

CHAPITRE IX

LES FACTEURS CLIMATIQUES ET PHYSIQUES DE LA FERTILITE DES SOLS

B. DABIN

9. - Généralités.

9.1.1. — Les facteurs climatiques dans leurs relations avec les plantes et le sol.

- Action directe du climat sur les plantes.

Les facteurs climatiques peuvent intervenir directement sur les plantes, en raison des caractéristiques particulières de chacune d'entre elles : longueur de leur cycle, ensoleillement et température, besoins en eau, résistance à la sécheresse ou à l'excès d'eau, etc. Sans entrer dans les détails, le pédologue peut connaître les aptitudes essentielles des principales cultures, l'adaptation réelle au climat peut être ensuite l'objet d'un travail de sélection ou d'amélioration génétique qui est un travail de spécialiste.

- Action indirecte du climat par l'intermédiaire du sol.

Les facteurs climatiques peuvent intervenir indirectement sur la végétation soit par l'intermédiaire du site, soit par l'intermédiaire du sol lui-même.

En ce qui concerne le site, le pédologue peut préciser l'influence de la topographie conditionnant le ruissellement, l'infiltration, l'érosion, le drainage général, la position des nappes, les dangers d'inondation, les possibilités de lessivage ou de remontée. Un facteur très important, le microrelief, influence surtout la répartition superficielle de l'eau.

Le sol modifie les actions climatiques : par sa profondeur dont dépend la réserve en eau ; par sa texture qui conditionne la perméabilité, la rétention d'eau, les phénomènes capillaires.

9.1.2. — Les relations sol-plante.

L'action directe ou indirecte du climat intervient surtout sur l'alimentation en eau des plantes qui est un facteur essentiel de croissance. C'est même celui qui détermine l'**aptitude culturale** car c'est un élément peu modifiable ; néanmoins, il est possible de pratiquer dans certains cas l'irrigation ou le drainage.

Facteurs physiques autres que l'eau.

Parmi les autres facteurs de croissance très importants, il faut citer les **propriétés physiques** qui influencent le développement des racines, c'est-à-dire : l'état meuble ou compact, la pierrosité, la présence d'horizons indurés ou asphyxiants, à plus ou moins grande profondeur ;

Les propriétés chimique du sol qui conditionnent la croissance des végétaux sont : soit les teneurs en éléments fertilisants qui agissent directement sur l'alimentation des plantes (N, P, K, Ca, Mg, S, oligo-éléments) ; soit certains facteurs de toxicité, tels que : excès de calcium ou de sodium, pH trop acide ou trop basique, sels solubles en excès, toxicité aluminique ou manganique, etc.

Les carences en éléments fertilisants sont considérées comme les facteurs les plus faciles à corriger ; par contre, d'autres facteurs chimiques, comme l'excès de calcaire ou de sodium, sont également des facteurs peu modifiables.

Le cas de la matière organique peut être classé à part, l'humus intervient sur le métabolisme de l'azote et d'un certain nombre d'éléments fertilisants, mais est également un facteur essentiel de la structure du sol, et conditionne l'activité biologique dont dépend, pour une part, la fertilité du sol.

9.1.3. — Les relations plante-sol.

Sous un climat convenable, il peut être possible de définir un sol idéal convenant à de nombreuses cultures, néanmoins, les différentes plantes, en raison des variations de leur système racinaire et de leurs exigences variables du point de vue chimique, peuvent s'adapter différemment aux diverses propriétés des sols.

Les facteurs essentiels pouvant être l'objet d'adaptations différentes sont les suivants :

- besoins en air et en eau ;
- facteurs mécaniques de développement racinaire ;
- éléments fertilisants ;
- facteurs de toxicité chimique.

Il serait souhaitable de dresser pour chacune des principales cultures une liste de ces possibilités d'adaptation ; ces listes existent dans certains cas précis, comme par exemple la résistance au sel.

9.1.4. — L'action de l'homme.

L'étude de l'action de l'homme dépasse le domaine de la pédologie appliquée, et parfois même celui de l'agronomie ; néanmoins, il est impossible de ne pas en tenir compte puisqu'en définitive, c'est l'homme qui réalise la mise en valeur du sol.

Dans les pays en voie de développement, il est nécessaire de tenir compte de facteurs généraux, comme la densité de population, les possibilités de migration et d'installation de villages, le niveau de technicité et les pratiques traditionnelles telles que feu de brousse, transhumance, techniques de culture traditionnelles, etc. pouvant influencer sur la dégradation du sol.

9.2. - Les facteurs climatiques dans leurs relations avec le sol et les plantes.

9.2.1. Action directe du climat sur les plantes.

Il n'est pas possible de donner ici les caractéristiques écologiques détaillées des différentes cultures, ainsi que toutes les mesures ou indices climatiques qui peuvent être utilisés pour juger de l'adaptation d'une plante à une région déterminée ; il sera seulement présenté un aperçu simple des exigences climatiques essentielles pour les cultures tropicales dont l'intérêt économique est important (cf. tableaux situés pages 170-171).

On indique comme caractéristique essentielle : la longueur moyenne du cycle de la plante qui permet l'adaptation au cycle des saisons, en particulier à la longueur de la période sèche.

a. Longueur de la saison sèche.

Les besoins en eau et la longueur de la période sèche sont donc des éléments essentiels de l'adaptation des cultures. Les plantes pérennes ou à cycle long nécessitent une pluviométrie bien répartie et une courte saison sèche. Les plantes à cycle court peuvent végéter durant une courte saison des pluies suivie d'une longue saison sèche.

b). Ensoleillement.

Les différentes plantes peuvent nécessiter un ensoleillement plus ou moins important. Certaines, comme le cacaoyer, sont des plantes d'ombre qui ne supportent pas l'ensoleillement direct, d'autres, comme la canne à sucre ou le riz, préfèrent un fort ensoleillement. Certaines comme le café, sont intermédiaires, et d'autres enfin, comme le maïs, semblent indifférentes.

C'est ainsi que, pour la canne à sucre et le riz, on choisira les zones de savane à saisons alternées ; pour le cacaoyer, les zones forestières ombragées seront préférées ; le café pourra végéter en zone de forêt ou en zone limite de savane, un ombrage pourra lui être nécessaire dans les régions les plus sèches.

Les plantes originaires des pays tempérés, comme certaines plantes maraîchères (tomates, aubergines, etc.), ne peuvent mûrir qu'en période sèche et ensoleillée mais pas trop chaude.

c. Pluviométrie et besoins en eau.

Les besoins en eau des plantes sont plus ou moins élevés, ils déterminent des limites de pluviométrie. Ces limites sont approximatives, elles sont fonction de la répartition des pluies et de l'évaporation, ainsi que du pouvoir de rétention du sol pour l'eau. D'autre part, des plantes peuvent s'adapter à certaines conditions extrêmes mais leur rendement économique peut se trouver compromis si la pluviométrie est insuffisante. Enfin l'irrigation d'appoint est souvent utilisée pour les plantes nécessitant à la fois un fort approvisionnement en eau et un fort ensoleillement, c'est le cas pour la canne à sucre, le bananier, le riz.

d. Température.

Il n'a pas été fait mention du facteur température, car ce facteur est généralement correct dans les pays tropicaux où la température est constante et élevée durant la période des pluies, néanmoins, des problèmes de température peuvent se poser pour certaines cultures d'arrière-saison, en irrigation.

Le riz désaisonné (novembre à février dans l'hémisphère nord) peut souffrir d'une température trop basse (10 à 14°) dans les régions sahéliennes, ce qui ralentit la croissance. Inversement, la récolte doit être terminée avant l'arrivée des fortes températures (mars), il peut se produire un échaudage ou certains accidents dus à la sécheresse (exemple : clivage du grain dans le cas du riz).

e) Le vent.

Le vent peut être nuisible pour certaines cultures irriguées en pays sec (bananier).

f) Limites climatiques des cultures.

Certaines adaptations climatiques sont extrêmement précises. La limite sud de la culture du coton à longues fibres (type Egyptien-Barbadense) se situe vers l'isohyète 450 mm ! il suffit que cette pluviométrie et l'humidité qui en résulte soient supérieures pour voir apparaître la maladie bactérienne dite « Black Arm », une sélection rigoureuse des variétés résistantes à cette maladie doit être réalisée. Par contre, la limite sud de culture du coton « Allen » (courtes soies), que l'on situait autrefois vers l'isohyète 1 200 mm, peut être reculée vers des régions plus humides, même en zone forestière, en raison du progrès considérable des traitements antiparasitaires.

Il faut tenir compte aussi du fait que la plupart des plantes sont douées d'une certaine plasticité et que leurs conditions d'adaptation ne sont pas absolues mais contingentes et dépendent beaucoup de l'interaction des autres facteurs du milieu, en particulier du sol.

9.2.2. Action indirecte du climat par l'intermédiaire du sol.

Deux facteurs importants peuvent intervenir : le site et le microrelief.

a. **Le site.** Les plantes puisent l'eau dans le sol par leurs racines, cette eau peut provenir de l'infiltration des pluies, plus ou moins retenues par le réservoir que constitue le sol. Elle peut provenir également d'une circulation souterraine, qu'il s'agisse d'une nappe ou seulement d'écoulements à courte distance qui se rassemblent en certains points bas.

A part certaines régions particulièrement planes, comprenant les grandes cuvettes deltaïques ou lacustres, le paysage tropical africain est généralement constitué par une succession de plateaux plus ou moins étendus, séparés par vallées de largeur variable, où coulent de petites rivières permanentes ou temporaires. La succession plateau, pente, thalweg, représente la forme la plus courante de relief dont les détails peuvent varier en fonction des types de climat, de roche-mère ou d'hydrographie. Les variations de relief influencent non seulement l'écoulement des eaux mais par voie de conséquence, la nature des sols, et agissent donc doublement sur la répartition des cultures.

En régions sèches.

- **Les sols des zones surélevées** sont souvent, soit cuirassés, soit très sableux ; ils sont donc très sensibles à la sécheresse ainsi qu'à l'érosion éolienne. On ne peut donc y cultiver que des plantes très résistantes à la sécheresse du sol (mil - arachide).
- **Les sols de pente** (qui est souvent assez faible) subissent néanmoins les phénomènes d'érosion hydrique et de ruissellement. Ces sols peuvent être enrichis en sable grossier, ou en gravillons, ou présenter un horizon durci en surface. Les sols protégés contre l'érosion sont de texture moyenne, ils sont souvent très utilisés (coton - sorgho).
- **Les sols de bas de pente** sont généralement de texture plus fine, et sont chimiquement plus riches que les sols de plateau et de pente. Ces sols rassemblent les eaux de ruissellement et sont plus faciles à irriguer, ils permettent la culture de plantes relativement exigeantes en eau et en éléments fertilisants (coton, sorgho, maïs, cultures maraichères). Dans certaines régions, les sols de bas de pente sont sujets à des phénomènes d'alcalisation.
- **Les sols de vallées.** Les vallées sont généralement occupées, sur de vastes surfaces par des sols argileux sauf en bordure des cours d'eau présentant des bourrelets limoneux. La mise en valeur de ces vallées dépend des conditions d'inondation et de drainage ; elle nécessite fréquemment d'importants travaux d'aménagement (rizières).

En régions humides.

- **Les sols de plateau**, en régions humides, sont, lorsqu'ils ne sont pas cuirassés, assez riches en argile et humus ; ils ont une assez bonne capacité de rétention pour l'eau et sont bien drainés. Leur richesse chimique est variable en fonction de la nature de la roche-mère ; lorsqu'elle est assez bonne, ce sont souvent des sols très cultivés (café, plantes vivrières diverses).
- **Les sols de pente**, soumis à une forte érosion, s'enrichissent d'une manière relative en éléments grossiers, graviers et gravillons. Le lessivage oblique s'ajoute au lessivage vertical. Ces sols sont souvent chimiquement pauvres et ils peuvent souffrir du manque d'eau. Bien protégés contre l'érosion, ils peuvent servir à la culture du café, du palmier, de l'hévéa, de plantes vivrières diverses. En régions montagneuses, certains sols rajeunis peuvent être argileux et de profondeur moyenne ; sur roches basiques ils peuvent être très fertiles.
- **Les sols de bas de pente** sont enrichis par colluvionnement. De granulométrie très variable, suivant la nature de la roche-mère, ces colluvions peuvent être limoneux ou sableux. Ces sols ont l'avantage d'être meubles et profonds, et souvent assez humides avec un drainage moyen. Ils permettent la culture de plantes exigeantes en eau et nécessitent seulement un drainage moyen (cacaoyer, bananier, palmier).
- **Les sols de vallées** présentent les mêmes caractéristiques qu'en pays secs, ils ont souvent besoin d'être drainés mais peuvent porter de belles cultures avec engrais (culture du bananier). Toutefois, certaines vallées étroites sont sableuses et peu utilisables.

b. Le microrelief.

Le microrelief qui n'apparaît pas sur les cartes topographiques, est souvent caractéristique de certaines catégories de sols (microrelief gilgai des vertisols). Il peut être dû à l'action des racines des arbres, mais, généralement, les dénivellations qui varient de quelques décimètres à 1 mètre sont provoquées par les mouvements internes du sol, gonflement et retrait, ou par la circulation des eaux souterraines, le travail des animaux et de l'homme. Dans les grandes plaines alluviales (cuvette tchadienne, delta central nigérien), certains types de sol ont un microrelief particulier.

Ce microrelief agit sur la fertilité en provoquant des variations importantes d'humidité du sol à courte distance : excès d'eau dans les points bas, sécheresse dans les points hauts. Certaines cultures sensibles à l'humidité, comme le coton, le riz, sont fortement influencées par le microrelief ; la croissance des plantes est en relation étroite avec les formes du microrelief. Pour effectuer des semis directs ou des semis sous l'eau par avion, un terrain plat de grande étendue est nécessaire ; en terrain varié, le repiquage est indispensable. Pour corriger le microrelief, on pratique la technique du planage qui consiste à décaper les points hauts et à combler les points bas avec une large pelle montée sur un bâti horizontal (« Land plane »).

Ce planage peut amener en surface des horizons situés à 0,20 m ou 0,30 m de profondeur. Dans certains types de sol au profil homogène (sols bruns sub arides, vertisols) ce planage ne provoque pas d'abaissement de fertilité. Dans d'autres types de sol (sols ferrugineux tropicaux lessivés, sols ferrallitiques) un décapage dépassant 10 cm peut provoquer une quasi-stérilité du sol. D'une manière générale, l'opération de planage doit tenir compte de l'épaisseur de l'horizon supérieur humifère.

c. Notation du relief et du microrelief.

D'après DURAND, on peut classer comme suit les différents types de relief (pour les besoins de l'utilisation) :

Relief - buttes	1 — 1	drainage facile
croupes	1 — 2	
levées alluviales	1 — 3	travaux de nivellement pour l'irrigation
bourrelets de berge		
cuvette évasée ou large	2 — 1	drainage très difficile
thalweg		
cuvette nette	2 — 2	drainage très difficile à impossible
cuvette allongée	2 — 3	
pente 1 %	3 — 1	drainage facile
— 1 à 3 %	3 — 2	aménagement nécessaire pour l'irrigation
— 3 %	3 — 3	
irrégulière	3 — 4	

Microrelief 1 uni

- 2 plat
- 3 ondulé ou peu bosselé
- 4 raviné
- 5 Gilgai ou très bosselé

Dans des cartes très précises, il est possible de donner en cm l'importance des dénivellations maximum 10-20-30-40-50, etc.

d. **Modelé des zones ferrallitiques.** Le modelé en zone ferrallitique peut être classé de la manière suivante (B. DABIN).

- relief plat (1) (zones de plateau ou zones d'inondation) ;
- pentes faibles (1') (larges zones planes, larges bas-fonds) ;
- collines aux pentes assez raides séparées par de larges bas-fonds (2 l) ;
- collines aux pentes moyennes séparées par des bas-fonds moyennement larges (2 m) ;

- collines aux pentes assez raides séparées par des bas-fonds étroits (2 c) ;
- collines aux pentes abruptes ou zones montagneuses (3).

Des notations beaucoup plus précises peuvent être données aux différents types de topographies.

Tableau 6 - 1

EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES CULTURES

Plante	Cycle	Besoins en eau et limites de pluviométrie	Ensoleillement	Durée limite de la saison sèche	Résistance à la sécheresse dans le sol	Résistance à l'excès d'eau dans le sol	Divers
Caféier	pérenne	besoins en eau importants $P > 1200$ à 1300 mm répartis sur 8 mois	ensoleillement moyen ombragé dans les régions les plus sèches	inférieure à 4 mois	peu élevée à moyenne suivant les variétés	très faible	zones tropicales zone forestière et soudano-guinéenne
Bananier	pérenne	besoins en eau très élevés $P > 1500$ mm sur plus de 10 mois ou irrigation d'appoint	ensoleillement variable ombrage non indispensable	pas de période sèche sauf avec irrigation	nulle	moyenne ne supporte pas l'inondation	zone forestière ou zone tropicale humide et équatoriale, zones tropicales semi-humides avec irrigation
Palmier à huile	pérenne	besoins en eau très élevés $P > 1500$ mm peut descendre à 1300 dans des conditions édaphiques favorables	ensoleillement faible à moyen pas d'ombrage	inférieure à 4 mois	pouvant être moyenne en raison de l'enracinement profond	moyenne ne supporte pas l'inondation	zones tropicales humides et équatoriales zones forestières ou soudano-guinéennes

Tableau 6-2

EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES CULTURES

Plante	Cycle	Besoins en eau et limites de pluviométrie	Ensoleillement	Durée limite de la saison sèche	Résistance à la sécheresse dans le sol	Résistance à l'excès d'eau dans le sol	Divers
Hévéa	perénne	P > 1600 mm	ensoleillement variable	inférieure à 5 mois	moyenne enracinement profond	peu élevée	zones tropicales humides et équatoriales
Cocotier	perénne	P > 1600 mm parfois inférieur	ensoleillement variable	inférieure à 3 mois	faible	faible sauf en eau salée	zones tropicales humides et équatoriales des régions côtières
Canne à sucre	cycle long 18 mois	besoins en eau élevés pluviométrie variable	ensoleillement assez important	pouvant dépasser 5 mois avec irrigation	moyenne à faible	moyenne	zone tropicale semi-humide à saisons alternées préférables zone soudano-guinéenne
Manioc	cycle long 15 à 18 mois	P > 1100 mm peut végéter jusqu'à 800 mm mais avec des rendements moindres	ensoleillement moyen à faible	4 à 5 mois de saison sèche	assez élevée	très faible	zones tropicales semi-humides et zones tropicales humides soudano-guinéennes et forestières

Tableau 6-3

EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES CULTURES

Plante	Cycle	Besoins en eau et limites de pluviométrie	Ensoleillement	Durée limite de la saison sèche	Résistance à la sécheresse dans le sol	Résistance à l'excès d'eau dans le sol	Divers
Igname	10 à 12 mois	P > 1 000 mm	Ensoleillement moyen	4 à 5 mois de saison sèche	moyenne	moyenne	zones tropicales humides soudano-guinéennes limite forestière
Mais	3 mois	Importants P > 800 mm ou irrigation ou décrue	variable	8 mois	faible	assez élevée	zones tropicales humides ou zones sèches avec irrigation
Coton	4 à 5 mois	P > 600 mm < 1 200 mm ou irrigation d'appoint	important	6 à 8 mois suivant possibilités d'irrigation et variétés	assez bonne	très faible	zone soudano-guinéenne ou soudanienne ou sahélienne avec irrigation
Sorgho	4 mois	P 500 à 1 100 mm	important	6 à 9 mois	bonne	moyenne	zones sahélienne soudanienne soudano-guinéenne
Mil	3 à 4 mois	P 400 à 800 mm	important	8 à 9 mois	très bonne	moyenne	zone sahélienne et soudanienne
Arachide	3 à 4 mois	P 500 à 1 200 mm	important	6 à 9 mois	moyenne	faible	zone soudanienne soudano-guinéenne

9.3. - Les facteurs physiques dans les relations sol-plante.

9.3.1. Le sol réservoir d'eau pour les plantes.

Le sol peut être considéré en tant que réservoir d'eau pour les plantes. L'importance de ce réservoir dépend de la possibilité d'emmagasiner de l'eau (facilité et profondeur d'infiltration) et du pouvoir de rétention pour l'eau. La profondeur est celle de la couche perméable située au-dessus d'un horizon durci ou imperméable. La facilité d'infiltration dépend de la pente (ruissellement) et de la perméabilité intrinsèque du sol. La rétention dépend des propriétés capillaires du sol ou d'une absence d'écoulement en profondeur. En dehors de l'alimentation par les pluies, il faut tenir compte de l'alimentation possible par une nappe, et de la frange de remontée capillaire.

Toutes ces propriétés du sol peuvent être appréciées directement sur le terrain par l'observation détaillée du profil, mais elles doivent fréquemment être précisées par des mesures sur le terrain ou au laboratoire.

a) **Observations de terrain.** Les possibilités d'infiltration ou de rétention d'eau peuvent être appréciées directement par l'observation de la texture, de la structure ou de la porosité des différents horizons. Les couches imperméables ou à mauvais drainage peuvent être décelées par leur compacité ou par la présence de taches de gley ou pseudogley. Certains horizons rendus compacts artificiellement comme les semelles de labour peuvent être surmontés d'un micro-pseudogley, surtout lorsque les matières organiques s'y accumulent. En période de pluie ou sous irrigation, l'humidité des divers horizons peut être appréciée directement aux doigts.

b) **Mesures d'humidité.** La meilleure façon de déterminer la réserve en eau du sol est d'effectuer des mesures d'humidité des divers horizons aux différentes périodes de l'année et d'établir ainsi l'évolution saisonnière du « profil hydrique ».

Des mesures faites par AUDRY (1965) au Tchad ont montré comment ces profils hydriques permettent de rendre compte de la végétation des cotonniers par une certaine constance de l'humidité en profondeur et de larges variations dans les horizons de surface.

Ces différentes humidités doivent être rapportées aux humidités caractéristiques du sol qui sont : l'humidité à saturation ; l'humidité aux champs, l'humidité équivalente, et le point de flétrissement.

La définition de ces différentes humidités a été donnée dans le chapitre 4. En ce qui concerne l'utilisation de ces données pour les besoins de la pratique, le cas des sols tropicaux doit être considéré particulièrement.

Point de flétrissement. La donnée la plus importante et aussi la plus caractéristique est le point de flétrissement, il peut se mesurer au laboratoire par l'humidité du sol à pF 4,2 qui correspond sensiblement à l'humidité réelle au-dessous de laquelle les plantes ne peuvent plus puiser d'eau, et qui est peu variable en fonction des état structuraux du sol, alors que l'humidité aux champs est fortement influencée par ces facteurs.

Les différentes humidités mesurées en place pour établir la variation saisonnière du profil hydrique doivent être comparées au point de flétrissement, ce qui permet d'établir la quantité d'eau disponible aux différentes périodes de l'année.

Ces quantités d'eau disponibles peuvent régler le problème des semis ou même de la végétation des cultures, dans certaines régions à pluviométrie limite. C'est ainsi que l'on peut remarquer dans les régions semi-arides, où la pluviométrie est inférieure à 500 mm, que seuls les sols sableux sont utilisés pour la culture traditionnelle, les sols argileux ne pouvant être cultivés que sous irrigation. En effet, les sols argileux à point de flétrissement trop élevé ne laissent que trop peu d'eau disponible pour les cultures ; par contre en sols sableux, toutes les pluies, même faibles, sont immédiatement disponibles.

Dans les sols très argileux et très humifères de la zone soudano-guinéenne (1 000 à 1 200 mm de pluie), certaines cultures peuvent souffrir du manque d'eau, à des humidités élevées dans le sol, car le point de flétrissement se situe au-dessus de 30 % (exemple : culture du maïs dans les vallées alluviales du Dahomey).

Rétention de l'eau : Dans les pays très humides ou sous irrigation, l'humidité au champ prend une grande importance dans la répartition des cultures.

Cette **humidité aux champs** a donné lieu à de très nombreuses définitions, c'est en principe une humidité assez constante du sol après humectation totale et ressuyage, il ne semble pas possible de la rattacher à une force de succion donnée (pF de 3,5 à 2). Le pF de l'humidité au champ dépend de la texture, de la structure (variable avec le temps), des conditions de tassement, de drainage et d'évaporation. Il est possible cependant, pour des besoins pratiques, en particulier pour l'irrigation, d'utiliser une mesure de succion corrigée par le facteur texture, ou simplement des mesures de terrain effectuées dans des conditions bien définies.

Pour le classement de l'humidité potentielle des sols, il a été établi un indice global tenant compte de la porosité totale, de l'humidité équivalente (pF = 3), du point de flétrissement, ainsi que de la stabilité structurale, cette humidité potentielle a été appelée « **humidité édaphique** ».

Détermination de l'humidité édaphique : La formule de l'humidité édaphique est la suivante :

$$He = \frac{\sqrt{Pu} \times Eu}{St}$$

Pu = porosité utile (humidité à saturation - humidité à pF 4,2)

Eu = eau « utilisable » (humidité à pF 3 - humidité à pF 4,2)

St = indice de stabilité structurale, St est calculé d'après l'indice Is d'instabilité et l'indice K de perméabilité en tubes, selon la technique de HENIN.

Cet indice relatif tient compte des possibilités d'emménagement (Pu), de rétention (Eu) et d'écoulement (St) de l'eau dans le sol ; il représente donc l'eau libre ou faiblement liée ; plus ou moins utilisable suivant le cas.

Cet indice est utile dans le cas des sols à drainage externe correct, et permet de classer les sols en : peu humides, moyennement humides et très humides. Un graphique (Fig. 17) représente les variations de l'humidité édaphique en fonction de la teneur en « argile + limon » et de la matière organique du sol.

Un chiffre inférieur à 0,15 est faible,

un chiffre entre 0,15 et 0,3 représente une humidité moyenne,

un chiffre supérieur à 0,3 représente une humidité élevée, et supérieure à 0,4 une humidité très élevée.

D'une manière générale, l'humidité édaphique augmente avec le taux d'éléments fins mais pour les sols à teneur en « argile + limon » élevée, une teneur convenable en matière organique maintient l'humidité édaphique à une valeur moyenne (0,15 — 0,3). Il semble que les valeurs moyennes de l'humidité édaphique sont les plus convenables pour les cultures, néanmoins les humidités édaphiques faibles peuvent convenir à des plantes résistantes à la sécheresse ou à enracinement très profond dans des régions à forte pluviométrie très bien répartie. Les valeurs élevées de l'humidité édaphique peuvent convenir dans des régions à pluviométrie convenable mais mal répartie ou sous irrigation et pour des plantes résistantes à un excès temporaire d'humidité.

C'est ainsi qu'en Basse Côte-d'Ivoire, sous une pluviométrie de 1 700 à 2 000 mm par an, avec moins de trois mois de saison sèche, les cultures de bananier, palmier, cacaoyer peuvent végéter avec une humidité édaphique de l'ordre de 0,15 à la limite de la zone forestière avec environ 1 400 mm de pluie, ces mêmes cultures nécessitent une humidité édaphique de 0,3 et souvent une irrigation d'appoint. Dans les pays relativement humides, la répartition des cultures est fortement influencée par cette « humidité édaphique » qui tamponne plus ou moins l'irrégularité des pluies, mais elle doit être établie pour les différents horizons du profil, et l'adaptation des cultures doit tenir compte des possibilités d'utilisation du sol par le système racinaire des plantes.

9.3.2. Circulation de l'eau dans le sol.

La circulation de l'eau peut se faire dans le sol de haut en bas, c'est le drainage ; de bas en haut, c'est la « remontée capillaire » ; obliquement, c'est le ruissellement ou l'écoulement dans les horizons supérieurs, ceci dans le cas des eaux de pluie. L'écoulement peut se faire aussi par les nappes, latéralement et avec des phénomènes de balancement vertical selon les saisons.

a) Observations de terrain.

Drainage et remontée. Ces mouvements de l'eau peuvent être appréciés directement sur le terrain en fonction de la pente, du couvert végétal, du tassement superficiel, de la présence de ravines. L'érosion superficielle en nappe peut être décelée par la disparition de certains horizons supérieurs ; l'entraînement de substances solubles ou en suspension provoque des dépôts plus ou moins importants au bas des pentes. L'apport d'eau de ruissellement, la création de mares temporaires est parfaitement visible sur le terrain, même en période sèche.

Le drainage vertical peut s'apprécier sur le terrain grâce à la texture ou à la porosité, par l'état d'oxydation de certains composés (sesquioxydes de fer) ou l'évolution des matières organiques ou le développement des racines et de leur état sanitaire. La présence de certains horizons caractéristiques : horizons B profonds, ou microhorizons B en « raies », l'entraînement de certaines substances, humates ou colloïdes, formant des dépôts ou revêtements, donnent une idée de l'importance du lessivage par drainage.

La remontée peut s'apprécier par des dépôts superficiels salins ou humiques ou carbonatés en surface, mais généralement par la détermination directe de la frange capillaire au-dessus de la nappe.

Ce problème de drainage et de remontée capillaire a une importance considérable pour le développement des plantes.

Profondeur de la nappe : Il est nécessaire en premier lieu de déterminer la profondeur de la nappe phréatique. Une nappe trop profonde, surtout dans les pays peu humides, gêne l'installation des cultures en rendant difficile l'installation des villages et l'arrosage possible sur les pentes. Une nappe trop proche de la surface est un obstacle à l'enracinement de nombreuses cultures.

Action de la profondeur de la nappe sur l'enracinement.

Le problème de la profondeur optimum des nappes est fonction du type de plante (profondeur du système racinaire, et résistance à l'excès d'eau dans le sol).

Les tableaux (p. 168 à 169) des exigences en eau des cultures donnent une idée de la résistance à l'humidité, mais il faut y associer la profondeur du système racinaire donné dans d'autres tableaux (tabl. 189 à 190).

Le bananier et le maïs, par exemple, peuvent végéter avec une nappe assez proche de la surface en raison de la possibilité d'un système racinaire superficiel. La canne à sucre est plus exigeante au point de vue de la profondeur de la nappe, le cacaoyer peut supporter des remontées temporaires de nappe malgré un système racinaire profond. Le caféier ne supporte pas la présence d'une nappe proche de la surface. Cette profondeur de la nappe dépend de la hauteur de la frange capillaire.

La hauteur de la frange capillaire ne correspond pas uniquement à la hauteur maximum de remontée capillaire dans un sol donné, mais aussi à la continuité ou à la discontinuité des films d'eau. Ceux-ci peuvent circuler plus ou moins rapidement ; ils sont lents dans les sols argileux et plus rapides dans les sols limoneux ou sableux fins, ils peuvent être continus ou discontinus ; ils se sectionnent plus facilement dans les sols poreux ou hétérogènes que dans les sols poreux et homogènes.

La remontée pratique, dans les limites d'environ 1 mètre dépend surtout de la continuité ou de la rupture du film d'eau, fonction de la différence entre la vitesse d'évaporation et de la vitesse de circulation des films d'eau de bas en haut. Dans les pays à très forte évaporation, un sol argileux peut se dessécher superficiellement avec une nappe à 0,60 m, un sol humifère semi-tourbeux se dessèche superficiellement avec une nappe inférieure à 0,40 m. Un sol limoneux ou à sable fin ne se dessèche que si la nappe dépasse 1 mètre de profondeur.

Ces phénomènes de remontée peuvent avoir des conséquences favorables ou défavorables suivant les cas.

Dans les sols semi-tourbeux, il faut éviter que la nappe soit à une profondeur inférieure à 0,40 m car la dessiccation superficielle peut être irréversible. Il se crée alors une sorte de mulch

naturel complètement déshydraté qui protège le sol contre l'évaporation, mais il ne faut pas que ce mulch devienne trop épais car il est alors néfaste aux racines. De nombreuses cultures de décrue ou même irriguées sont effectuées ainsi dans des cuvettes alluviales (maïs au Niger) ou des zones deltaïques (maïs dans l'Ouémé, Dahomey, bananier dans l'Agneby, Côte-d'Ivoire) ou des cuvettes lacustres (polders du Tchad, à sorgho-blé).

Si la nappe remonte trop près de la surface (0,20 m), l'horizon supérieur se trouve à l'état de saturation constante et l'évaporation peut provoquer des mouvements continus de remontée avec des dépôts de sels solubles très importants. Dans le cas des sols limoneux ou à sable fin, il suffit d'une nappe à moins de 1 mètre pour provoquer ces remontées permanentes.

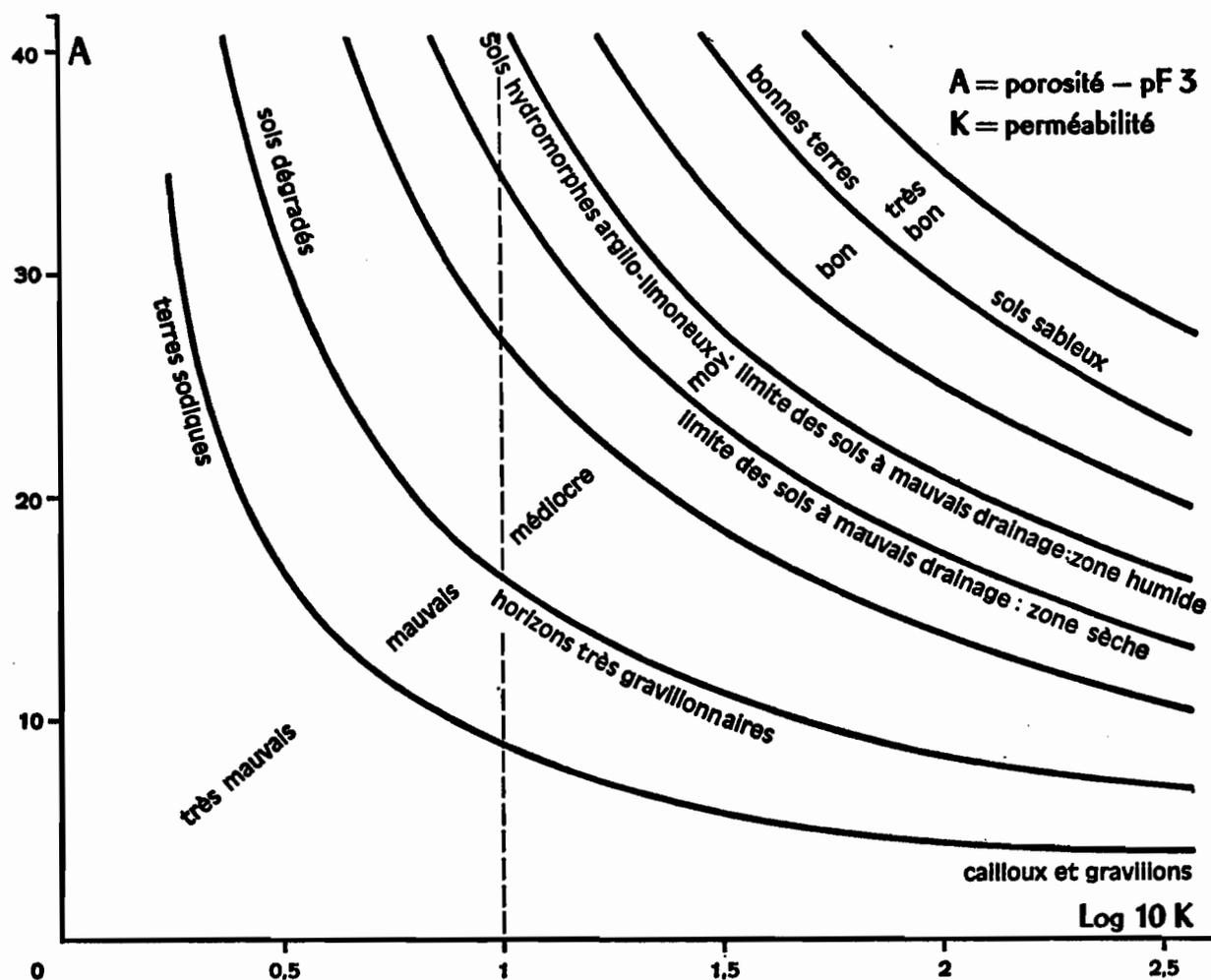


Fig. 18 - L'indice de drainage en fonction de la porosité et de la perméabilité.

On remarque que dans des pays secs, comme le Tchad, ces sols limoneux ou à sable fin des bourrelets alluviaux sont souvent très fortement alcalins (Naga). Un cas particulier en sol de rizière (Delta central nigérien) est l'absence de durcissement superficiel de la surface du sol après vidange, pour permettre le passage d'engins mécaniques de récolte.

En pays humide (Côte-d'Ivoire), les cultures bananières dans ces bas-fonds limoneux nécessitent des travaux de drainage à environ 1 mètre de profondeur pour éviter l'asphyxie des plantes.

b) **Calcul d'un indice de drainage** (Fig. 18). Indépendamment des données morphologiques et des observations directes permettant de juger le drainage et la remontée, il existe de nombreuses mesures de la porosité et de la perméabilité sur le terrain, elles ont été indiquées dans le chapitre 6.

Il a été établi une technique de laboratoire fondée sur les études de stabilité structurale de S. HENIN. La mesure de perméabilité (indice K) est effectuée à saturation dans un tube de verre sur échantillon remanié (tamisé à 2 mm). La terre est tassée sous un excès d'eau, par simple effet de quelques rotations horizontales rapides, puis on mesure la percolation de l'eau pendant une heure sous charge constante.

Pour les sols tropicaux, on rajoute à la terre tamisée les divers graviers et gravillons qu'elle contient. Ceci permet, après tassement maximum, d'obtenir une densité apparente assez proche de celle que l'on peut mesurer sur un sol en place très humide. Connaissant la densité réelle du sol, on peut calculer la porosité à saturation :

$$P \% = 100 \left(1 - \frac{d_a}{d_r} \right)$$

d_a = densité apparente
 d_r = densité réelle.

Si l'on retranche l'humidité à pF 3 (calculé en volume %) de la porosité totale on obtient la valeur A qui peut être appelée **capacité pour l'air** ; c'est un chiffre conventionnel mais dont la mesure est reproductible.

$$A \% = P \% - pF 3$$

Dans un type de sol à mauvais drainage (par exemple vertisol lithomorphe du Togo), on a pu établir une corrélation entre la valeur de A et le rendement en coton. Par contre, dans des types de sol différents en Côte-d'Ivoire où la nappe phréatique est peu profonde, il n'existe pas de corrélation entre la valeur de A et le rendement de banane. Il existe toutefois une très bonne corrélation lorsqu'on multiplie la capacité pour l'air par le logarithme de l'indice de perméabilité : $A \times \text{Log } 10 K$. Ce produit a été appelé **indice de drainage ou indice de ressuyage**. La corrélation avec les rendements est meilleure que celle des composantes employées seules.

Exemple : quelques résultats de culture de bananier en Côte-d'Ivoire :

	A %	Log. 10 K	Ind. de ressuyage $A \times \text{Log } 10 K$
Tourbe peu évoluée en terrain mal drainé ; rendement très mauvais	41	0,47	19
Tourbe cultivée depuis 22 ans ; rendement très bon.	42	2,17	91
Sol alluvial argileux ; rendement médiocre	31,6	1,42	44
Sol alluvial sablo-argileux ; rendement bon	42,3	1,55	66

Les deux premiers sols ont des capacités pour l'air identiques mais des indices de perméabilité différents. Les deux sols suivants ont des indices de perméabilité voisins mais des capacités pour l'air différentes. L'indice de ressuyage reflète bien des différences de rendement.

Même avec des indices de perméabilité relativement élevés, certains vertisols argileux ont des rendements très médiocres en raison d'une faible capacité pour l'air ainsi que l'indiquent les valeurs suivantes : $A = 26,04$, $\text{Log. } 10 K = 1,6$, Ind. ressuyage 41. Mais, dans les mêmes sols bien travaillés et bien fumés, la valeur de A peut atteindre 36 % et le rendement augmente considérablement.

Le travail du sol peut permettre l'amélioration de l'indice de drainage en augmentant la valeur de A sur le terrain. La valeur de M mesurée au laboratoire est une valeur minimum d'équilibre.

Normes d'interprétation pour l'indice de drainage. Cet indice a été établi pour de nombreux sols et a permis le classement suivant :

supérieur à 70	exceptionnel
60-70	très bon
50-60	bon
40-50	moyen
35-40	médiocre à mauvais
inférieur à 35	mauvais

Représentation graphique (Fig. 18). Le graphique joint permet un classement plus précis par zone, en portant en abscisse le $\text{Log. } 10 K$ et en ordonnée la valeur de A, les sols ayant un même

indice de drainage se trouvent sur une même branche d'hyperbole ; néanmoins, les sols relativement argileux ou humifères ont une valeur de A élevée et une valeur de Log. 10 K faible alors que les sols sableux ou graveleux ou gravillonnaires ont une valeur A très faible et une valeur Log. 10 K très élevée.

Dans la plupart des sols tropicaux, l'indice de drainage diminue de la surface vers la profondeur en même temps que la disparition de l'humus. Il est souvent limite et inférieur à 40 dans les sols hydromorphes argilo-limoneux, il est inférieur à 20 dans les sols dégradés par la culture et l'érosion, à 10 dans les terres sodiques ou très caillouteuses.

9.3.3. La structure du sol.

9.3.3.1. - L'étude de la structure sur le terrain

Définition de la structure. La structure du sol a été jugée d'une telle importance dans toutes les études de sol qu'elle a fait l'objet de nombreuses codifications. C'est un des éléments essentiels de la caractérisation des profils, la définition des différents horizons doit être accompagnée d'une description détaillée de la structure (cf. chapitre 4).

Cette structure a un sens pédogénétique,, elle peut marquer l'évolution d'un horizon, le lessivage, l'accumulation, la dégradation ; certaines structures particulières (structures en colonnes arrondies au sommet, dans les solonetz solodisés) sont spécifiques de certains types d'évolution. Du point de vue fertilité, la structure agit en tant qu'architecture de la couche de sol où s'enfoncent les racines et où circulent l'eau et l'air. Les systèmes de fentes, les cavités diverses, les cailloux ou blocs et enfin les divers éléments structuraux simples ou composés et leur assemblage représentent la structure prise au sens large. En fait, tout ce qui peut concourir au passage des racines ou des fluides ou au contraire lui faire obstacle peut être considéré comme relevant de la structure.

Au sens restreint, la structure représente un arrangement de particules minérales provenant de la destruction des roches ou de dépôts divers, par concentration en petites unités séparées sous l'influence prépondérante des matières organiques. L'évolution de la structure sous l'influence de l'action biologique va vers la formation d'agrégats complexes de mieux en mieux individualisés.

La destruction de la structure va au contraire vers la séparation des éléments particuliers et leur simple juxtaposition en masse. Entre les deux extrêmes existe toute une série d'intermédiaires avec des assemblages de formes et de dimensions variables.

L'importance de la structure réside aussi dans le fait qu'elle indique non seulement un certain état d'ameublissement du sol, une certaine porosité, une aptitude plus ou moins grande au drainage, à l'aération, au travail du sol, ou à la pénétration du système racinaire, mais elle indique également un degré de fertilité générale.

Les éléments qui par leur interaction concourent à la formation d'une structure de type « évolué » sont ceux dont l'influence sur la fertilité est prépondérante, en particulier la richesse en humus et la richesse en cations basiques, en particulier en calcium. Dans un même profil, la dégradation de la structure, de la surface vers la profondeur est, en grande partie, liée à la diminution progressive ou brutale du taux d'humus et aussi à certaines variations du taux de calcium. Par exemple, dans un sol argileux, la structure peut être grumeleuse en surface s'il est humifère, puis devenir progressivement polyédrique de plus en plus grossière et même prismatique en profondeur.

La présence permanente de l'eau en excès ne permet pas à la structure de bien s'individualiser même si elle existe à l'état latent. L'ion sodium est également un facteur de destruction de la structure ; son élimination du complexe, au moins partiellement, est une nécessité pour obtenir une bonne structure.

Le classement des structures au point de vue de la fertilité des sols dépend beaucoup de la **texture** ; en effet, les textures se classent différemment en ce qui concerne la fertilité ; les textures moyennes étant les plus favorables et les textures extrêmes les plus défavorables.

Classement des textures et action sur la fertilité. D'après DURAND, l'action de la texture peut s'évaluer comme suit :

Limite des Textures Simplifiées ———

Limite des Textures - - - - -

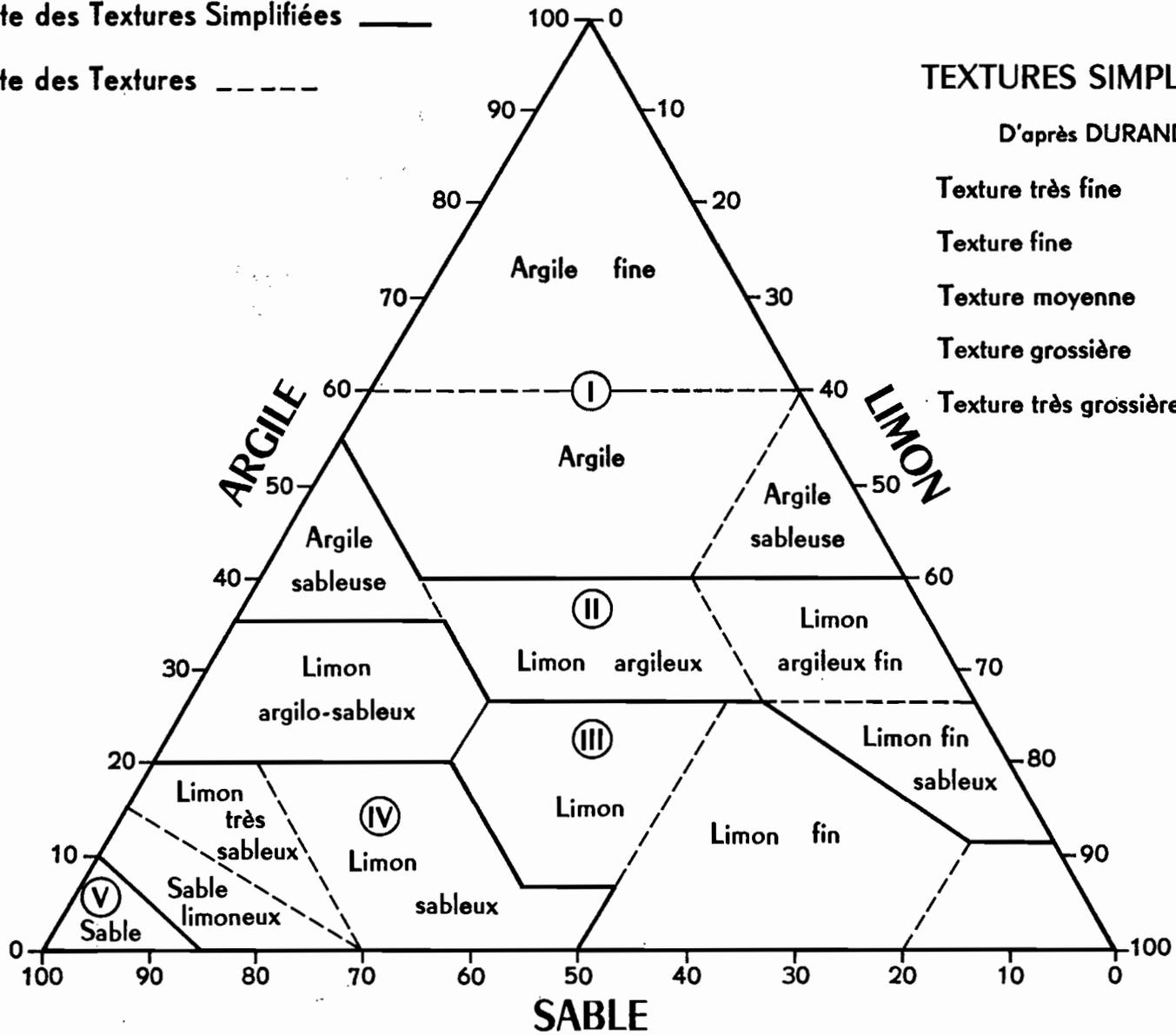
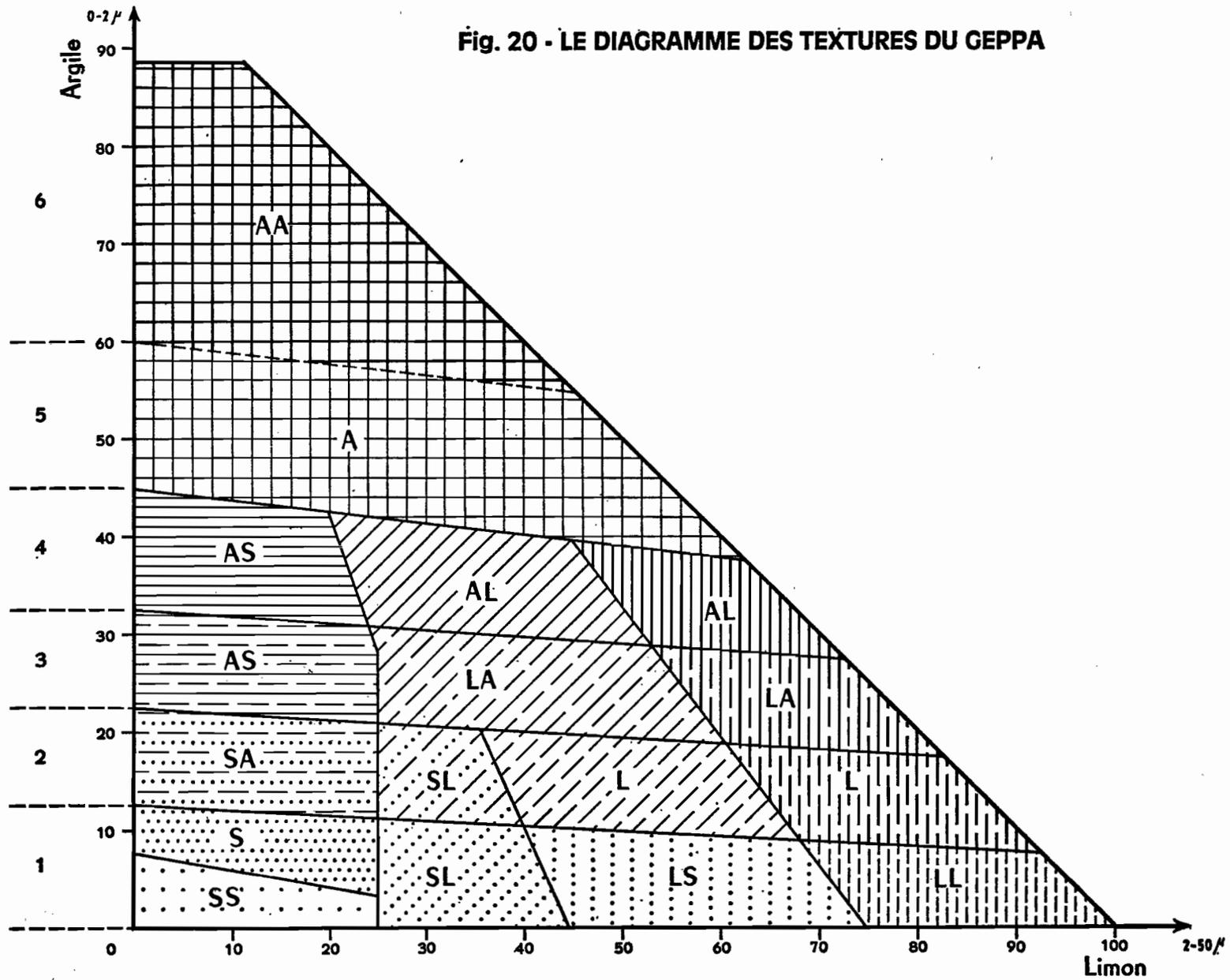


Fig. 19 - Le diagramme des textures d'après DURAND.

Fig. 20 - LE DIAGRAMME DES TEXTURES DU GEPPA



- I Texture très fine (argilo-limoneux) 30 à 60 % de la fertilité maximum.
 II Texture fine (argilo-sableux, limon argileux) 80 %
 III Texture moyenne (limoneux, limon sableux fin ou sablo-argileux) 100 %
 IV Texture grossière (limon sableux, sable limoneux) 80 %
 V Texture très grossière (sables) 50 %

DURAND se réfère à un triangle des textures montrant la classification simplifiée en 5 classes (Fig. 19). Le triangle simplifié des textures du GEPPA est également présenté (Fig. 20). Cette texture est largement corrigée par la structure. L'action de la texture sur la fertilité peut être variable suivant le climat.

Le tableau (N° 7), indique les incidences de la texture sur la structure et la fertilité (B. DABIN).

Tableau 7

CORRESPONDANCE ENTRE LA TEXTURE, LA STRUCTURE ET LA FERTILITE (SOLS D'AFRIQUE OCCIDENTALE)

Action de la structure sur la fertilité		Indice de structure	Argileux argilo-limoneux	Argilo-sableux	Limon-argileux	Limoneux ou sablo-argileux	Limon-sableux	Sableux
en profondeur	en surface							
			grenue	grenue	grenue à grumeleuse	grumeleuse		
	très bon	1 600 à 1 900	grumeleuse	grumeleuse	grumeleuse	grumeleuse		
	bon	1 300 à 1 600	polyédrique fine	polyédrique fine	grumeleuse peu individualisée ou agglomérée	grumeleuse peu individualisée	grumeleuse peu individualisée	
bon	moyen	1 100 à 1 300	polyédrique moyenne	polyédrique moyenne	fondue à tendance polyédrique	fondue assez meuble	fondue très meuble	grumeleuse
moyen	médiocre	800 à 1 100	polyédrique grossière	polyédrique grossière tendance compacte	compacte	fondue assez compacte	fondue peu compacte	particulaire liée
médiocre	mauvais	500 à 800	polyédrique très grossière	compacte	très compacte	compacte	assez compacte	particulaire fine
mauvais	très mauvais	200 à 500	prismatique ou colonnaire ou compacte	très compacte	très compacte	très compacte	très compacte ou pulvérulente	particulaire grossière

Ce tableau donne (pour chaque texture) des indications conventionnelles sur les assemblages structuraux, avec des correspondances concernant la fertilité en surface et en profondeur et les indices de structure calculés. Ce tableau peut être sujet à discussion, car les indications sont simplifiées et font référence à l'aspect, à la dimension ou à la cohésion des structures. Par exemple, la structure **grumeleuse** représente des grains plus petits et moins réguliers que la structure **grenue**, mais néanmoins arrondis. Lorsque ces petits grains irréguliers ne se détachent pas bien les uns des autres ou sont collés plus ou moins fortement, c'est la structure **grumeleuse peu individualisée ou agglomérée**. **Structure polyédrique** signifie forme anguleuse, les grains les plus petits représentent les structures les meilleures (polyédrique fine), les éléments les plus gros signifiant les structures les moins bonnes (polyédrique grossière, prismatique).

Lorsqu'on arrive à l'absence d'éléments individualisés, on utilise le terme « **fondu** ». Au point de vue fertilité, il est nécessaire alors de compléter par une évaluation de la cohésion de la masse qui se brise plus ou moins facilement entre les doigts. Par exemple : **Fondu assez meuble**, signifie une masse sans éléments individualisés mais qui s'écrase facilement sous les doigts à l'état sec ; **compact**

ou très compact indique également des structures fondues mais qui sont difficiles ou mêmes impossibles à écraser entre les doigts.

Dans ce tableau, il est possible de constater que pour un même niveau de fertilité, les textures extrêmes présentent une structure plus « évoluée » que les textures moyennes. Relation entre structure physique et richesse chimique. Ce niveau de fertilité « physique » est corrélatif du niveau de fertilité « chimique », surtout en ce qui concerne quelques-uns des facteurs essentiels de la fertilité chimique, matière organique et pH.

Un sol argileux à structure grumeleuse, indique en général un sol assez riche en matière organique et en bases. Un sol limoneux à structure battante indique une richesse chimique médiocre ; pour cette même texture, un sol meuble est plus riche, et un sol compact est plus pauvre. En ce qui concerne les sols sableux, ils sont d'autant plus pauvres qu'ils ont une structure particulière plus grossière. Cette corrélation entre la richesse chimique et la structure peut être fortement perturbée lorsque l'ion sodium intervient, des sols chimiquement riches peuvent avoir une structure fortement dégradée par l'action de cet ion.

Structure des horizons de profondeur ; interprétation du profil.

Dans les horizons de profondeur, les structures peuvent être plus médiocres que dans les horizons de surface (pour une même fertilité).

Il est possible d'intégrer les coefficients de texture des différents horizons d'un profil pour obtenir une texture moyenne, la même opération peut être faite sans doute pour la structure. Néanmoins, il est indispensable de considérer séparément les structures des divers horizons dans la mesure où ceux-ci peuvent constituer des facteurs limitants à la pénétration des racines.

Par conséquent, les études de terrain sont essentielles dans l'évaluation de la structure car elles permettent seules de porter un jugement d'ensemble sur la qualité du profil :

L'observation détaillée à chaque niveau des discontinuités structurales ou texturales et du comportement correspondant des racines est appelée par HENIN « profil cultural ». Ce profil cultural peut se confondre, dans certains cas, avec le profil pédologique, mais dans d'autres cas, il comporte des discontinuités artificielles dues à l'action de l'homme. Le travail du sol crée un ameublissement superficiel ou profond dans le cas du sous-solage. Il peut produire également des tassements superficiels ou à faible profondeur ; c'est la « semelle de labour ». Cette semelle de labour peut avoir une très grande importance dans la pénétration des racines, et il est nécessaire de la localiser.

9.3.3.2. - Evaluation chiffrée de la structure. Calcul d'un indice de structure.

L'appréciation à la vue et au toucher ne permet pas toujours de chiffrer exactement la qualité de la structure. Cette qualité de la structure peut correspondre à l'état structural à un moment donné mais elle dépend surtout de propriétés intrinsèques au sol qui sont : la stabilité structurale et la distribution de la porosité.

La **stabilité structurale** a été mesurée par de nombreuses méthodes. L'une des plus utilisées par les pédologues français est celle de HENIN qui détermine la stabilité des agrégats de 2 mm par tamisage sous l'eau. Les deux principales mesures sont : pourcentage d'agrégats stables de diamètre supérieur à 0,2 mm et pourcentage d'éléments fins passant en suspension.

La formule est la suivante :

$$I_s = \frac{(A + L) \%}{\text{Agr. air} + \text{Agr. Alcool} + \text{Agr. Benzène} - 0,9 \text{ sable grossier}}$$

3

Agrégats : air, alcool et benzène indiquent les différents prétraitements qui ont été effectués sur le sol avant le tamisage sous l'eau.

A + L : indique la dispersion maximum en (argile + limon) obtenue au cours des divers prétraitements.

Is : porte le nom d'**Indice d'Instabilité** car il est d'autant plus élevé que le sol est instable. Les sols de bonne stabilité ont généralement une valeur Is inférieure à 1.

L'**indice de perméabilité K** (en cm par heure), mesuré dans les tubes de verre, complète l'indice d'instabilité. Il existe une relation linéaire entre Log. 10 Is et Log. 10 K. La perméabilité diminue lorsque Is augmente et inversement.

Il est possible de rassembler les deux indices en une formule unique appelée stabilité structurale.

$$St = 20 (2,5 + \text{Log. } 10 K - 0,837 \text{ Log. } 10 Is).$$

St varie de 0 à 100. Les valeurs bonnes de la stabilité structurale se situent au-dessus de 80, les valeurs moyennes vers 50 - 60, les valeurs mauvaises au-dessous de 30.

Indice de structure.

En réalité, si dans un sol donné, la qualité de la structure varie dans le même sens que la stabilité structurale, par contre dans des sols différents, chaque valeur de stabilité structurale peut correspondre à des fertilités très variées. En particulier, des sols sableux peu fertiles peuvent avoir des stabilités structurales très élevées (90 - 100). En revanche, des sols argileux fertiles peuvent avoir des stabilités structurales plus faibles.

Pour une même stabilité structurale, la fertilité du sol augmente avec la capacité de rétention pour l'eau. Pour chiffrer globalement la qualité de la structure, il a été établi un indice qui est le suivant :

$$\text{Indice de structure} : St \times \sqrt{Pu \times Eu}$$

St = Stabilité structurale

Pu = Porosité utile = humidité à saturation — humidité à pF 4,2 (porosité totale - pF 4,2)

Eu = Eau utile = humidité à pF3 — humidité à pF 4,2 (en volume)

Cet indice a été calculé pour de nombreux sols, les chiffres obtenus peuvent être interprétés comme suit :

exceptionnel sup.	à 1900
très bon	1600 à 1900
bon	1300 à 1600
moyen	1100 à 1300
médiocre	800 à 1100
mauvais	inf. à 800

Représentation graphique de l'indice de structure (Fig. 21).

Sur un graphique portant en abscisse St et en ordonnée $\sqrt{Pu \times Eu}$, les sols de même qualité structurale se situent sur une même branche d'hyperbole.

Suivant leur position sur le graphique, les points se distinguent par une humidité édaphique.

$$He = \frac{\sqrt{Pu \times Eu}}{St}$$

Exemples. Un très bon sol argileux et humifère, bien drainé, sur roche basique, aura un indice de structure de 2000 avec $St = 100$ et $\sqrt{Pu \times Eu} = 20$. L'humidité édaphique sera $\frac{20}{100} = 0,2$ moyenne.

Pour un sol hydromorphe de fertilité comparable, argileux et humifère, l'indice de structure sera le même 2000 avec $St = 50$ et $\sqrt{Pu \times Eu} = 40$.

L'humidité édaphique sera alors $\frac{40}{50} = 0,8$ (très élevée).

Sols ferrugineux tropicaux lessivés. Très bon rendement en coton (3 000 kg par ha). $St = 68$. Indice de structure $1700 \sqrt{Pu \times Eu} = 25$. L'humidité édaphique = 0,37.

Sol dégradé par la culture et l'érosion. Rendement en coton très bas. $St = 52$. Indice de structure 620 et $\sqrt{Pu \times Eu} = 12$. Humidité édaphique 0,23.

Sol ferrallitique typique (sol rouge sur schistes et granite). Rendement moyen à bon en banane (14 tonnes/ha). $St = 70$. Indice de structure 1400 et $\sqrt{Pu \times Eu} = 20$. Humidité édaphique 0,29.

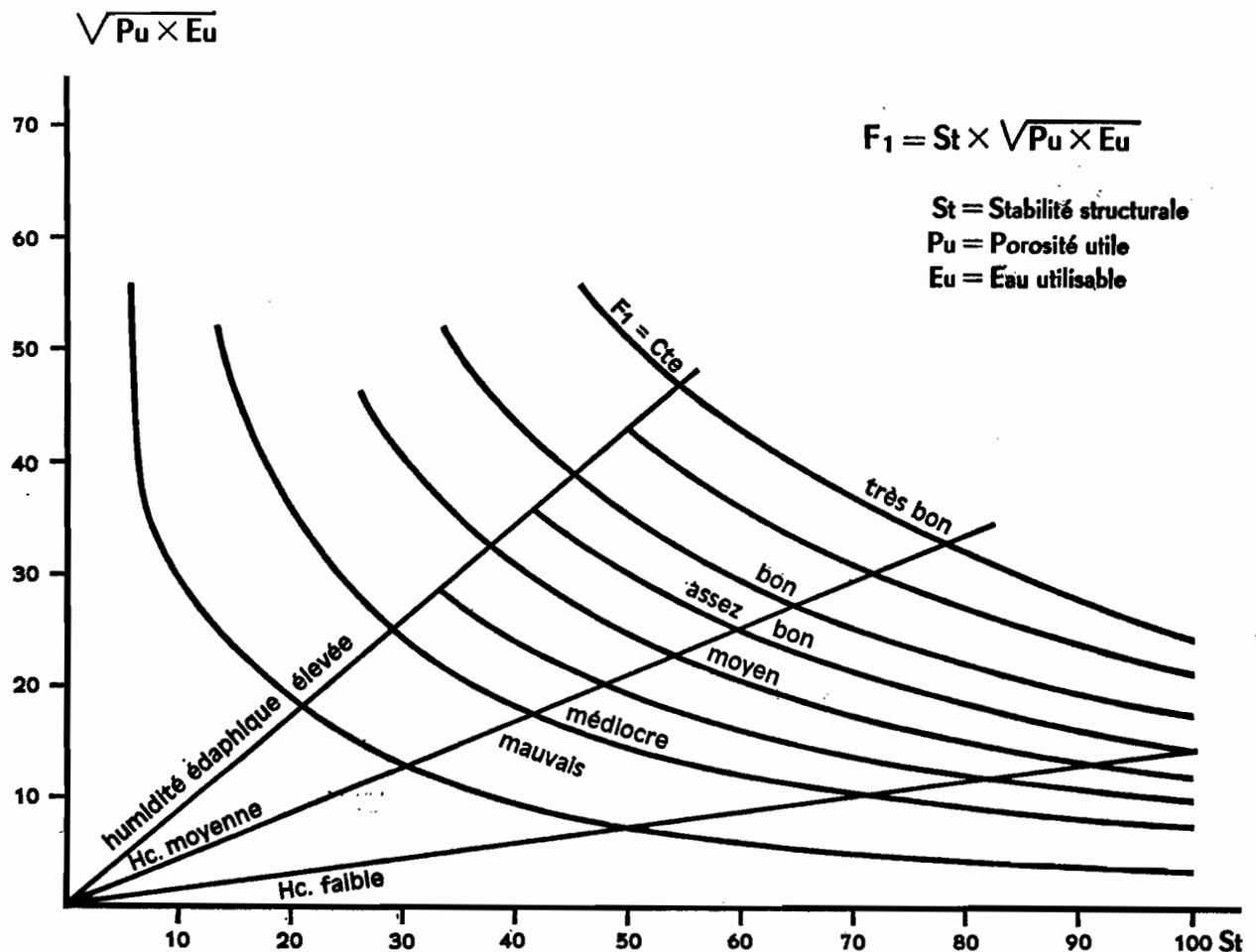


Fig. 21 - L'indice de structure en fonction de la matière organique et de la somme argile + limon.

Sol ferrallitique très dégradé (sur schistes et granite). Vieille bananeraie 3 à 4 tonnes/ha (mauvaise). $St = 45$. Indice de structure 550 et $\sqrt{Pu \times Eu} = 12$. Humidité édaphique 0,27.

Vieille cacaoyère médiocre (500 kg/ha). $St = 60$. Indice de structure 960 et $\sqrt{Pu \times Eu} = 16$. Humidité édaphique 0,27.

Sol ferrallitique très lessivé sur sable.

Fertilité bonne (cacao 1 200 kg/ha). $St = 100$. Indice de structure 1600 et $\sqrt{Pu \times Eu} = 16$. Humidité édaphique 0,16.

Sol ferrallitique très dégradé sur sable.

Fertilité mauvaise (cacao 160 kg/ha) $St = 70$. Indice de structure 700 et $\sqrt{Pu \times Eu} = 10$. Humidité édaphique 0,15.

Une relation statistique a pu être établie pour différents sols et différentes cultures entre l'indice de structure et les rendements. Les coefficients de corrélation sont meilleurs pour l'indice global que pour les différentes composantes prises séparément.

Éléments agissant sur l'indice de structure.

La **matière organique** est le principal facteur (Fig. 22), elle doit être bien décomposée, ce qui est le cas de la plupart des sols tropicaux.

Dans certaines tourbes, les teneurs en matière organique sont élevées, mais des matières organiques très grossières ne donnent que de faibles indices de structure. Dans les tourbes grossières, la teneur en eau utilisable est à peu près nulle. Lorsque les tourbes évoluent, la matière organique se transforme en humus et l'eau utilisable croît rapidement ainsi que l'indice St . Les tourbes évoluées ont de très bons indices de structure.

Argile + Limon. La fig. 22 représente les variations d'indice de structure en fonction de la teneur « argile + limon » dans les sols ferrallitiques. Plus les sols sont riches en éléments fins et plus ils nécessitent de fortes teneurs en matière organique pour obtenir une bonne structure.

En profondeur, dans les sols ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux lessivés, il n'y a que très peu de matière organique, par contre, la teneur relative en éléments fins (argile + limon) et en éléments grossiers (graviers, gravillons) joue un grand rôle dans la valeur de l'indice de structure (Fig. 23).

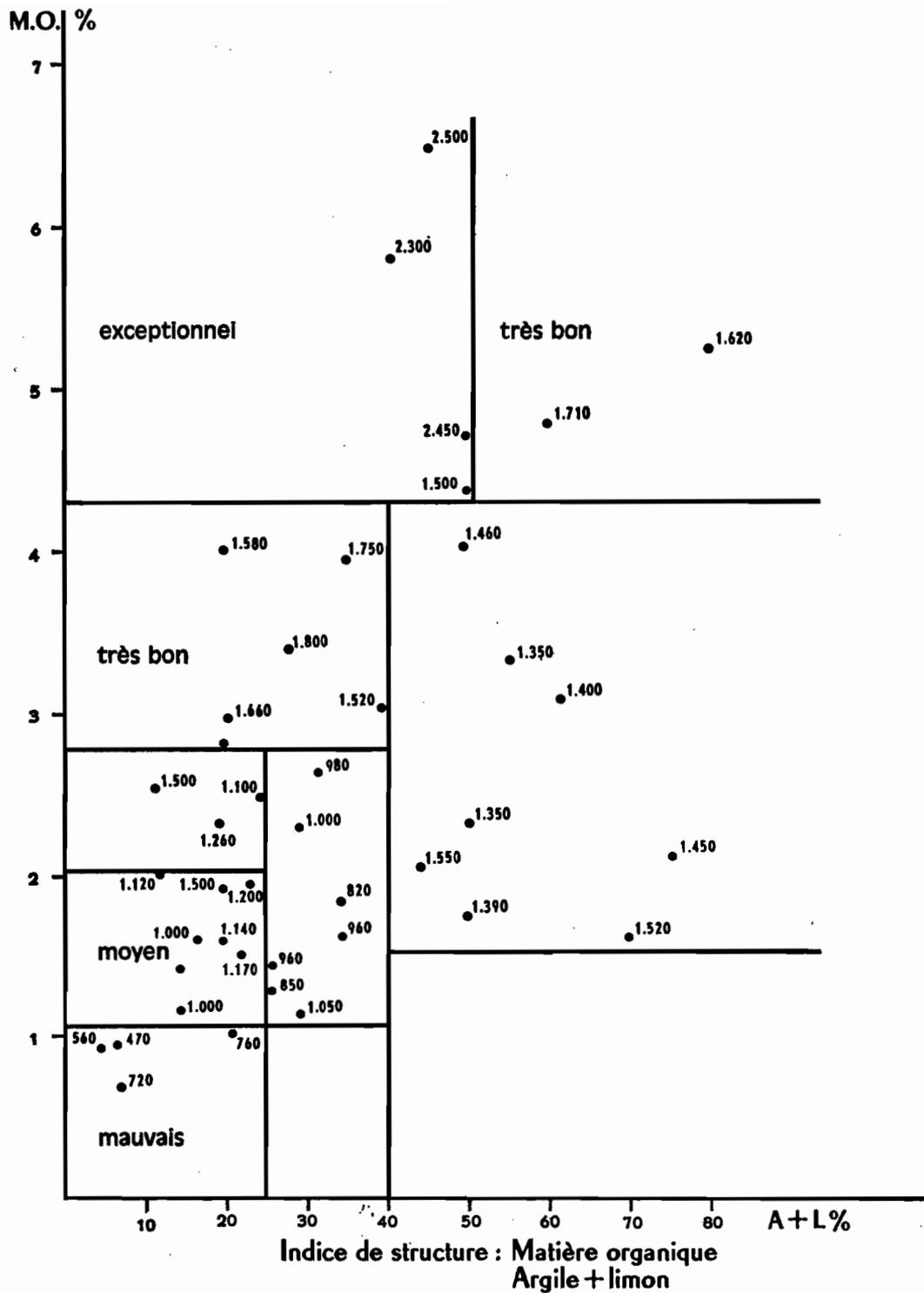
La matière organique et les éléments fins agissent surtout sur la répartition de la porosité et la rétention de l'eau ($\sqrt{Pu \times Eu}$ et A).

Bases échangeables. La valeur de St (stabilité) est largement conditionnée par la teneur en calcium et en magnésium du sol. Le rapport $\frac{Ca + Mg}{T}$ (où T est la capacité d'échange), a une action importante sur la valeur de St des sols très argileux et peu humifères. Certains vertisols peuvent être bien structurés en surface en raison de leur richesse en ion calcium). Par contre, le sodium, (en particulier le rapport $\frac{Na}{Ca + Mg}$) peut avoir une action très néfaste sur St . Cette action néfaste commence aux basses teneurs, 2 à 5 % ; elle est très importante au-delà de 10 %.

Conclusion. Les meilleurs indices de structures sont observés : soit dans certains sols alluviaux argileux et humifères (4 à 8 % de matière organique), soit dans des sols sur roches basiques, faiblement ferrallitiques ou bruns eutrophes (3 à 6 % de matière organique). La différence réside dans le fait que l'humidité édaphique est toujours plus élevée dans les sols hydromorphes que dans les sols ferrallitiques ou bruns eutrophes. Pour tous ces sols, l'indice de structure décroît toujours de la surface vers la profondeur avec la disparition de la matière organique.

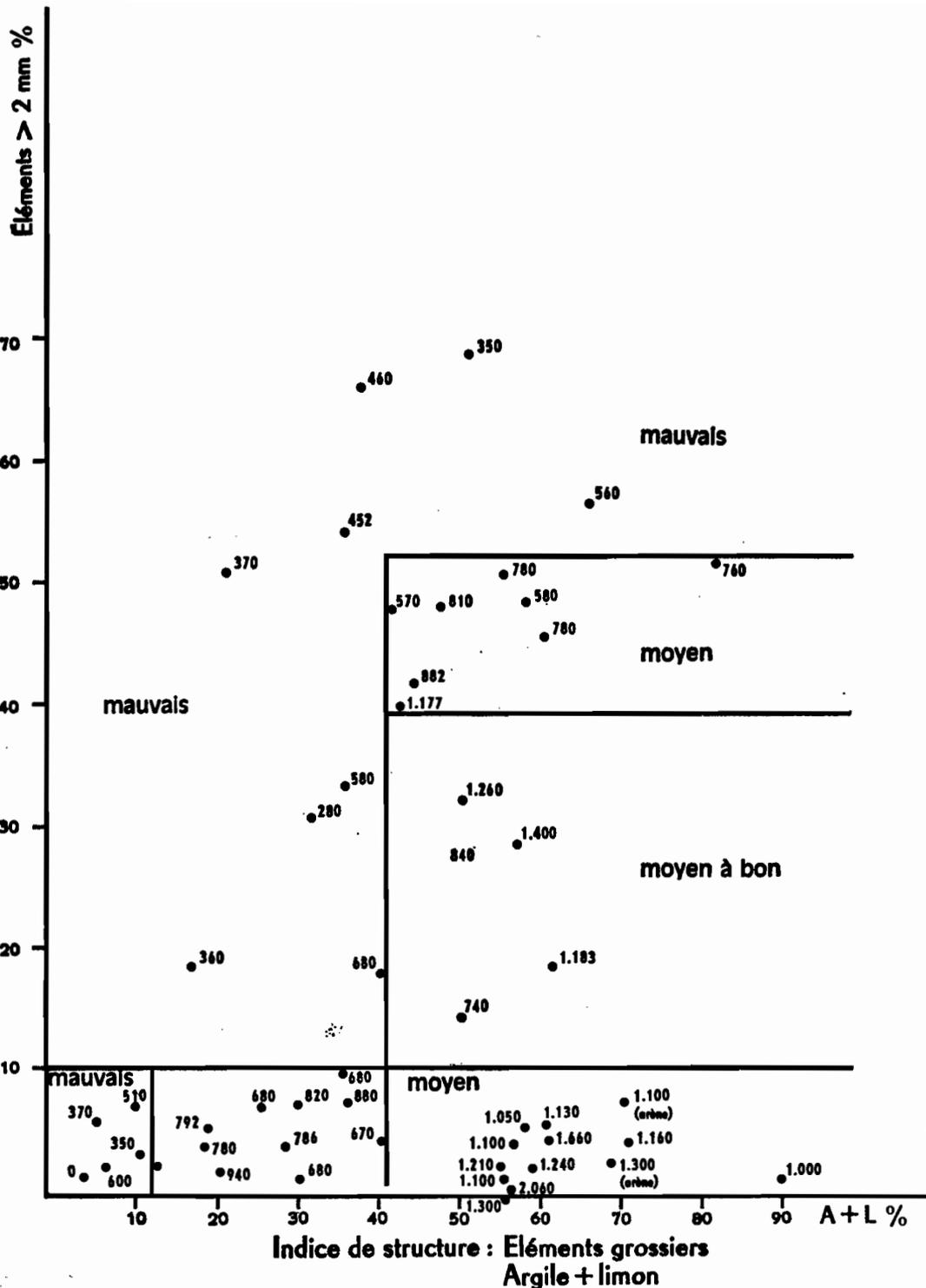
Lorsque la matière organique décroît en surface sous l'influence de la culture et de l'érosion, l'indice de structure s'abaisse considérablement.

Les indices de structure bas ont été observés dans des sols de savane dégradés, quelle que soit leur richesse en argile. Néanmoins, parmi ces sols, les plus sableux sont les plus pauvres, ainsi que ceux riches en graviers. Enfin, les terres sodiques (sols à alcalis) ont des indices de structure très bas, la porosité utile et surtout la rétention d'eau peuvent être très élevées, mais la stabilité structurale est quasiment nulle. La capacité pour l'air est également très basse.



Horizons de surface non gravillonnaires

Fig. 22 - L'indice de structure en fonction de la matière organique, de la somme argile + limon dans des horizons de surface non gravillonnaire.



Horizons de profondeur Mo < 1 %

Fig. 23 - L'Indice de structure en fonction des éléments grossiers et de la somme argile + limon dans les horizons de profondeur.

9.3.3.3. - Structure et travail du sol.

Lorsque le sol atteint un état d'équilibre fonction de sa granulométrie, de sa richesse chimique et de l'action de certains agents extérieurs, comme la pluie, il peut exister une bonne corrélation entre l'état structural et la nature intrinsèque du sol. L'homme par son travail peut modifier cet état structural en augmentant par exemple la valeur de la porosité par le labour ; le sol tendra plus ou moins rapidement à retrouver son état initial, compte tenu de la stabilité structurale et de l'intensité des actions de destruction auxquelles il sera soumis.

Aucune des caractéristiques indiquées ci-dessus n'est absolue, toutes les plantes jouissent d'une certaine plasticité et leur réussite dépend d'un ensemble de facteurs qui réagissent les uns sur les autres avec des possibilités de compensation (climat, richesse chimique, porosité, profondeur). Néanmoins, le tableau 8 ainsi que le précédent, permettent un classement des cultures au point de vue de leurs exigences physiques minima et peut guider leur adaptation à des milieux divers ; Le cas du riz est particulier ; c'est une plante inondée qui préfère les sols à texture fine, et à structure compacte au moins à faible profondeur.

L'expérience montre que certains sols à structure assez mauvaise peuvent néanmoins être cultivés avec succès après l'action d'un labour ou d'un sous-solage. C'est le cas de certains sols bruns sub arides argileux, ou de vertisols, ou de certains sols alcalisés, en particulier pour la culture cotonnière.

Exemples : sols « Dian » du Delta Central Nigérien (bruns arides), « Hardés » du Nord-Cameroun (Solonetz solodisés), Terres noires du Togo (vertisols).

Le labour de ces sols permet la pénétration des racines et de l'eau, et par voie de conséquence un phénomène de gonflement et de retrait qui provoque l'apparition de fentes sectionnant l'édifice compact existant naturellement. Une précaution essentielle est d'éviter l'excès d'eau sur ces sols qui ont alors vite fait de s'effondrer et de se refermer. Un inconvénient est la trop grande énergie mécanique à déployer pour leur travail en saison sèche, ainsi que leur état boueux en saison des pluies, mais la culture peut les améliorer à la longue, en facilitant l'élimination de l'ion sodium qui les rend instables (les amendements calcaires accélèrent cette amélioration ainsi que les matières organiques).

De même dans les sols hydromorphes, le travail crée un état structural qui n'existait pas naturellement.

Dans les régions humides, le travail du sol devient de plus en plus délicat en raison de la diminution d'épaisseur de l'horizon humifère superficiel. Dans les sols ferrugineux tropicaux, ce travail est encore possible sur environ 15 cm avec nécessité de rompre la semelle de labour ou d'empêcher sa formation par l'enfouissement de fumier ou de matières organiques diverses.

Dans les sols ferrallitiques, le labour ne peut plus être que très superficiel (5 cm) car les horizons immédiatement sous-jacents sont souvent presque stériles (très peu de matière organique et forte acidité) dans l'établissement de plantations arbustives sous forêt, il est même préférable de ne pas toucher du tout à la surface du sol. L'enfouissement des matières organiques doit se faire par des pulvérisages légers ou des systèmes mélangeurs comme les « rotavators ».

L'indice de structure reste donc surtout un moyen pratique de classement des sols. Il permet de prévoir l'importance des techniques d'amélioration à mettre en œuvre, et également de mesurer l'action de ces améliorations sur la structure intrinsèque du sol.

9.3.3.4. - Structure et profondeur d'enracinement.

En ce qui concerne l'utilisation au sol par les plantes, il faut tenir compte de leur système racinaire. Un horizon très compact ou caillouteux, ou trop humide à faible profondeur peut constituer un obstacle plus ou moins important suivant le cas. Pour une même fertilité, l'épaisseur de la couche explorée peut dépendre également de sa richesse chimique ou de sa capacité de rétention d'eau.

Il est donné ici quelques indications complémentaires pour les cultures déjà signalées précédemment.

Tableau 8

PROFONDEUR D'ENRACINEMENT
TEXTURE ET-SUTRUCTURE DES DIFFERENTES CULTURES (1)

Culture	Système racinaire	Profondeur minimum du sol utilisable	Eléments grossiers maximum	Texture	Structure	Observations
Caféier	fascicule à pivot très court	0,70 m	40 à 50 % de gravillons en sol argilo-sableux entre 0,30 m et 0,80 m	moyenne sablo-argileuse ou argilo-sableuse préférable en surface	grumeleuse à polyédrique fine en surface, polyédrique nette en profondeur	soils de coteaux bien drainés
Cacaoyer	plante à pivot profond et système superficiel	plus de 1 m utilisable	30 % de gravillons en sols argilo-sableux en climat humide, 10 % en climat limite	plutôt fine dépend de la pluviométrie	bonne en surface peut être fondue en profondeur	soils de bas de pente ou de plateau à bonne rétention
Bananier	rhizome à faible profondeur enracinement variable	au moins 0,3 m davantage si possible	gravillonnement indifférent au-dessous de 0,30 m ou nappe entre 0,40 et 1 m	moyenne à fine limoneux sablo-argileux argilo-organique	très bonne en surface grumeleuse porosité élevée	soils de bas de pente ou de bas-fonds drainés plateaux avec arrosage.

Tableau 8

PROFONDEUR D'ENRACINEMENT
TEXTURE ET STRUCTURE DES DIFFRENTS CULTURES (2)

Culture	Système racinaire	Profondeur minimum du sol utilisable	Eléments grossiers maximum	Texture	Structure	Observations
Palmier à huile	fasciculé dense et profond	au moins 1 m sans horizon compact	gravillonnement faible 15 % dans les régions humides	sableuse, sablo-limoneuse friable	très meuble particulière grumeleuse polyédrique fine	sol de plateau ou de pente en région humide bas de pente bien drainés
Hévéa	pivotant et traçant	1 m à 1,50 m utilisable	30 % maximum en sol argilo-sableux	très variée éviter les taux d'argile excessifs	assez meuble en surface polyédrique en profondeur	plateau ou pente en régions humides
Cocotier	fasciculé dense et profond	1 m (1)	gravillonnement faible à nul	plutôt sableuse limoneuse ou sablo-argileuse si le sol est bien drainé	très meuble	zones planes sableuses côtières ou plateaux bien drainés
Canne à sucre	traçant et fasciculé racines d'ancrage profondes	0,70 à 1 m	gravillonnement faible à nul	plutôt fine, limoneuse, limono-argileuse, argileuse	assez bonne en surface fondue en profondeur	zones planes ou alluviales bien drainées.

(1) Toutefois, dans les îles du Pacifique, on observe des plantations sur des sols de faible profondeur, sur calcaire corallien.

Tableau 8

PROFONDEUR D'ENRACINEMENT
TEXTURE ET STRUCTURE DES DIFFERENTES CULTURES (3)

Culture	Système racinaire	Profondeur minimum du sol utilisable	Éléments grossiers maximum	Texture	Structure	Observations
Maïs	fasciculé peu profond	0,30 m au moins en sol fertile	gravillonnement indifférent au-dessous de 0,3 m	variable plutôt fine	très bonne en surface médiocre en profondeur	positions variées plateaux pentes et bas-fonds
Manioc	grosses racines (tubercules)	0,50 à 0,75 m	faible à nul	sableuse, sablo-limoneuse sablo-argileuse	meuble, grumeleuse, particulière, polyédrique	plateaux ou pentes
Igname	gros tubercules	0,50 m	faible à nul	sablo-limoneuse, sablo-argileuse	meuble	plateaux ou pentes, buttes élevées dans les bas de pentes
Coton	pivotant et branchu	0,50 à 0,75 m	faible à moyen en profondeur	sablo-argileuse à argileuse	compacité moyenne polyédrique	plateaux ou plaines bien drainées.

Tableau 8

PROFONDEUR D'ENRACINEMENT
TEXTURE ET STRUCTURE DES DIFFERENTES CULTURES (4)

Culture	Système racinaire	Profondeur minimum du sol utilisable	Éléments grossiers maximum	Texture	Structure	Observations
Sorgho	fasciculé peu profond	0,30 m à 0,50 m	Indifférent au-dessus de 0,30 m	sablo-argileux, limoneux, argilo-sableux	compacité moyenne à forte	plateaux ou plaines moyennement drainés
Mil	fasciculé	variable	faible en surface	sableuse, sablo-limoneuse	meuble particulière, grumeleuse	plateaux ou pentes
Arachide	fasciculé peu profond	0,30 m	peu de gravillon en surface	sableuse, sablo-limoneuse	très meuble, grumeleuse ou particulière	plateaux ou pentes.

9.4. - Conclusions.

Dans les régions tropicales ou les régions arides, le choix des terres pour la culture est d'une grande importance, et dépend principalement de leurs propriétés physiques auxquelles les plantes doivent être adaptées de même qu'au climat.

Dans ces pays, les propriétés physiques peuvent être considérées comme des facteurs peu modifiables dans l'état actuel des techniques. Ces propriétés sont souvent le résultat d'un équilibre entre la composition intrinsèque du sol et les conditions extérieures, climat en particulier ; elles peuvent être mesurées par des techniques de laboratoire permettant le calcul d'indices de structure servant au classement des sols.

L'homme peut améliorer les propriétés par l'irrigation, le drainage, le travail du sol, les plantes de couverture, parfois les amendements. Ces techniques sont souvent d'une application plus délicate qu'en pays tempérés. Elles doivent tenir compte du mode d'évolution naturel du sol.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères

techniques rurales en afrique

10

pédologie et développement

B. D. P. A.

O. R. S. T. O. M.

1970

techniques rurales en afrique

10

pédologie et développement

A la demande du Secrétariat d'Etat
et pour faciliter la tâche des ingénieurs travaillant en Afrique

Ce document a été établi par un groupe de travail
auquel ont collaboré,

l'Office de la Recherche Scientifique et Technique
Outre-mer,

le Bureau pour le Développement de la Promotion
de l'Agriculture.

