentations préférentielles des particules élémentaires, aboutissant, en surface, à la formation de croûtes de battance. La dessiccation du sol entraîne l'apparition d'une structure continue, sans fissuration. Toutes ces conditions influencent défavorablement la pénétration de l'eau et la colonisation du sol par les racines.

En conséquence, le diagnostic établi en boubènes est essentiellement basé sur les relations entre les propriétés physiques et hydriques, les propriétés chimiques présentant, pour le moment et dans la plupart des cas, moins de difficultés. Ces relations, entre l'état physique du milieu et l'eau, conditionnent en effet le comportement du végétal et limitent les possibilités culturales de l'ensemble des sols.

La porosité totale est assez faible et nous avons montré qu'à un taux d'humidité correspondant à la "capacité au champ", il existe peu de pores libres pour assurer la circulation de l'air et de l'eau de gravité. D'autre part, en cours de filtration, il n'y a que le tiers environ de la porosité qui participe à l'écoulement. Ces conditions créent un milieu asphyxiant, d'autant plus grave, pour les cultures, que le manque d'aération se trouve souvent accentué par des enfouissements de matière organique évoluant en anaérobiose.

Les boubènes ne possèdent pratiquement pas de plasticité, car elles renferment une faible proportion de colloïdes argileux dont la capacité d'échange est de surcroît peu élevée, provoquant une activité réduite de la fraction argileuse vis à vis d'une masse importante de limons inertes. En raison de l'importance de cette fraction minérale fine, représentant une surface importante, la matière organique ne peut jouer un rôle efficace et durable, même en envisageant une augmentation du taux actuel qui est relativement faible.

Cette insuffisance de colloïdes fait que ces terres perdent toute qualité de portance à leur capacité normale de rétention pour l'eau, ce qui entraîne des difficultés pour la plupart des interventions culturales. De plus, en raison d'une dessiccation rapide, la résistance à la pénétration du sol s'accroît brusquement et limite les possibilités d'exploitation du milieu par les racines. Cet ensemble de propriétés influence le comportement du végétal et en premier lieu rend difficile l'implantation des cultures.

Un tel tableau peut paraître actuellement pessimiste; cependant, des traitements symptomatiques donnent parfois des résultats positifs : par exemple, l'apport complémentaire d'azote peut suppléer à un mauvais fonctionnement radiculaire passager, dû aux conditions défavorables du milieu. Néanmoins, un traitement étiologique, s'attaquant directement aux causes d'insuccès, est de loin préférable. Il doit mettre en jeu simultanément :

- l'assainissement superficiel, indispensable à l'évacuation des eaux de surface, dans le but de réduire au minimum les temps d'ennoyage,
- l'assolement, une surface importante étant réservée à la prairie temporaire, celle-ci devant contribuer à une amélioration temporaire de leurs qualités structurales,
- le travail du sol, adapté à la fragilité et aux inconvénients de ces sols, en particulier la réduction maximum des façons superficielles afin d'éviter une destruction trop poussée des mottes et les risques de glaçage superficiel.

Compte tenu de ces pratiques, l'irrigation peut alors augmenter sensiblement la potentialité des boubènes. Une approche économique (COMBRET, 1968, déjà cité) a montré qu'actuellement elle devrait être réservée aux meilleures d'entre elles (boubènes franches et bâtardes suffisamment profondes). Malgré cela, les conditions de rentabilité restent encore à préciser, notamment en fonction des cultures envisagées, pérennes ou annuelles, et du facteur "risque" lié aussi bien à leur état physique qu'à l'instabilité du climat.

..../...

Ce travail a donc mis en évidence la réalité des termes vernaculaires élaborés par les praticiens sur la base d'observations. Leur survivance et leur usage courant témoignent encore de leur incontestable utilité. Même les anciens agronomes avaient constaté les caractéristiques évidentes de ces formations, et avaient pressenti l'importance de ces appellations populaires en s'appliquant à leur donner une définition.

C'est ainsi que François de NEUFCHATEAU fut amené à préciser certains éléments de la nature des boubènes, susceptibles d'expliquer leur comportement. Quoique sommairement esquissées, les propriétés qu'il leur attribue sont autant d'actualité qu'il y a près d'un siècle et demi, et les termes qu'il utilise reflètent bien leurs caractères intrinsèques.

Actuellement, l'ensemble des données que nous avons pu rassembler, si elles ont permis de préciser la définition du mot boubène, en ont également confirmé les propriétés défavorables.

Il existe heureusement des méthodes culturales permettant de pallier en partie leurs inconvénients et de tirer profit de formations recouvrant des surfaces importantes, dans un milieu climatique favorable aux cultures.

L'homogénéité des critères mis en évidence permettra également de pouvoir extrapoler à d'assez grandes surfaces les techniques d'amélioration et les systèmes de culture les mieux adaptés, assurant ainsi l'efficacité des travaux que l'agronome entreprend pour améliorer la production agricole.-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANNE P., 1945 - Dosage rapide du carbone organique des sols
Ann. Agr., p. 161-172
- ASTRE G., 1928 - Quartz à érosion éolienne dans le loess toulousain
Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse - T LVII, p. 218 à 222
- ASTRE G., 1959 - Terrains stampiens du Lauragais et du Tolosan
Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse
- BERNOT J., 1961 - Contribution à l'étude des sols lessivés des terrasses
de la Garonne - Thèse Fac. Sc. Université de Toulouse
- BETREMIEUX R., 1951 - Etude expérimentale de l'évolution du fer et du
manganèse dans les sols
Ann. Agron., p. 193-295
- BETREMIEUX R., 1965 - La représentation de la granulométrie des terres
Un procédé géométrique - C.R. Agr. de France, séance du 17/3/65,
p. 347-351
- BLANCHET R., MAERTENS C., MARTY J.-R., GELFY N., 1966 - Influence des
constituants minéraux de quelques types de sols sur leurs
propriétés physiques et leurs possibilités culturales
Bull. de l'A.F.E.S., n° 9
- BONNEAU, 1961 - Evaluation au laboratoire de la capacité au champ en
fonction de la texture
n° spécial Bull. de l'A.F.E.S., p. 16-26
- BONNEAU M., DUCHAUFOR Ph., Le TACON F., 1967 - Réflexions sur l'importance
du facteur temps dans l'évolution des sols
Science du Sol, n° 2, p. 13-24
- BREUIL (Abbé) et MENGAUD L., 1924 - Observations sur les terrasses de la
Garonne dans les environs de Rieumes (Haute-Garonne) et les
alluvions de la Bure, de la Galage et du Touch
Revue d'Anthropologie - 34ème année - Sept. 1924, p. 322-332
(1 carte)
- BRUNET R., 1965 - Les campagnes toulousaines
Publication de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines
de Toulouse - série B - tome 1 - 727 pages
- CAILLERE S. et HENIN S., 1951 - Etude des alios des Landes
An. Agr., Mai-Juin, p. 296-316
- CAVILLE A., 1951 - Les sols de boulbènes de l'Aquitaine et les climats
quaternaires - R.G. Pyr., S.O., XXII, p. 199-206
- CAVILLE A. et VANDENBERGUE A., 1965 - Inventaire des ressources hydrauliques
du territoire compris sur la feuille topographique au 1/20.000ème
D.S.G.R. 65 A/10 - Toulouse, Est. 5 (984-5)
- CHAPUT E., 1928 - Le loess sur la "terrasse inférieure" de la Garonne à
l'Ouest de Toulouse
C.R.S. Soc. Géol. de Fr. 4ème série, t XXVIII n° 9, p. 131-132
- CHARLOT G., 1961 - Les méthodes de la chimie analytique
Masson et Cie, Editeur, Paris.

- CONCARET J., 1966 - Etude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact des solutions aqueuses -
Thèse Fac. des Sciences de Strasbourg
- COURAU M., 1967 - Modalités de l'infiltration de l'eau dans un milieu poreux -
Effet de la force de succion -
C.R. Acad. Sc. 265; série D, p. 862-865
- DARVES-BORNOZ, 1964 - Etude fréquentielle des besoins en cas d'irrigation du Bassin Aquitain - Ministère de l'Agriculture -
Service de l'Hydraulique - Paris, 64 pages
- DECAU J., 1960 - Premières observations de carence en Bore sur les terrasses de la Moyenne Garonne -
C.R. Acad. Agric., 2ème semestre, p. 1002-1008
- DECAU J., FIORAMONTI S., MALTERRE H., 1962 - Teneurs des sols de la Haute Garonne en matières organiques -
Ann. Agron., 13 (4), 347-362
- DELMAS J., DARTIGUES A., de MONTLEAU P., 1956 - Granulométrie des sols du département des Landes -
Bull. de l'A.F.E.S., n° 81, Nov.
- DELMAS J. et DARTIGUES A., 1959 - Etude de la commune de Villeneuve de Marsan -
Bull. de l'A.F.E.S., n° 2, Fév.
- DELMAS J. et DUTHIL P., 1964 - Résultats de l'enquête concernant la mortalité des arbres fruitiers dans le Sud-Ouest au cours de l'année 1961 -
B.T.I., 187, p.81-89
- DEMOLON A., 1952 - Dynamique du sol - Principes d'Agronomie -
Tome I, 1 vol., 520 pages - 5ème édition, Dunod, Editeur, Paris
- DENIZOT G., 1928 - Note sur la morphologie, sur l'évolution et sur l'âge des terrasses toulousaines -
Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse
- DUCHAUFOR P., 1960 - Précis de pédologie
Masson et Cie, Editeur, Paris
- ENJALBERT H., 1960 - Les pays aquitains - I - Le modelé et les sols - Bordeaux -
Ed. Bière, 618 pages
- FAVROT J-C, 1965 - Etude pédologique de la Basse Vallée du Lot - Section Sainte Livrade - Aiguillon -
I.N.R.A. - S.E.S., n° 24, 1 vol., 160 pages
- FEODOROFF A., 1961 - Aptitude des terrains à recevoir un drainage taupe -
Bull. de l'A.F.E.S., p. 418-433
- FEODOROFF A., 1961 - Capacité de rétention pour l'eau et structure du sol -
C.R. Acad. Sc., 252, 4, p. 591-593

- FEODOROFF A., et BAILLIF J-L., 1968 - (avec la collaboration de GAY P.,
TOURNIER J-P., MANTION P.) - La tension de l'eau à la capacité
de rétention - Note provisoire à diffusion restreinte -
Laboratoire des sols I.N.R.A., Versailles
- FIORAMONTI S., MARTY J-R., DESWEEEMER N., 1965 - Dégradation des sols
d'alluvions anciennes sous vigne et quelques remarques sur le
cuivre échangeable - Bull. de l'A.F.E.S., n° 3, p.101-122
- FIORAMONTI S., MARTY J-R., COURAU M., PUECH J., 1967 - Conduite et résultats
de cultures expérimentales de maïs irrigué dans trois sols
différents - C.R. Acad. Agr., n° 1, p. 53-65
- GLANGEAUD L., 1956 - Intervention sur la classification des sols -
VIème Congrès International de la science du sol
Paris 1956, Vol A., p. 176-179
- HENIN S. et TURC L., 1949 - Essais de fractionnement des matières organiques
du sol - C.R. Acad. Agri., 35, p. 41-43
- HENIN S., MONNIER G., COMBEAU A., 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité
structurale des sols -
Ann. Agr. n° 1, p. 71-90
- HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R., MONNIER G., 1960 - Le profil Cultural -
Principes de physique du sol -
S.I.E.A., Paris
- HENIN S., et BOSQUET, 1964 - Relation entre le comportement des sols et
leur texture
C.R. Acad. Agri., Tome 2, p. 842-846
- ICOLE M., 1967 - Limons rouges quaternaires sur le Lannemezan - leur
évolution pédologique
C.R. Acad. Sc., n° 11, tome 265, série D, p. 781-791
- KOPECKY, 1927 - Premier congrès international de la science du sol
Washington, 1927 - Dynamique du sol - Vol 1, p. 495 -(Dunod)
- LATOUCHE C., 1967 - Les phases argileuses des profils d'altérations actuelles
des principales formations géologiques nord aquitaines
C.R. Acad. Sc., Paris, T. 265, n° 21, 2ème semestre 1967, série D.
- LEYMERIE A., 1881 - Description géologique et paléontologique des Pyrénées
de la Haute Garonne
1 volume 1010 pages, Ed. Privat, Editeur, Toulouse
- LIWERANT J., 1939 - Les sols d'alluvions de la vallée de la Garonne
Ann. Agro., n° 9, p. 438-453
- LIWERANT J., 1946 - Les sols d'alluvions de la vallée de la Garonne dans
la région toulousaine
Bull. Agr. du Sud-Ouest, 242, p. 32-51
- MAERTENS C., 1964 - La résistance mécanique des sols à la pénétration :
ses facteurs, et son influence sur l'enracinement
Ann. Agr., 15 (5), p. 539-554

- MAERTENS C., 1965 - Deux méthodes de déterminations de la densité du sol en place, leurs possibilités d'utilisation - Bull. de l'A.F.E.S., Août, p. 283-290
- MAERTENS C., et COURAU M., 1966 - Quelques observations concernant les accidents attribués à l'asphyxie du pêcheur - C.R. Acad. Agric., 2ème semestre, p. 874-886
- MAERTENS C., FIORAMONTI S., COURAU M., PUECH J., 1966 - Modalités d'utilisation de l'eau du sol par le maïs - Examen de la notion de réserve utilisable - C.R. Acad. Agric., p. 1338-1348
- MAERTENS C., 1964 - Relations entre les propriétés physiques des sols et les systèmes racinaires des plantes cultivées - Répercussions sur la croissance des végétaux. Mémoire D.P.E. - C.N.A.M.
- MAERTENS C., 1968 - Influence de quelques caractéristiques texturales sur le retrait des sols -(en cours de publication aux Ann. Agron.)
- MALET J. et LIWERANT J., 1956 - Bouconne, chênaie dégradée du pays toulousain - Revue forestière Française, p. 11-27
- MALTERRE H., 1956 - Degré de finesse et capacité de production des alluvions fluviales du pays toulousain - Paris, C.R. VI Congrès A.F.E.S., V.85, p. 521-527
- MALTERRE H., 1960 - Nomenclature rationnelle des textures des sols, et des roches mères ou calcaires - XXXIIème congrès international de chimie industrielle - Barcelone, n° spécial Bull. de l'A.F.E.S. 1964
- MARTY J-R., 1965 - Problèmes agronomiques de quelques types de sols d'alluvions anciennes - Bull. de l'A.F.E.S., p. 293-307
- MARTY J-R., HILAIRE A., CABELGUENNE M., VIARD R., 1968 - Conséquences de la profondeur du sol et des techniques d'irrigation sur la production d'une culture de maïs - (en cours de publication au Bull. de l'A.F.E.S.)
- MARTY J-R. et FIORAMONTI S., 1965 - Etude d'un secteur de sols de boubènes sur alluvions anciennes de la Garonne Bull. de l'A.F.E.S., Juillet, p. 224-257
- MARTY J-R. et MAERTENS C., 1966 - Répercussion du tassement excessif d'un sol mal structuré sur la croissance et la production d'une culture irriguée de maïs. C.R. Acad. Agric. de France n° 17, p. 1348-1356
- MENGAUD P., 1924 - Thèse - Etudes sur les boubènes du pays toulousain - Toulouse - Bonnet, 90 pages

- MERIAUX S., 1954 - Etude de quelques sols caractéristiques de la région de Dijon - Granulométrie - Ann. Agr., p. 985-993
- MERIAUX S., 1958 - Stabilité structurale et composition des sols - C.R. Acad. Agric., n° 44, p. 799-803
- MONNIER G., TURC L., JEANSON-LUUSINANG C., 1962 - Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol - Ann. Agr., n° 13, p. 55-63
- MONNIER G., 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols - Thèse Univ. Paris
- MUCKENHAUSEN E., 1963 - Le pseudo-gley - Sc. du Sol, n° 1, p. 21
- MUNTZ, FAURE, LAINE, 1905 - Etudes sur la perméabilité des terres, faites en vue de l'arrosage - Ann. Direction de l'Hydraulique - Comité d'Etudes Scientifiques, Fasc. 33
- MUNTZ, FAURE, LAINE, 1907 - Rapports entre la constitution physique des terres et la distribution des eaux d'arrosage - Ann. Direction de l'Hydraulique - Comité d'Etudes Scientifiques, Fasc. 36 bis,
- NEUFCHATEAU (Comte François de), 1827 - Dictionnaire d'Agriculture pratique Paris
- PELTIER R., 1955 - Manuel des Laboratoires Routiers - Ed. Dunod, Paris
- PERIGAUD S., 1963 - Contribution agronomique à la mise en valeur de la Brenne (sols hydromorphes) - Ann. Agr. n° 14 (2), p. 121-193 - Ann. Agr. n° 24 (3), p. 261-377
- " PLANTE - SOL - CLIMAT ET IRRIGATION " - Etude réalisée en 1965, 1966, 1967 - par la Station d'Agronomie de Toulouse - Publication restreinte - 1 volume; 180 pages
- POCHON J. et CHAIVIGNAC M-A., 1965 - Oxydation biologique du soufre et dégradation des sols de vignoble - Agrochimica IX, n° 2, Mars
- REY R., 1957 - La détermination écologique et la répartition des plantes méditerranéennes en Aquitaine - Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, n° 92, p. 131-156
- RISLER E., 1894 - Géologie Agricole - 1ère partie du cours d'Agriculture comparée fait à l'I.N.A. - Tome III

- RUTTEN P., BOUTEYRE G., VIGNERON J., 1963. Pédogénèse et géomorphologie dans le Bas-Rhône - Languedoc. Leurs conséquences agrologiques. Ac. du Sol. n° 1.
- SOUBIES L., GADET R., MAURY P., 1960. Le climat de la région de Toulouse et son influence sur les récoltes de blé et de maïs. C. R. Acad. Agr., p. 185-195.
- STUDER R., 1961 - Méthode de détermination des réserves hydriques des sols Ann. Agro., n° 12 (6), p. 599-608.
- TELLIEZ J., CANTEGREL R., de VIGUERIE P., JULLIAN M., RAYMONDIS P., CAVAILLE A., 1959. Etude générale des sols de boubènes - B.T.I., n° 144, p. 655-690.
- TERZAGHI K., 1961 - PECK (R.B.) - Mécanique des sols appliquée - Dunod, Paris.
- THERON de MONTAUGE, 1869 - l'Agriculture et les classes rurales dans le pays toulousain.
- TRICART J. et MICHEL P., 1965 - Morphogénèse et pédogénèse - I - Approche méthodologique, géomorphologie et pédologie - Sc. du Sol, Volume I -p. 69-85.
- TURC L., 1949 - Sur la matière organique du sol fractionnée par densité C.R. Acad. des Sci., n° 229, p. 427-428.