

La signification pédo-agronomique de la macromorphologie des sols

André LÉVÈQUE

Pédologue Orstom, en retraite, 16 rue de la Lande, 56000 Vannes

RÉSUMÉ

Les descriptions, en langage naturel, des principaux caractères macromorphologiques des sols, sont traduites en codes numériques ou en pourcentages estimés. Les valeurs sont attribuées en fonction du développement de chaque fait observé, tel que l'explicitent les désignations, adjectifs et adverbess mentionnés sur le terrain.

Cette approche porte sur le drainage interne, la cohésion, l'induration, les divers aspects de la structure et l'abondance des racines.

La recherche de corrélation de rangs de Spearman, test statistique non paramétrique, dégage des liaisons significatives et nombreuses avec des variables quantifiées sous forme de résultats de laboratoires.

Une étude en cours, des facteurs pédologiques de la production de coton, a inclu les valeurs relatives à la macromorphologie. Elle montre que les paramètres en cause interviennent en grande part dans le rendement global et ses composantes.

Il apparaît, en définitive, indispensable de fonder sur le plus grand nombre possible de caractères morphologiques, toute démarche pédo-agronomique.

MOTS CLÉS : Macromorphologie des sols – Codage numérique – Test statistique – Drainage – Cohésion – Induration – Structure – Enracinement – Pédologie appliquée.

ABSTRACT

SIGNIFICANCE OF SOIL MICROMORPHOLOGY IN SOIL AND AGRICULTURAL SCIENCES

A natural languaged description of the main macromorphological and unmeasurable characters of the soils is transposed into numerical codes. The relative values are ascribed in close relation with the development of these features, as pointed out by the adjective and adverb terms choosen in the field.

This approach deals with the internal drainage, cohesion, hardpaning, different aspects of the structure and root abundance. The research of Spearman s' rank correlation, an unparametered statistical test, points out significant and numerous links with lab results.

A study in progress about soil factors involved in cotton production is including the values of numerical codes representing morphological features. It points out that the significant parameters represent 28 to 45 % of the total yield.

Finally, any soil-plant managment must be based on morphological features as often as possible.

KEY WORDS : Soils morphology – Numerical coding – Statistical test – Drainage – Cohesion – Hardening – Structure – Root system – Applied soil science.

INTRODUCTION

Nombre d'observations de terrain se traduit par des classements très vagues et de peu de valeur dans l'élaboration des cartes des ressources en sols.

Il s'agit, en particulier, des caractères pédologiques non ou très difficilement quantifiables. Les divers aspects de la structure en sont un exemple constant.

Ce problème de subjectivité fut l'un de ceux auxquels fut confrontée la planification agricole du nord de la Côte-d'Ivoire.

Son importance, tant du point de vue du pédologue que de celui de l'agronome et de l'utilisateur, justifia un effort de valorisation des informations qui ne pouvaient être étayée par des analyses de laboratoire.

Il apparut, dès lors, nécessaire de préciser au maximum ces caractères d'ordre qualitatif et de les confronter à des données de laboratoire obtenues sur des paramètres facilement quantifiables, c'est-à-dire objectives.

La présente note fait état de cette approche, le but final étant de pouvoir inclure tous ces paramètres dans l'analyse du rendement des plantes cultivées.

LE CADRE

Toutes les observations pédologiques relatives à cette étude se sont concentrées sur les sols cultivés en cotonnier. La motivation principale en était de pouvoir illustrer dans quelle mesure une meilleure exploitation des observations qualitatives pouvait s'appliquer à l'une des productions agricoles les plus importantes.

L'avantage de traiter de sols mis en valeur (défrichés depuis 2 à 4 ans) était de s'appuyer sur des conditions aussi concrètes que possible. La structure, du moins celle des horizons superficiels, avait, en effet, déjà atteint un certain équilibre agronomique. D'autre part, il devenait possible d'étudier le comportement racinaire d'une plante sans être gêné par un entrelacement souterrain hétérogène.

Une autre raison de ce choix tient aux exigences déjà reconnues du cotonnier, notamment en ce qui concerne le sol.

Enfin, dans la région intéressée, le développement de cette culture, encadré par la Compagnie ivoirienne des textiles, bénéficie de techniques bien définies et standardisées. L'uniformité des pratiques

agronomiques fait ressortir au mieux, l'influence des facteurs naturels.

Ceux-ci présentent les grands traits suivants :

- tous les sols cultivés se rangent dans la classe ferrallitique (CPCS, 1967). La sous-classe de complexe d'échange moyennement désaturé est légèrement dominante. Les fortes et faibles désaturations viennent ensuite, par ordre de fréquence décroissante. Ces deux dernières sont, en général, spécifiques respectivement des granites et des schistes.

Les deux groupes le plus représentés se distinguent par le développement du remaniement ou de l'appauvrissement. Le premier de ces processus, très ubiquiste s'interprète par de fortes concentrations, dès une faible profondeur, d'éléments grossiers ferrugineux ou quartzeux, moins fréquents. Les groupes typique et rajeuni-pénévolué sont rares. Le groupe lessivé n'est pratiquement pas représenté.

Au niveau du sous-groupe, l'induration affecte la majorité des sols ;

- le soubassement géologique est constitué de granites (47 %), de gneiss (ou de migmatites) pour 33 % et de séricitoschistes (20 %). Les analyses statistiques montrent que l'influence de la roche mère prédomine, dans les rendements, sur la diversité de la pédogenèse ferrallitique. C'est pourquoi, dans ce qui suit, les données sont regroupées selon ces trois ensembles lithologiques. Ce classement semble pouvoir se justifier par des considérations d'ordre plus fondamental. En effet, pour des raisons pratiques, l'étude du rendement des plantes cultivées ne peut pas prendre en compte tous les facteurs dépendant du sol et du substrat en général. Il en est ainsi, par exemple, du drainage interne profond et du drainage externe qui dépend de la géomorphologie, elle-même conditionnée en grande partie par la roche mère, comme le premier. Bien d'autres intervenants lithologiques sont plausibles : les minéraux en voie d'altération, la granulométrie détaillée des sables et des argiles, les taux des différents composés du fer, les oligo-éléments, etc. Le traitement séparé des groupes de données établis selon la nature de la roche mère, pallie, dans une certaine mesure, ces disparités ;

- le climat, de transition entre les types soudano-guinéen et soudanien, est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 1 300 à 1 400 mm. Il se trouve que la campagne d'observations se déroula pendant une saison pluvieuse très proche des moyennes dans toutes ses composantes. Ainsi, les sols furent-ils examinés dans leurs

état et comportement les plus favorables au développement végétal. Ces conditions impliquent plus spécialement le drainage, la cohésion et la structure, trois facteurs importants de l'enracinement ;

- la végétation naturelle est, ici à 10 degrés de latitude nord, celle d'une savane mi-arborée, mi-arbustive ;

- le relief est façonné en une très vieille plaine. Les dénivelées ne dépassent pas quelques dizaines de mètres. Les déclivités ont une valeur médiane de 2 % et n'excèdent 5 % que rarement.

LA MÉTHODE

Les principes généraux

Les caractères macromorphologiques des sols se répartissent en deux ensembles principaux.

Le premier comprend les paramètres quantifiables, soit sur le terrain comme le taux d'éléments grossiers dans certaines conditions, soit en laboratoire. Les pourcentages peuvent être estimés sans manipulation compliquée, après l'examen des horizons. La précision est, naturellement, en fonction directe de l'expérience acquise. Il s'agit, pour l'essentiel, des diverses fractions granulométriques. La présente note n'en traite pas car la plupart des études pédologiques se fondent sur leurs résultats de laboratoire. Ces paramètres ne présentent donc pas les plus grandes difficultés. Il est à remarquer, à leur propos, que les estimations de terrain sont apparues en corrélations étroites et fréquentes avec les données d'analyse et celles qui concernent les autres caractères étudiés dans les pages suivantes.

Le second ensemble, objet du travail présenté, est celui des faits d'observation qui, sauf à concevoir des procédures incertaines, se cantonnent dans le domaine qualitatif. En ont été retenus :

- le drainage naturel interne ;
- la cohésion ;
- l'induration en carapaces ou cuirasses ;
- la structure d'ensemble en place, c'est-à-dire observée d'emblée sur la coupe du sol ;
- les divers assemblages structuraux qui s'individualisent au débit des horizons, sous le choc d'un outil ;
- l'abondance des racines de la plante cultivée, qui n'est pas un trait pédologique en soi mais qu'il importe de situer dans le profil cultural.

La porosité n'a donné lieu à aucune appréciation systématique. Elle s'avère trop variable à grande échelle, en particulier, d'un assemblage structural

à l'autre. Ce paramètre ne fut étudié que dans sa globalité, après traitement au laboratoire d'échantillons relativement volumineux.

Les différents aspects des témoins éventuels de la roche mère furent mentionnés (profondeur d'apparition, abondance, intensité de l'altération, etc.). Il en fut de même pour l'activité des termites. Mais les données d'observations recueillies pour ces derniers traits n'ont pas été prises en compte ici.

Les observations furent, en premier lieu, consignées en langage naturel, respectant dans une large mesure le Glossaire de pédologie (DGRST, 1969). Cette première phase a permis d'englober une partie des profils décrits en saison pluvieuse, dans de précédents travaux de cartographie et, par conséquent, de valoriser des informations déjà recueillies.

Dans un deuxième stade, les termes utilisés furent classés, selon leur signification, dans l'ordre de développement croissant des caractères en cause. Un exemple succinct de ce classement, concernant le drainage, est le suivant : taches très rares, rares, peu nombreuses, etc.

Ces suites ordonnées furent, ensuite, converties en séries de nombres entiers débutant par 1 et atteignant une valeur suffisante pour englober le champ de variation naturelle. L'affinement de cette procédure conduisit à intercaler des nombres décimaux exprimant des degrés intermédiaires de développement. Cette décimalisation fut appliquée plus spécialement à la traduction synthétique de gradations entre le sommet et la base des horizons.

On pourra s'étonner, dans la suite de l'exposé, de la grande étendue des séries numériques relatives à la cohésion, l'induration et l'abondance des racines. Mais, il faut le souligner à nouveau, l'étude exigeait la meilleure précision possible. Dans ces trois cas, la compilation de l'ensemble des descriptions de profils s'est trouvée devoir prendre en compte un nombre élevé de termes du langage naturel, avec leur signification propre. La limitation standard du nombre des valeurs, à celui de 10, par exemple, aurait impliqué des regroupements fort hasardeux. La nature même des faits, remarquons-le, d'autre part, impose une variabilité spécifique. Celle-ci se retrouve, par ailleurs, tout aussi bien dans les paramètres du domaine quantitatif. Les sols en question en fournissent de multiples exemples dont le carbone, qui se situe entre 0,1 et 2 %, et l'argile, qui varie de moins de 3 % à plus de 52 %.

L'élaboration de ces codes numériques nécessita de nombreuses confrontations entre les étapes successives du dépouillement des fiches de description et le terrain. Une vision satisfaisante des faits permit de pratiquer directement la numérisation au cours des derniers examens de profils, grâce à une mémorisation de plus en plus élargie.

Cette méthode conduit à la quantification pour trois paramètres : la proportion des divers ensembles structuraux d'un même horizon, la dimension modale d'unités structurales et l'abondance des racines.

Pour le premier de ces caractères, les termes du langage naturel furent convertis en pourcentages en se calant sur les extrêmes (absence = 0 %, exclusivité = 100 %) et par répétition de confrontations approfondies avec le terrain dans l'estimation des proportions intermédiaires.

La taille modale d'unités structurales fut estimée directement sur le terrain.

L'abondance des racines, codée numériquement après compilation des différents termes du langage naturel, fut, en définitive, quantifiée. Ce dernier stade s'appuya sur la détermination, en laboratoire, du pourcentage pondéral des racines de nombreux échantillons représentatifs de la gamme en question.

Dans la dernière phase de l'approche, les valeurs attribuées aux divers caractères furent confrontées, par des analyses statistiques, à des résultats de laboratoire obtenus sur des paramètres quantitatifs. S'agissant d'un test de données relatives, un moyen des plus fiables et simples est la recherche des corrélations de rangs de Spearman, sa validité se trouvant indépendante des fonctions de distribution des variables.

Cette étape a tenu compte de la quasi-nécessité d'éviter la complication inhérente aux différences d'épaisseur des horizons homologues. La « neutralisation » de cette variable, qui n'a aucun impact dans le présent débat, facilite, en effet, le traitement des données.

À cette fin, des « niveaux » limités à des profondeurs successives standard, furent définis en respectant d'assez près les principales différenciations pédologiques verticales. Pour se limiter à l'essentiel de la rhizosphère, leur nombre fut restreint à trois, exceptionnellement quatre : 0-10 cm, 10-25, 25-45 (et 45-70 cm). Ils correspondent, en gros, respectivement aux horizons humifères (A 11), appauvris en argile et peu ou moyennement humifères (A 12, A 21, A 22) et à une partie supérieure plus ou moins importante de

l'horizon B, pour les deux derniers. Ils constituent une série de profondeurs définies d'une façon uniforme dans tous les les profils pour l'investigation des divers paramètres.

Toutes les données, qui se rapportaient initialement aux horizons, furent traitées par interpolation de manière à établir les caractéristiques de ces niveaux, pour chaque profil. Les calculs tinrent compte de la pondération imposée par les proportions respectives de la fraction fine des horizons concernés en partie ou en totalité.

En résumé, la démarche exposée dans cette note, consiste :

- d'abord, par l'affinement des observations de terrain et de leurs descriptions, à pouvoir classer avec le maximum de sûreté, les différents degrés de développement des caractères qualitatifs,
- puis à tester la validité de ces classements par la recherche des corrélations avec des données objectives.

L'interprétation des divers caractères qualitatifs en séries numériques

Il serait fastidieux de développer la traduction du langage naturel en séries numériques pour tous les caractères. Ce qui suit se limite, principalement, à l'échelle des valeurs entières attribuées au drainage, à titre d'exemple. D'autres échelles, représentatives des divers cas de figure, font l'objet d'une annexe.

LE DRAINAGE INTERNE

L'aptitude au drainage interne des horizons est appréciée en se fondant sur leurs couleurs et la rapidité de leur ressuyage. Des examens comparatifs portèrent sur de nombreux profils de référence, pendant toute la saison pluvieuse :

- la valeur 1 est affectée aux gleys (quelques taches jaunes, ocre ou rouille, dispersées sur un fond gris, gris-bleu ou gris-vert). L'engorgement est total pendant au moins toute la saison des pluies ;

- valeur 2 : pseudo-gleys (taches bien individualisées, de couleurs tranchées, dont plus de 15 % sont blanches, grises ou bleues), à engorgement très fréquent en saison des pluies ;

- valeur 3 : taches assez diffuses, ocre pâle, beige, blanc-jaunâtre et rouge plus ou vif. Les horizons concernés sont très humides ou engorgés très temporairement ;

- valeur 4 : marbrures blanc-jaunâtre ou beige très légèrement verdâtre sur fond ocre pâle ou ocre-jaune, représentant, au moins, 50 % de l'ho-

rizon. Celui-ci est humide à très humide en hivernage ;

- valeur 5 : horizons de couleur ocre, ocre-jaune ou ocre-rose pâle avec des zones diffuses, à tendance rouge ou jaune vif, humides à très frais en saison des pluies ;

- valeur 6 : horizons assez rapidement ressuyés après les précipitations les plus abondantes et de couleur uniformément rouge à rouge-ocre (« values 2,5 à 4/2,5 YR de la charte Munsell) ;

- valeur 7 : horizons toujours rapidement resuyés, de couleur rouge vif ou carmin (2,5 à 4/10 R). C'est le cas, par exemple, des bordures de buttes cuirassées sur schistes.

L'appréciation du drainage des horizons assombris par la matière organique s'avère beaucoup plus délicate que pour les matériaux minéraux. Elle l'est d'autant plus que les sesquioxides de fer, révélateurs de l'hydromorphie ou de l'hydratation éventuelles font, en général, défaut. Malgré ces difficultés, des valeurs convenables peuvent être assignées dans la même échelle de notation que précédemment. Cette partie des profils nécessita de plus nombreuses observations pendant et après les précipitations. La cohérence des données rassemblées plus loin, dans le tableau I, est un indice de leur validité.

LA COHÉSION

Le terme « cohésion » désigne, ici, à la fois la pénétrabilité et la résistance au cisaillement des matériaux. Son appréciation fut toujours effectuée en saison des pluies par l'effort requis dans l'échantillonnage pratiqué au piochon.

La série des valeurs comparatives s'étend de 1 à 20. Ces extrêmes traduisent respectivement un caractère nettement « boulant » et une tendance à la cimentation. Celle-ci s'observe le plus nettement dans les horizons B des planosols (dont, toutefois, la présente note ne traite pas).

L'INDURATION

L'approche de l'induration est la même que celle du caractère précédent. Mais, au-delà du fait que le prélèvement d'échantillons nécessite un effort plus important, le phénomène en cause est d'une autre nature. Il se singularise, en effet, par le développement de liaisons cristallines en un réseau d'extension et de densité variables. C'est la raison pour laquelle la résistance des masses indurées par les sesquioxides mérite d'être distinguée de la cohésion, qui procède de liaisons de type colloïdal.

L'échelle numérique de l'induration s'étend à 1 à 21. La plus faible valeur se rapporte à des blocs que l'on peut rompre à la main (carapace tendre) et la plus élevée, à une cuirasse continue que la pioche, la barre à mine ou le burin attaquent difficilement.

L'ASPECT STRUCTURAL D'ENSEMBLE

À première vue, en saison des pluies, la structure en place des sols ferrallitiques du nord de la Côte-d'Ivoire est très peu différenciée. En dépit de cette uniformité apparente, un simple grattage de la coupe du sol permet de retirer quelques enseignements. L'un des pôles de l'éventail que l'on peut, ainsi, percevoir, est la structure particulière des horizons grossièrement sableux et très pauvres en matière organique. À l'opposé, se situe la structure massive des matériaux également pauvres en matière organique, mais riches en argile et sans proportion notable de sesquioxides de fer. Entre ces deux extrêmes, tous les types de structure en place peuvent recevoir une valeur relative, selon une gradation suffisamment détaillée, établie à partir des termes du langage naturel. La série numérique s'étend de 1 à 6.

LES ENSEMBLES STRUCTURAUX RÉSULTANT DU DÉBIT DES HORIZONS

Sous l'action du piochon, ou lors du labour pour les horizons supérieurs, la masse terreuse se divise en ensembles structuraux de morphologie spécifique. Plusieurs types peuvent coexister dans un même horizon. Leurs dimensions sont, dans de nombreux cas, très diverses, aussi bien à l'échelle d'un profil que dans le cadre d'une pédogenèse donnée. Il en est ainsi également de leur résistance à l'écrasement. Toutes leurs caractéristiques visibles se modifient en fonction des conditions climatiques mais dépendent fondamentalement de multiples combinaisons de facteurs granulométriques, minéralogiques, physico-chimiques, organiques et biologiques.

Les édifices structuraux commandent étroitement la circulation de l'eau, des suspensions et solutions, des gaz (oxygène, azote, anhydride carbonique, vapeur d'eau, etc.) ainsi que la densité et la capacité d'absorption du système racinaire. Ils se rangent, autrement dit, parmi les plus importants facteurs de la fertilité des sols. C'est, d'ailleurs, ce qu'indique nettement l'étude pédo-agronomique en cours, du rendement du cotonnier.

Étant donné cette influence, quelques auteurs, BRYSSINE (1958) et PEERLKAMP (1958), notamment, ont proposé de codifier les observations

relatives à la structure. Le premier d'entre eux a établi un classement de l'état du sol à l'aide de « formules structurales ». Celles-ci prennent en compte, dans un ordre fixe, diverses variables codées de 0 à 2 : la forme des assemblages, quantifiée par le rapport des dimensions extrêmes, la régularité et la netteté de ces formes, la taille des mottes, etc. Le caractère composite de ces formules et le manque d'étendue du code des valeurs les rendent incompatibles avec l'étude statistique des facteurs du rendement.

Le second auteur soumet un code de dix nombres. Ceux-ci font respectivement référence à un état structural assez bien défini mais leur succession ne correspond à aucun gradient de développement de tel ou tel caractère.

Après avoir exploré les propositions de ces deux auteurs, la démarche présente s'est orientée vers la définition détaillée des paramètres les plus évidents de chaque ensemble structural considéré séparément. Cette option est, en résumé, nettement analytique. Les caractères intéressés, déjà évoqués, sont les suivants :

- les proportions de chaque ensemble structural à l'échelle des horizons (puis à celles des niveaux) quantifiées par estimation

- et, pour les unités structurales proprement dites, définies plus loin,

- leur taille modale estimée en centimètres ou en millimètres,

- ainsi que leur résistance à l'écrasement, appréciée manuellement et codifiée après traduction du langage naturel.

Il est à remarquer que, pour un même horizon, ou niveau, le total des proportions respectives des divers ensembles structuraux est, bien entendu, de 100 %.

Ces différenciations structurales se répartissent en fractions ou en unités. Les premières n'ont pas de géométrie spécifique tandis que les secondes se présentent en assemblages de volumes dont la morphologie est identique.

Dans la limite de 70 cm de profondeur fixée à l'étude, les ensembles structuraux des sols en question, au nombre de sept, sont les suivants :

- la fraction particulière concerne, comme son qualificatif l'indique, les zones éventuelles qui, sous le choc du piochon, se résolvent sans difficulté, en sables (et limons grossiers) bien déliés à l'état sec. Dans certains horizons, elle peut être exclusive, comme les autres ensembles ;

- le deuxième type est la fraction dite « indifférenciée ». Ce sont les mottes, plus ou moins grossières et, surtout, sans formes propres ;

- constituant le premier type d'unité cité, les « éclats » résultent de la division en volumes de 2 à 7 cm dans leur dimension maximale. Leur forme s'apparente à des parallélépipèdes fréquemment aplatis dans l'axe vertical. Rappelant, en général, une structure lamellaire discontinue, elle se rapproche, dans certains profils, de celle d'unités nuciformes ou polyédriques ;

- les « mini-agrégats » semblent procéder de l'agglomération de sables fins ou très fins sous l'effet d'un liant argileux et organique. Il est plausible que leur formation soit due, de façon directe ou indirecte, à l'action de la mésofaune. La dimension maximale de ces unités, de forme ovoïde ou sphérique, ne dépasse guère 3 mm. Leur adhésivité est assez prononcée ;

- les trois autres catégories d'unités structurales sont suffisamment connues pour qu'il soit utile de les expliciter. Il s'agit des morphologies grumeleuses, nuciformes et polyédriques. Les premières sont rares dans les sols étudiés et n'ont pas été incluses dans cette note.

Les morphologies intergrades (nuciformes à polyédriques, par exemple) firent l'objet d'une répartition dans les deux archétypes de référence, en fonction des tendances.

Les valeurs codées de la résistance à l'écrasement s'étendent de 1 (sans résistance notable) à 6 (résistance affirmée).

Il convient de souligner que des examens comparatifs ont montré la grande différence du comportement structural entre les saisons sèche et pluvieuse. C'est la raison pour laquelle, comme pour les autres caractères, les observations furent effectuées au cours de cette dernière. Ainsi, les résultats peuvent-ils apporter une réponse aux préoccupations agronomiques qui motivèrent cette démarche.

L'ABANDON DES RACINES DE LA PLANTE CULTIVÉE

L'évaluation de la densité racinaire est malaisée. Les difficultés les plus importantes sont : la finesse de nombreuses radicules, la gangue terreuse, d'autant plus gênante en saison des pluies, la confusion possible avec les racines de plantes adventices et la nécessité de ne retenir que celles qui sont vivantes.

Malgré cette complexité, un code numérique put être substitué aux termes du langage naturel men-

tionnés sur le terrain. Les valeurs extrêmes en sont 1 (racines presque absentes) et 19 (très nombreuses). Évoquée précédemment, la correspondance quantifiée, après déterminations en laboratoire, est respectivement de 2 et 455 mmg/kg de sol séché à l'air. Elle permet de remplacer, en définitive, le code numérique par des données plus concrètes.

LE TRAITEMENT DES DONNÉES CONCERNANT LES CARACTÈRES QUALITATIFS

Aspects généraux

En matière d'introduction, le tableau I regroupe les valeurs médianes (soulignées) et extrêmes (séparées par un tiret) qui précèdent de la numéri-

Tableau I
Valeurs caractéristiques, relatives ou en pourcentages, procédant de la numérisation de paramètres macromorphologiques
Numerical values of the macromorphological parameters (relative or %)

0*	Gr**	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
	<u>5.8</u>	<u>5.9</u>	<u>6.4</u>	<u>5.0</u>	<u>5.0</u>	<u>6.0</u>	<u>4.9</u>	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>
10	4,8 - 6,8	5,3 - 6,8	5,7 - 7,0	2,0 - 12,5	3,0 - 8,0	5,0 - 8,5	1,0 - 6,0	1,0 - 6,0	2,2 - 6,0
	<u>5.8</u>	<u>6.0</u>	<u>6.6</u>	<u>5.8</u>	<u>6.4</u>	<u>7.2</u>	<u>4.2</u>	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>
25	4,1 - 6,8	4,3 - 6,8	5,7 - 7,0	2,0 - 10,9	3,0 - 8,6	5,0 - 8,9	1,0 - 6,0	1,0 - 6,0	4,0 - 6,0
	<u>5.7</u>	<u>6.0</u>	<u>6.6</u>	<u>7.5</u>	<u>7.7</u>	<u>8.0</u>	<u>5.3</u>	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>
45	2,5 - 6,8	3,2 - 6,9	4,5 - 7,0	3,0 - 14,2	5,5 - 12,1	6,4 - 13,3	1,0 - 6,0	1,5 - 6,0	5,3 - 6,0
	<u>5.1</u>	<u>5.6</u>	<u>6.7</u>	<u>8.2</u>	<u>8.8</u>	<u>8.5</u>	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>	<u>6.0</u>
70	1,0 - 6,9	2,0 - 6,8	3,8 - 7,0	2,8 - 16,2	6,0 - 15,0	7,0 - 15,5	1,0 - 6,0	5,8 - 6,0	6,0 - 6,0
	Drainage			Cohésion			Structure en place		
0	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
	<u>40.0</u>	<u>18.0</u>	<u>0</u>	<u>1.0</u>	<u>29.0</u>	<u>22.5</u>	<u>8.0</u>	<u>8.0</u>	<u>7.5</u>
10	0 - 100	0 - 100	0 - 60,0	0 - 84,0	0 - 100	0 - 60,0	0 - 80,0	0 - 70,0	0 - 52,0
	<u>45.5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>17.0</u>	<u>40.0</u>	<u>30.0</u>	<u>2.5</u>	<u>1</u>	<u>3.0</u>
25	0 - 100	0 - 100	0 - 40,0	0 - 60,0	0 - 100	0 - 85,0	0 - 64,0	0 - 70,0	0 - 87,0
	<u>20.0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>30.0</u>	<u>53.5</u>	<u>50.0</u>	<u>3.0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
45	0 - 100	0 - 81,0	0 - 20,0	0 - 100	0 - 100	0 - 96,0	0 - 62,0	0 - 70,0	0 - 49,0
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>60.0</u>	<u>60.0</u>	<u>60.0</u>	<u>17.0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
70	0 - 100	0 - 5,0	0 - 0	0 - 100	2 - 100	0 - 96,0	0 - 70,0	0 - 70,0	0 - 43,0
	Fraction particulaire %			Fraction indifférenciée %			Eclats %		
*									
0	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
	<u>8.5</u>	<u>7.0</u>	<u>27.0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>8.0</u>	<u>129.5</u>	<u>129.5</u>	<u>129.5</u>
10	0 - 70,0	0 - 70,0	0 - 52,0	0 - 62,0	0 - 51,0	0 - 68,0	26,0 - 455,0	14,0 - 455,0	26,0 - 455,0
	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>	<u>5.0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>20.0</u>	<u>85.8</u>	<u>82.0</u>	<u>82.0</u>
25	0 - 70,0	0 - 70,0	0 - 70,0	0 - 72,0	0 - 52,0	0 - 69,0	18,0 - 455,0	14,0 - 412,0	26,0 - 408,0
	<u>0</u>	<u>2.0</u>	<u>4.0</u>	<u>0</u>	<u>1.5</u>	<u>21.0</u>	<u>53.0</u>	<u>50.0</u>	<u>53.0</u>
45	0 - 70,0	0 - 79,0	0 - 70,0	0 - 72,0	0 - 65,0	0 - 63,0	7,0 - 422,0	11,0 - 181,0	20,0 - 216,0
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>12.0</u>	<u>20.2</u>	<u>25.8</u>	<u>25.8</u>
70	0 - 40,0	0 - 56,0	0 - 50,0	0 - 40,0	0 - 45,0	0 - 70,0	7,0 - 248,0	7,0 - 203,0	7,0 - 129,0
	Mini-agrégats %			Unités nuciformes %			Racines(mg.kg ⁻¹)		

- Valeurs soulignées : médianes
- Valeurs séparées par un tiret : extrêmes

* profondeur-limite des niveaux, en cm

** Gr : sols sur granites ; Gn : sols sur gneiss ; Sc : sols sur schistes

sation des caractères qualitatifs. Pour chacun de ces derniers, il permet de rapides comparaisons entre les différents niveaux et selon les roches mères.

Nous observons que les variations s'ordonnent, en général, d'une façon logique par rapport à ce qui est connu du comportement des sols. Les valeurs médianes du drainage, par exemple, décroissent, pour la plupart, d'une façon régulière à partir du sommet des profils dans les sols sur granites ou sur gneiss. Il en est inversement de ceux qui dérivent de schistes dont le fort pendage et la fréquente perméabilité des altérites expliquent cette particularité. Celle-ci n'exclut pas, cependant, l'apparition de gradations quasi systématiques selon la séquence lithologique.

Le même schéma se retrouve, quelle que soit la roche mère, dans le sens croissant à propos de la cohésion, et décroissant pour les racines, etc. Les différences désordonnées constituent la minorité des cas et sont de faible ampleur. Elles sont, même, un peu moins fréquentes que celles qui ont trait aux paramètres quantitatifs. Toutes les remarques

qui viennent d'être faites, se vérifient également pour les valeurs extrêmes.

En résumé, l'ensemble de ces données témoigne d'une certaine cohérence en regard du contexte pédologique et lithologique.

Les liaisons statistiques entre les données numérisées de la macromorphologie et les paramètres quantifiables

Le cadre de cet article impose de restreindre l'exposé des liaisons statistiques à des exemples. Ceux-ci se rapportent, au hasard, d'abord aux caractères codifiés (valeurs relatives) puis à ceux qui ont pu être quantifiés par estimation.

Le développement suivant s'attachera à situer brièvement les résultats par rapport à des acquis élémentaires sur la différenciation et le comportement des sols.

LE DRAINAGE INTERNE

Les valeurs numérisées du drainage interne entretiennent (tabl. II) des corrélations nettes :

- positives, quelle que soit la roche mère, dans les deux premiers niveaux, avec les éléments

Tableau II
Corrélation liées au drainage
Correlations linked to drainage

0*	Gr**	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
		+0,494	+0,437	-0,324			+0,354		
		p<0,005	p=0,005	p<0,005			p<0,005		
10		n = 55	n = 36	n = 82			n = 82		
	+0,201	+0,370	+0,300	-0,394			+0,348		
	0,05>p>0,025	p<0,005	0,025>p>0,01	p<0,005			p<0,005		
25	n = 80		n = 36	n = 80			n = 80		
			-0,374	-0,477			+0,414		
			0,025>p>0,01	p<0,005			p<0,005		
45			n = 36	n = 77			n = 77		
		Eléments grossiers			Argile		Sables grossiers		
0	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc			
10							+0,269		
							0,025>p>0,01		
25							n = 55		
		+0,314					+0,359		
		0,025>p>0,01					0,01>p>0,005		
45			n = 52				n = 52		
		Carbone total			Azote total				

*profondeur-limite des niveaux, en cm

**Gr : sols sur granites ; Gn : sols sur gneiss ; Sc : sols sur schistes

grossiers, mais négative, de 25 à 45 cm de profondeur, dans les sols sur schistes ;

- respectivement négatives et positives avec l'argile et les sables grossiers dans les sols sur granites.

Ces résultats sont conformes à ce qu'indique l'expérience de terrain. L'absence de corrélation significative avec l'argile dans les sols sur gneiss ou sur schistes peut s'expliquer par la plus grande richesse en sesquioxydes de fer. Ceux-ci permettent la formation d'édifices structuraux stables qui améliorent sensiblement le ressuyage. Les sables grossiers ne présentent pas davantage d'influence dans les mêmes sols. Ils y sont, en réalité, peu ou très peu abondants.

Enfin, de nettes liaisons positives s'établissent, dans les sols sur gneiss, entre l'azote et le drainage, de 10 à 45 cm. Il en est ainsi du carbone dans le troisième niveau.

L'INDURATION

Les corrélations les plus systématiques concernant l'induration par les sesquioxydes, s'observent avec la profondeur du sommet de l'horizon affecté (tabl. III).

Tableau III
Corrélations entre degré et profondeur d'induration
Correlations between the degree and the depth of hardening

sols/granites	sols/gneiss	sols/schistes
-0,199	-0,326	0,320
0,05 > p > 0,025	0,025 > p > 0,01	0,05 > p > 0,025
n=81	n=44	n=31

Le signe négatif du coefficient de corrélation exprime la décroissance de la résistance mécanique en fonction de l'épaisseur des matériaux meubles sus-jacents. Peut-être cette variation traduit-elle

une hydratation des sesquioxydes d'autant plus accentuée que les cuirasses ou carapaces sont profondes.

Quelques liaisons significatives, et négatives, s'observent avec le potassium du niveau superficiel et l'argile de l'ensemble des niveaux supérieurs meubles des sols sur gneiss. Il n'est pas invraisemblable que des remontées biologiques (par les racines et par la mésofaune - LÉVÊQUE, 1979) soient, sur ce point, en cause. Mais on ne saisit pas la raison pour lesquelles les autres sols ne sont pas concernés par ce barrage éventuel.

L'induration présente, certes, avec les paramètres quantitatifs, des corrélations beaucoup moins fréquentes que les autres caractères. À ce titre, il semblerait justifié de la négliger. Or, l'étude déjà évoquée montre que certaines composantes du rendement du cotonnier en sont notablement modulées quand on prend en compte, également, sa profondeur d'apparition. Ceci se vérifie dans le rendement unitaire et la densité des plants sur les billons.

LA STRUCTURE EN PLACE

Les sols sur schistes n'entrent pas dans l'étude de la structure observée avant tout bouleversement. D'une façon presque systématique, celle-ci est, sur le profil entier, nettement massive à l'état humide. La distribution des valeurs, trop restreinte, retire, dans leur cas, toute signification aux résultats de l'analyse statistique. Il en est de même pour les sols sur gneiss, dès 25 cm de profondeur.

Dans les autres cas, les paramètres physiques avec lesquels la recherche de corrélations fut effectuée (tabl. IV) sont les éléments grossiers, l'argile et les sables grossiers :

Tableau IV
Corrélations liées à la structure en place
Correlations linked to the structure in the field

0*	Gr**	Gn	Gr	Gn	Gr	Gn
		-0,375	+0,432	+0,411	-0,452	
		p<0,005	p<0,005	p<0,005	p<0,005	
10		n = 55	n = 82	n = 55	n = 82	
	-0,232	-0,315	+0,532	+0,483	-0,556	-0,329
	0,025 > p > 0,01	0,025 > p > 0,01	p<0,005	p<0,005	p<0,005	0,01 > p > 0,005
25	n = 80	n = 55	n = 80	n = 55	n = 80	n = 55
	-0,315		+0,576		-0,670	
	p<0,005		p<0,005		p<0,005	
45	n = 77		n = 77		n = 77	
	Éléments grossiers		Argile		Sables grossiers	

*profondeur-limite des niveaux, en cm

**Gr : sols sur granites ; Gn : sols sur gneiss

- Les coefficients obtenus offrent, très généralement, une haute ou très haute signification. Les deux exceptions portent sur le niveau superficiel des sols sur granites ou sur gneiss.

- Sauf pour les éléments grossiers dans les sols sur gneiss, la netteté des corrélations croît systématiquement en profondeur. Cette progression découle, selon toute vraisemblance, du renforcement de l'influence relative des paramètres minéraux, en conséquence de la raréfaction de la matière organique.

- Les éléments grossiers entraînent des solutions de continuité dans les liaisons physiques ou physico-chimiques, commandées par les états de surface. Les sables, d'autant plus qu'ils sont grossiers, présentent, quoique dans une moindre mesure, la même particularité. Celle-ci, antinomique du maintien des matériaux en une masse continue, explique le caractère négatif des corrélations pour ces deux paramètres, et positif quant à l'argile. Le même schéma s'applique à la cohésion.

Le rôle de la matière organique apparaît plus limité et n'est pas mentionné dans le tableau. Pour l'essentiel, l'azote et le rapport C/N, au moins jusqu'à 45 cm de profondeur dans les sols sur granites, donnent lieu à des corrélations positives, nettement significatives.

LA FRACTION INDIFFÉRENCIÉE

Dans les résultats présentés, les paramètres quantitatifs se rapportent à la totalité de la terre fine de chaque niveau des profils étudiés, et non pas seulement à ce qu'y représentent les ensembles structuraux.

Les corrélations nettes entre la fraction indifférenciée et la matière organique sont rares, exception faite des sols sur schistes, en dessous de 25 cm de profondeur. Les coefficients sont positifs et leur probabilité de vérification dépasse 0,95.

En revanche, (tabl. V) les liaisons sont systématiquement positives et très significatives avec l'argile dans tous les niveaux étudiés sauf le plus superficiel des sols sur granites.

La proportion d'éléments grossiers n'intervient d'une façon marquée, et négative, que dans le niveau 10-25 cm des sols sur granites et de 0 à 10 cm dans les autres.

LES MINI-AGRÉGATS

Alors que les éclats et les unités polyédriques résultent d'une fragmentation, la forme ovoïde ou sphérique des mini-agrégats suggère un processus d'agglomération.

Celle-ci apparaît confirmée, du moins en partie, par la très nette influence positive de la matière organique dans les sols sur granites ou sur gneiss (tabl. VI). L'absence de corrélation semblable dans les sols sur schistes est peut-être due à l'occultation par les sesquioxides de fer qu'ils contiennent en plus grande abondance.

La proportion de mini-agrégats est en liaison positive avec celle des éléments grossiers dans les deux premiers niveaux de tous les sols. En revanche, s'il en est de même avec l'argile dans les sols sur granites, ce paramètre exerce une influence négative dans les trois niveaux étudiés des sols sur schistes. Ceux qui dérivent de gneiss présentent un comportement intermédiaire en ce sens que, seul, le niveau 10-25 cm témoigne d'une influence négative et moins marquée.

Pour nous cantonner au domaine qualitatif, la recherche de corrélation a dégagé des coefficients significativement positifs avec l'abondance des racines, appréciée sur le terrain, dans les sols sur gneiss ou sur schistes. Dans ceux qui dérivent de granites, le seuil de vérification à une probabilité de 0,95 n'est pas atteint.

Tableau V
Corrélations liées au pourcentage de fraction indifférenciée
Correlations linked to percentage of undifferentiated fractions

	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
0		-0,258	-0,348	+0,355	+0,453	
		0,05 > p > 0,025	0,025 > p > 0,01	p < 0,005	p < 0,005	
		n = 55	n = 36	n = 55	n = 36	
10	-0,296			+0,416	+0,559	+0,462
	p < 0,005			p < 0,005	p < 0,005	p < 0,005
	n = 80			n = 80	n = 55	n = 36
25				+0,591	+0,351	+0,374
				p < 0,005	0,01 > p > 0,005	0,025 > p > 0,01
						n = 33
45						
	Eléments grossiers			Argile		

REMARQUES

La taille modale des unités structurales, dont l'estimation est exposée à un moindre danger de subjectivité que celle des proportions, n'a pas été confrontée à des paramètres quantitatifs (éléments grossiers, argile, matière organique, etc.). L'influence significative qu'elle exerce dans certains cas sur la plante-test sera précisée dans le tableau VIII illustrant une partie de la conclusion.

L'exploitation des données de la résistance à l'écrasement n'est pas terminée. Le stade actuel de son avancement montre que ce paramètre intervient d'une façon plus fréquente que le précédent dans le même domaine agronomique.

L'ABONDANCE DES RACINES

Le tableau VII regroupe les corrélations significatives qui ont été dégagées à propos de l'abondance des racines, estimée selon les observations de terrain. C'est avec les éléments grossiers que les liaisons, toutes positives, sont le plus nettes. Cette indication permet de conclure, au passage, que les gravillons ferrugineux et autres graviers de quartz,

sont loin de faire obstacle à l'enracinement. Ce comportement paradoxal à première vue tient, avec quelque probabilité, au rôle favorable des discontinuités ouvertes dans la matrice argileuse, par ces éléments de grandes dimensions.

L'argile constitue, pour sa part, un facteur négatif, sauf dans le niveau superficiel des sols sur granites, qui en est moins pourvu.

Autre paramètre granulométrique, la proportion de sables grossiers intervient d'une façon positive dans le niveau 25-45 cm des sols sur gneiss et de 10 à 45 cm dans ceux qui dérivent de schistes. Pour l'essentiel, nous retiendrons que cette influence s'affirme dès que l'argile dépasse 25 % environ.

Étant donné que les racines assurent l'assimilation minérale, la recherche de corrélation s'est orientée sur le pourcentage des divers éléments nutritifs. Il en ressort que l'azote témoigne d'une liaison limitée. Sauf pour le calcium, de 10 à 25 cm dans les sols sur gneiss, aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence quant aux cations échangeables. Par rapport au pH, la seule

Tableau VI
Corrélations liées aux mini-agrégats
Correlations linked to micro-aggregates

0*	Gr**	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
	+0,273	+0,438	+0,592	+0,427		-0,528	+0,371	+0,427	
	0,01>p>0,005	p<0,005	p<0,005	p<0,005		p<0,005	p<0,005	p<0,005	
10	n = 82	n = 55	n = 36	n = 82		n = 36	n = 82	n = 55	
	+0,292	+0,253	+0,300	+0,214	-0,247	-0,493	+0,385	+0,333	
	p<0,005	0,05>p>0,025	0,05>p>0,025	0,05>p>0,025	0,05>p>0,025	p<0,005	p<0,005	0,01>p>0,005	
25	n = 80	n = 55	n = 36	n = 80	n = 55	n = 36	n = 80	n = 55	
						-0,450		+0,402	
						0,01>p>0,005		0,025>p>0,01	
45						n = 33		n = 29	
	Eléments grossiers			Argile			Carbone total		
0	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc			
	+0,435	+0,380			+0,279				
	p<0,005	p<0,005			0,025>p>0,01				
10	n = 82	n = 55			n = 55				
	+0,504	+0,261			+0,267	+0,357			
	p<0,005	0,05>p>0,025			p=0,025	0,025>p>0,01			
25	n = 80	n = 55			n = 55	n = 36			
	+0,336				+0,399				
	p=0,025				0,025>p>0,01				
45	n = 36				n = 29				
	Azote total			rapport C/N					

*profondeur-limite des niveaux, en cm

**Gr : sols sur granites ; Gn : sols sur gneiss ; Sc : sols sur schistes

Tableau VII
Corrélations liées aux racines
Correlations linked to roots

0*	Gr**	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
	+0,272	+0,226		+0,199				+0,242	+0,310
	0,01>p>0,005	0,05>p>0,025		0,05>p>0,025				0,05>p>0,025	0,05>p>0,025
10	n = 82	n = 55		n = 82				n = 55	n = 36
	+0,232	+0,361			+0,240			+0,425	
	0,025>p>0,01	p<0,005			0,05>p>0,025			p<0,005	
25	n = 80	n = 55			n = 55			n = 55	
							+0,250	+0,251	
							0,025>p>0,01	0,05>p>0,025	
45							n = 77	n = 52	
	Carbone total			Azote total			P ₂ O ₅ total (att. nitrique)		
0	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc	Gr	Gn	Sc
	+0,332	+0,253	+0,436	+0,228		-0,367			
	p<0,005	0,05>p>0,025	0,01>p>0,005	0,025>p>0,01		0,025>p>0,01			
10	n = 82	n = 55	n = 36	n = 82		n = 36			
	+0,403	+0,342	+0,452		-0,265	-0,505			+0,457
	p<0,005	0,01>p>0,005	p<0,005		0,05>p>0,025	p<0,005			p<0,005
25	n = 80	n = 55	n = 36		n = 55	n = 36			n = 36
	+0,336	+0,278		-0,193	-0,420	-0,534		+0,281	+0,599
	p<0,005	0,025>p>0,01		0,05>p>0,025	p<0,005	p<0,005		0,025>p>0,01	p<0,005
45	n = 77	n = 52		n = 77	n = 52	n = 33		n = 52	n = 33
	Eléments grossiers			Argile			Sables grossiers		

*profondeur-limite des niveaux, en cm

**Gr : sols sur granites ; Gn : sols sur gneiss ; Sc : sols sur schistes

corrélations dégagées, positive et assez nette, concerne le niveau 10-25 cm des seuls sols sur granites ou sur gneiss.

En revanche, le phosphore total et l'abondance des racines sont, dans de nombreux cas, en corrélation significativement positive.

L'enracinement, remarquons-le en incidence, apparaît dépendre beaucoup plus des conditions physiques que de la richesse en éléments assimilables. En tout état de cause, la densité racinaire ne peut être considérée comme un facteur généralement positif du point de vue agronomique. Elle est, certes, corrélée positivement, dans quelques cas, avec le nombre de plants de cotonnier par unité de longueur de billon, ce qui est tout à fait logique. Mais elle entretient une corrélation négative, dans les sols sur schistes, avec le rendement global, en fonction de son importance dans le niveau 45-70 cm et de même, avec le rendement unitaire. Telles sont les seules liaisons significatives dégagées à son endroit. Il convient d'ajouter que, par ailleurs, les tendances les plus marquées sont négatives.

CONCLUSION

La démarche proposée suscite trois objections majeures. La première tient à la subjectivité inhérente aux observations de la plupart des caractères en cause. La deuxième, qui découle en grande part de la précédente, concerne la difficulté de la vulgarisation. Enfin, la troisième objection porte sur les limites du champ d'application :

– s'agissant de l'imperfection, voire de la carence possible de l'objectivité, ces écueils s'aggravent dans l'appréciation de la cohésion, de l'induration et de la résistance à l'écrasement des unités structurales. Une caricature facile du problème que posent ces trois caractères serait de remarquer qu'aucun observateur n'est doué du sens dynamométrique.

En fait, la méthode proposée traite uniquement d'échelles comparatives de divers stades de développement de caractères et de proportions relatives, remarquons-le à nouveau. D'autre part, une expérience de terrain un tant soit peu prolongée implique une mémorisation constamment élargie

et entretenue. Celle-ci permet, dans une large mesure, d'éviter les confusions. En définitive, d'un point de vue statistique, les appréciations et les estimations respectent l'ordre des différences réelles.

Nous sommes, ici, dans un cheminement analogue à celui que rapporte DE CAYEUX (1969). Selon cet auteur, FOREL et MERCALLI, à la fin du XIX^e siècle, ont proposé une échelle numérique qui, de 1 à 12, classait les conséquences des tremblements de terre, exprimées en langage naturel. Il s'est trouvé que celle de RICHTER, établie ultérieurement sur les logarithmes (de 1 à 9) des amplitudes mesurées, a confirmé le bien-fondé de la gradation empirique établie par ces prédécesseurs.

Et DE CAYEUX, prenant l'échelle de dureté des minéraux en second exemple, fait remarquer que les physiologistes WEBER et FERCHNER ont trouvé dans les appréciations sensorielles la traduction en fonctions linéaires de stimulations appliquées en progression géométrique.

Dans le travail présenté ici, cette loi naturelle s'est retrouvée dans la correspondance des appréciations visuelles codées aux déterminations pondérales de la densité racinaire. Un principe identique apparaît dans les proportions des ensembles structuraux. En revanche, les résultats de laboratoire indiquent, pour les éléments grossiers et l'argile, une progression quasi linéaire de l'ensemble des estimations de terrain :

- la deuxième objection, relative à la vulgarisation, porte sur l'impossibilité de transmettre en dehors du terrain l'essentiel de la perception des caractères :

- l'acuité, la précision et la fidélité des observations,

- l'uniformité du traitement mécanique des volumes échantillonnés qui permet, à l'aide d'un piochon, d'individualiser les fractions et les unités structurales,

- l'effort musculaire requis pour apprécier la cohésion ou l'induration, etc. Malgré tout, chaque observateur peut, sans grande difficulté, concevoir des échelles d'estimation dont les termes correspondent à ses propres capacités de discrimination. Il doit, en premier lieu, et ceci ne pose guère de problèmes, se référer aux extrêmes :

- dans le cas du drainage, aux sols le plus rapidement ressuyés et aux gleys,

- dans celui de la cohésion, au caractère « bouillant » des matériaux grossièrement sableux, d'une

part, et à la tendance à la cimentation des horizons B des planosols, d'autre part,

- pour les proportions, à l'absence et à l'exclusivité, etc.

- Il importe, par ailleurs, que le gradient de développement de chaque caractère, soit reconnu, correctement mémorisé et toujours traduit dans les mêmes termes linguistiques ou numériques.

Ces conditions réunies permettent aux échelles de valeurs établies par différents observateurs de correspondre les unes aux autres bien que la finesse de leur graduation puisse, naturellement varier. L'étude commune d'un nombre raisonnable de profils par plusieurs pédologues a, de fait, montré qu'une concordance satisfaisante des appréciations est très possible.

En outre, le traitement statistique, indispensable pour exploiter toutes ces informations, dispose des robustes méthodes non paramétriques. Celles-ci, rappelons-le, s'appliquent en toute indépendance des fonctions de distribution des variables. Cette particularité les destinent aux séries numériques qui traduisent, dans leur relativité, les gradients de développement des caractères macromorphologiques.

D'un point de vue général nombre de travaux, ont été réalisés dans la définition de la morphologie des sols. Les pédologues et les agronomes sont arrivés à pratiquer un langage commun et, ainsi, à se comprendre en dépit de fréquentes dérives vers l'exégèse. Un glossaire de pédologie a, par la suite, été proposé. Même s'il nécessite quelques retouches et compléments, il constitue un ouvrage de référence qui permet de préciser les informations de terrain et d'en améliorer la saisie.

- Enfin, une troisième critique concerne l'étendue du champ d'application de la méthode proposée. Il est évident que celle-ci ne peut, en aucune manière, se justifier par la substitution de termes numériques au langage naturel, dans les publications d'études morphologiques.

Cela étant, les développements littéraires consacrés aux profils de sols et à la pédogenèse présentent un intérêt certain. Mais ils évitent difficilement un académisme rebutant les non-initiés. Ils sont, en tout état de cause, très insuffisants pour éclairer avec la rigueur voulue les relations mutuelles des faits observés, celles qui sont entretenues avec les autres facteurs (quantitatifs) et leur influence sur les plantes.

Les paramètres qui interviennent dans le cadre de ces préoccupations, non seulement sont nombreux mais encore interviennent selon des fonctions mathématiques complexes et spécifiques. Et cette recherche de la compréhension ne peut aboutir sans une analyse statistique approfondie.

C'est ce à quoi vise la démarche entreprise. La première étape dans cette direction a consisté à

mettre en évidence des liaisons significatives entre les informations du domaine qualitatif et des données de laboratoire. Elle est, en quelque sorte, un test d'objectivité.

La fréquence et la cohérence d'ensemble des corrélations mentionnées antérieurement conduisent à penser d'abord que les données numériques comparatives et les estimations visuelles quanti-

Tableau VIII
Corrélations liées aux composantes du rendement
Correlations linked to yield components

0*	<i>Sols sur granites</i>	<i>Sols sur gneiss</i>	<i>Sols sur schistes</i>
	Drainage (+)**	Structure en place (+)	Cohésion (-)
	Unités nuciformes % (+)	Fraction particulière % (-)	Fraction indifférenciée % (-)
	Taille modale des éclats (-)	Eclats % (+)	Unités nuciformes % (+)
	Taille modale des unités nuciformes (+)	Mini-agrégats % (+)	
		Taille modale des unités nuciformes (-)	
10		Structure en place (+)	Drainage (-)
		Unités nuciformes (+)	Cohésion (-)
			Fraction indifférenciée % (-)
			Unités nuciformes % (+)
25	Drainage (+)	Structure en place (-)	Fraction indifférenciée % (-)
45	Unités nuciformes % (+)	Unités nuciformes % (+)	
	f(profondeur du sommet de l'horizon induré, degré d'induration)		f(profondeur du sommet de l'horizon induré, degré d'induration)
Rendement unitaire des plants			
0	<i>Sols sur granites</i>	<i>Sols sur gneiss</i>	<i>Sols sur schistes</i>
		Fraction particulière % (+)	Mini-agrégats % (+)
10		Fraction indifférenciée % (-)	
		Unités nuciformes % (-)	Mini-agrégats % (+)
		Taille modale des unités nuciformes (+)	Unités nuciformes % (-)
			Taille modale des unités nuciformes (+)
25	Taille modale des unités nuciformes (-)	Structure en place (+)	Eclats (-)
	Racines (+)	Unités polyédriques % (-)	Mini-agrégats (+)
45		Taille modale des unités nuciformes (+)	Racines (+)
	f(profondeur du sommet de l'horizon induré, degré d'induration)	f(profondeur du sommet de l'horizon induré, degré d'induration)	
Nombre de plants par unité de longueur des billons			
0	<i>Sols sur granites</i>	<i>Sols sur gneiss</i>	<i>Sols sur schistes</i>
	Drainage (+)	Eclats % (+)	Fraction indifférenciée % (-)
	Fraction indifférenciée % (-)	Mini-agrégats % (+)	Unités nuciformes % (+)
	Unités nuciformes % (+)	Taille modale des unités nuciformes (-)	
	Taille modale des unités nuciformes (+)		
10	Drainage (+)		Drainage (-)
	Eclats % (-)		Cohésion (-)
25	Unités nuciformes % (+)		Fraction indifférenciée % (-)
45	Unités nuciformes % (+)	Structure en place (-)	Fraction indifférenciée % (-)
		Fraction indifférenciée % (-)	
Rendement global par unité de surface			

1

* profondeurs-limites des niveaux, en cm

** signe de la corrélation

tatives sont assez conformes à la réalité. Et, surtout, elles montrent la nécessité de tenir compte du plus grand nombre possible de faits d'observation dans toute étude précise de la pédogenèse ou du comportement des sols.

On peut remarquer que les corrélations obtenues, n'intéressent pas, pour chaque caractère, tous les niveaux et ensembles lithologiques étudiés. D'autre part, la signification de certaines d'entre elles ne dépasse que très légèrement le seuil de probabilité usuellement fixé à 0,95. En réalité, ces imperfections se retrouvent tout aussi bien dans le seul domaine quantitatif. Un exemple en est fourni par les liaisons que l'on peut dégager entre les pourcentages de matière organique et d'argile (LÉVÈQUE, 1988). En outre, les analyses statistiques multidimensionnelles font ressortir le « poids » de ce qui est relégué dans le terme de tendances au cours d'une approche bidimensionnelle.

L'ensemble des résultats obtenus a permis d'inclure les valeurs attribuées aux caractères macro-

morphologiques dans l'analyse statistique non paramétrique des facteurs du rendement du cotonnier. Le tableau VIII extrait de cette étape exploratoire, car bidimensionnelle, les enseignements qui se rapportent au présent propos. S'il fait ressortir l'intervention prépondérante de la structure, il n'en indique pas moins que les autres caractères ne sont pas dénués d'importance, comme le drainage, la cohésion, etc. Il n'autorise certes pas des conclusions définitives quant à la part réelle de ces divers paramètres dans l'explication du rendement global. Une étude ultérieure traitera de ce sujet. Toutefois, elle permet dès maintenant de noter, à titre d'illustration, que le nombre des facteurs mentionnés ici, représente, selon l'origine lithologique des sols, de 28 à 45 % de celui de tous les paramètres significatifs.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 10 mars 1992

BIBLIOGRAPHIE

- BRYSSINE (G.), 1958. – Appréciation visuelle de la structure du sol en place. *Proceed. Intern. Symp. on Soil Structure*, Gand : 195-199.
- CAYEUX (A DE), 1969. – *La Science de la Terre*. Bordas, Paris : 101-102.
- CPCS, 1967. – Classification des Sols. Labor. de Géol., Ensa Grignon, *multigr.* : 83-85.
- DGRST-Orstom, 1969. – Glossaire de Pédologie. Description des horizons en vue du traitement informatique. Orstom, Paris, *Init. et doc. tech.*, n° 13, 82 p.
- LÉVÈQUE (A.), 1979. – Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciations des sols et remaniements superficiels. Orstom, Paris, *Trav. et Doc.*, n° 108, 224 p.
- LÉVÈQUE (A.), 1988. – L'influence de paramètres physiques sur la matière organique des sols ferrallitiques du nord de la Côte-d'Ivoire. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXIV, n° 4 : 363-365.
- PEERLKAMP (P. K.), 1958. – A visual method of soil structure evaluation. *Proceed. Intern. Symp. on Soil Structure*, Gand : 216-220.

ANNEXE

Classement en séries numériques des appréciations mentionnées sur le terrain en langage naturel

COHÉSION (*valeurs codées*)

Boulant : 1
 Assez boulant : 2
 Très meuble à tendance bouillante : 3
 Très meuble : 4
 Très meuble à meuble : 5
 Caractère meuble affirmé : 6
 Caractère meuble assez affirmé : 7
 Meuble : 8
 Assez meuble : 9
 Assez à moyennement meuble : 10
 Moyennement meuble : 11
 Assez peu meuble : 12
 Peu meuble : 13
 Très peu meuble : 14
 Légèrement cohésif : 15
 Moyennement cohésif : 16
 Assez cohésif : 17
 Cohésif : 18
 Très cohésif : 19
 En début de cimentation : 20

STRUCTURE EN PLACE (*valeurs codées*)

Particulaire : 1
 Particulaire à tendance massive : 2
 Particulaire à massive : 3
 Massive à particulaire : 4
 Massive à tendance particulaire : 5
 Massive : 6

PROPORTIONS DES ENSEMBLES STRUCTURAUX (*estimations quantitatives*)

Absent : 0 %
 Très rare : moins de 5 %
 Rare : de 5 à 10 %
 Peu abondant : de 10 à 17 %
 Assez peu abondant : de 17 à 25 %
 Moyennement abondant : de 25 à 35 %
 Assez abondant : de 35 à 45 %
 Abondant : de 45 à 60 %
 Très abondant : de 60 à 80 %
 Très dominant : de 80 à 100 %
 Exclusif : 100 %

ABONDANCE DES RACINES

(*Valeurs codées et correspondance approximative des pourcentages pondéraux déterminés sur le sol séché à l'air sans séparation préalable des éléments grossiers*)

Presque absentes : 1 (2 mmg/kg)
 Excessivement rares : 2 (7 mmg/kg)
 Très rares : 3 (9 mmg/kg)
 Rares à très rares : 4 (12 mmg/kg)
 Rares : 5 (14 mmg/kg)
 Assez rares : 6 (18 mmg/kg)
 Très peu nombreuses : 7 (20 mmg/kg)
 Très peu à peu nombreuses : 8 (22 mmg/kg)
 Peu nombreuses : 9 (26 mmg/kg)
 Peu à très moyennement nombreuses : 10 (30 mmg/kg)

Très moyennement nombreuses : 11 (38 mmg/kg)
 Moyennement nombreuses : 12 (53 mmg/kg)
 Assez à moyennement nombreuses : 13 (62 mmg/kg)
 Assez nombreuses : 14 (74 mmg/kg)
 Assez nombreuses à nombreuses : 15 (94 mmg/kg)
 Nombreuses : 16 (129 mmg/kg)
 Nombreuses à très nombreuses : 17 (216 mmg/kg)
 Très nombreuses à nombreuses : 18 (264 mmg/kg)
 Très nombreuses : 19 (455 mmg/kg)