HAL
open science

Etats, proprietes et comportements des sols: recherche et utilisation des criteres de fertlite physique

J. Boiffin, Gwendal Monnier

To cite this version:

J. Boiffin, Gwendal Monnier. Etats, proprietes et comportements des sols: recherche et utilisation des criteres de fertlite physique. Bulletin Technique d'Information - Ministère de l'Agriculture, 1982, 2 (3), pp.287-294. hal-02719011

HAL Id: hal-02719011

https://hal.inrae.fr/hal-02719011v1

Submitted on 1 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

B.T.I. 370/372 - 1982 L 1 - AGRO 122

ETATS, PROPRIETES ET COMPORTEMENTS DES SOLS : RECHERCHE ET UTILISATION DES CRITERES DE FERTILITE PHYSIQUE

J. BOIFFIN[1] , G. MONNIER[2]

Peut-on parler de «fertilité physique du sol» ? C'est bien dans le domaine physique que l'expression «fertilité» apparaît la plus contestable puisque le sol n'est alors considéré que comme support des cultures et des interventions culturales. C'est pourtant aussi dans ce rôle qu'il garde l'influence la plus difficile à réduire même dans les formes d'agriculture très artificialisées. Cette influence appelle, en certaines occasions, à formuler des jugements de valeur.

Or le cahier des charges fixé au sol support dépend du système de culture pratiqué et du système de production dont ce dernier fait partie. En outre, la plupart des variables physiques qui déterminent à chaque instant les conditions de la croissance végétale et des interventions culturales, sont en évolution incessante : l'état physique du sol n'est pas seulement une donnée permanente héritée de la pédogénèse, il est aussi et surtout le résultat plus ou moins fugace d'interactions entre les propriétés des matériaux constitutifs du sol, et différents facteurs externes : une vue d'ensemble de ces processus est donnée par le schéma de la Fig. 1.

Cette nécessité de distinguer l'état momentané du sol, le processus d'obtention de cet état, et ses répercussions nous conduit à retenir la définition proposée par MONNIER, STENGEL, GUERIF (1981), qui considèrent la fertilité physique comme *la plus ou moins grande facilité de créer et maintenir un état physique adapté, dans ses conséquences, au système de culture pratique.* Un sol n'a donc pas **une** fertilité intrinsèque définitive, mais **différentes** fertilités dont l'évaluation passe par 3 étapes distinctes :

- Définition de *l'état physique adapté* et l'inventaire des actions susceptibles de l'engendrer ou de le modifier.
- Recherche de critères de fertilité traduisant le rôle propre du sol dans l'obtention et le maintien de cet état.
- Utilisation de ces critères dans des procédures de jugement adaptées aux diférents problèmes agronomiques.

(1) Chaire d'Agronomie, INA-PG.
(2) Station de Science du sol, INRA Avignon.

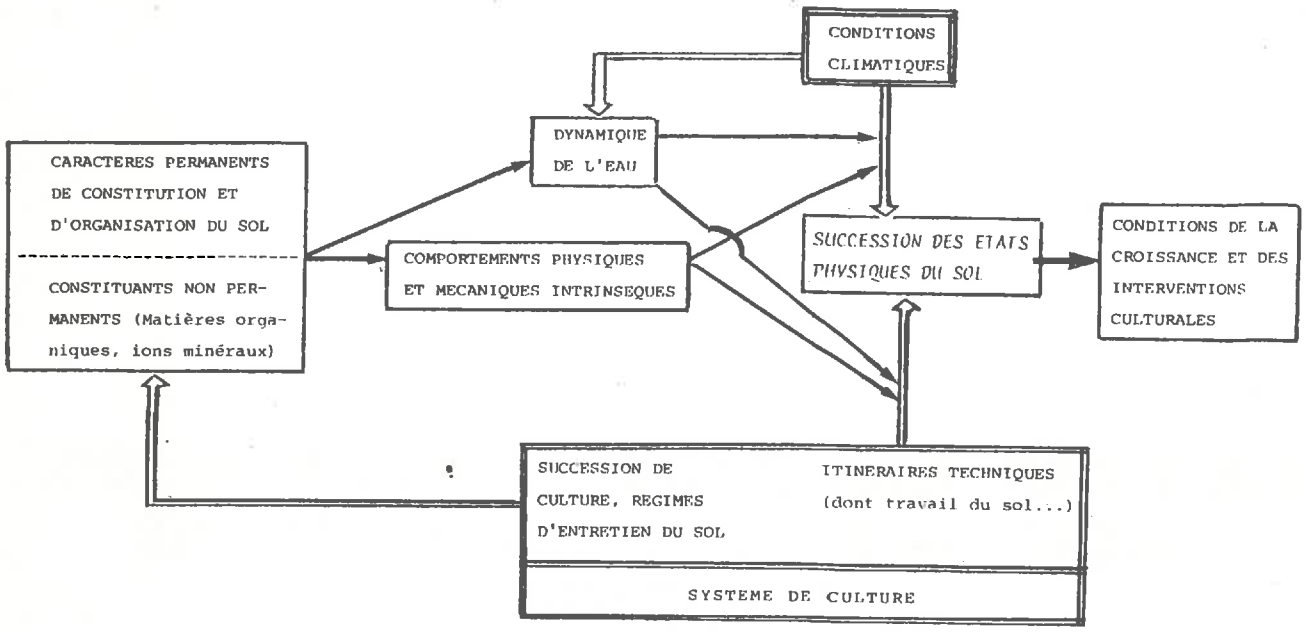

FIGURE 1

Schéma des interactions Sol-Climat-Système de culture déterminant les comportements physiques du sol

I - LE SOL, SYSTEME POREUX DEFORMABLE

1- L'état physique du sol et la plante

Vis à vis de la croissance du végétal, l'état physique du sol se caractérise à un moment donné par :

. Le profil de température, dont dépendent les vitesses de croissance des racines et des jeunes organes situées au ras du sol, les vitesses de germination et de levée des plantules, ainsi que les cinétiques de minéralisation de l'azote et du soufre organiques.

. La composition de l'atmosphère au niveau des points de consommation d'oxygène parfois intense que sont les racines vivantes, les semences et plantules en cours de germination-levée, les matières organiques fraîches en cours de décomposition.

. Les possibilités mécaniques d'élongation et de croissance radiale des organes souterrains, qu'il s'agisse là encore de tigelles ou de racines.

. La quantité et la mobilité de l'eau disponible pour assurer les flux d'imbibition des semences, puis de transpiration.

Or l'évolution de ces différentes variables dépend de 2 principales séries de facteurs liés au sol :

. Le volume et la configuration de l'espace poral.

. L'état de remplissage par l'eau de ce dernier, auquel correspondent globalement une énergie de rétention de l'eau par la phase solide et un taux de saturation de la porosité.

Au cours du cycle cultural, la réalisation de conditions physiques favorables correspond de façon très générale à l'obtention et au maintien :

. d'un réseau continu **dans tout le profil cultural,** de pores de relativement grande taille, susceptibles d'accueillir le système radiculaire, et d'assurer l'évacuation de l'eau saturante, ce qui favorise le renouvellement de l'atmosphère du sol et le réchauffement des couches superficielles ;

. d'une interface Sol-Atmosphère fragmentaire et perméable, dépourvue d'obstacles susceptibles d'entraver la levée, les échanges gazeux, la propagation de la chaleur, l'infiltration de l'eau.

2 - Les actions que subit le sol

Considéré comme système poreux, le sol est soumis à 3 types d'actions entraînant des modifications de son état.

a- Actions de désagrégation par l'eau : elles résultent de la conjonction de divers processus : compression de l'atmosphère interne des fragments terreux lors de leur imbibition, diminution de leur cohésion, effet de choc des gouttes de pluie... Ces actions se manifestent à la surface du sol par la battance et les formes plus ou moins graves d'érosion ; dans la

masse du profil par la coalescence des fragments, d'où une réduction parfois importante de la porosité.

b- Actions de fragmentation. Lors des opération de travail du sol, les pièces travaillantes provoquent des ruptures et des déplacements de fragments dont résulte généralement une augmentation de porosité. La réaction du sol aux pièces travaillantes dépend de son humidité ; lorsque celle-ci augmente la terre passe à l'état plastique, puis liquide.

D'autres processus, sans intervention mécanique, peuvent provoquer des résultats analogues : alternances d'humectation -dessication liées au climat et aux racines, gel et dégel. Les mécanismes qui déterminent le volume des pores fissuraux formés, encore imparfaitement connus, mettent en jeu les caractéristiques de la courbe de retrait-gonflement (point d'entrée d'air-limite de retrait) dans la gamme de variation du potentiel hydrique compatible avec les conditions climatiques et les caractéristiques physiques du matériau. En ce qui concerne la densité de fissuration, elle apparaît davantage liée aux conditions de variation de l'humidité.

c- Actions de tassement. Lorsqu'une pièce travaillante ou un pneumatique exercent une pression sur le sol, il en résulte une diminution plus ou moins importante et étendue de la porosité. L'influence de l'état hydrique du sol est prépondérante ; elle est décrite par les essais PROCTOR (compactage) ou oedométriques (compression). La forme des courbes obtenues (où est représentée la densité finale en fonction de l'humidité massique de l'échantillon, Fig. 2), met en évidence un seuil hydrique de plasticité (W_p) qui dépend de l'énergie mise en jeu.

A partir d'une certaine humidité, la totalité des discontinuités macroscopiques sont détruites par un tassement modéré (HUTTER, 1966 ; GUERIF, 1981). Dans cet état de compacité, l'état hydrique du sol bien ressuyé correspond pratiquement à la saturation et donc à des risques élevés d'anoxie.

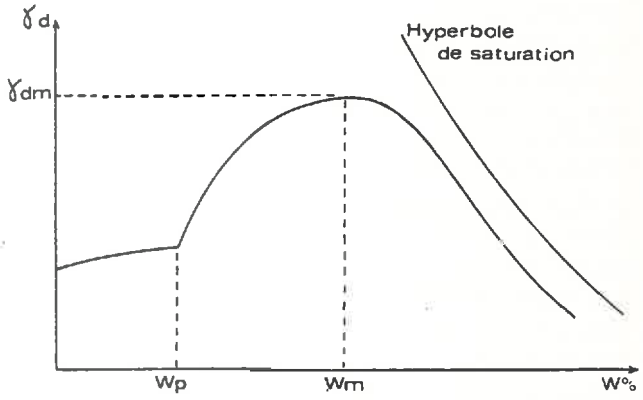

FIGURE 2

Influence de l'humidité sur le comportement d'un sol au compactage

3 - Conclusion

Ce bref rappel souligne le rôle majeur du comportement hydrique du sol, notamment vis-à-vis de l'eau saturante. Ce comportement détermine non seulement l'évolution des conditions de la croissance, mais aussi l'efficacité et le caractère plus ou moins dégradant des actions climatiques et des interventions culturales. Sur ce dernier point, c'est la notion même de praticabilité du terrain (PAPY, dans ce même numéro) qui est en jeu.

A cet égard, le sol n'est pas seulement un assemblage de matériaux constitutifs, c'est aussi un édifice structuré dont certains traits sont suffisamment pérennes pour devoir être pris en compte dans un jugement de fertilité. Schématiquement 2 cas s'opposent, en fonction de l'intensité et de la fréquence des actions climatiques et des interventions mécaniques:

- Dans les horizons les plus profonds l'état structural du sol est une donnée relativement permanente. La *facilité de créer et maintenir un état physique adapté* dépend en général de son degré de préexistence. La description des états peut donc fournir certains critères de fertilité.
- A la surface du sol, l'état structural est en continuel remaniement. L'évaluation de la fertilité physique concerne la réaction des matériaux constitutifs du sols aux actions précédemment évoquées et non plus leur état momentané:

II - RECHERCHE DE CRITERES DE FERTILITE

Les remarques précédentes amènent à considérer 2 séries de critères, dont l'emploi respectif est à pondérer selon la pérénnité des états observés et selon l'échelle de temps à laquelle correspond le jugement de la fertilité.

1 - Critères relatifs aux états.

Ils concernent essentiellement le volume et le fonctionnement hydrique du réseau poral.

L'évaluation de la porosité totale d'un volume

donné de sol en place (par détermination des densités apparente et réelle) souvent associé à des tests de résistance à la pénétration, a quelque fois permis de dégager certaines corrélations avec des indices de développement ou de morphologie racinaire (MAERTENS, 1963 ; MORLAT et al., 1981). Mais ces relations ne sont stables que dans des gammes assez étroites de situations pédologiques. Ceci tient sans doute au fait que la porosité totale évalue globalement un ensemble très hétérogène allant des espaces interfoliaires des argiles aux lacunes subsistant entre 2 bandes de labour.

Depuis quelques années, une méthode d'analyse de la porosité totale a été mise au point (MONNIER et al, 1973 ; STENGEL, 1979 ; FIES et STENGEL, 1981). Elle consiste à distinguer un espace poral textural, lié à l'assemblage des constituants granulométriques élémentaires, d'un espace poral structural, constitué par les discontinuités d'origine externe au matériau. Dans la majorité des cas, ce sont les variations de cette deuxième catégorie qui sont susceptibles d'être mises en relation avec la circulation de l'eau saturante et le développement du système radiculaire. Elles correspondent souvent à des variations morphologiques perceptibles visuellement.

En définitive, à l'échelle de l'ensemble du profil cultural (qui peut, selon les cas, se trouver plus ou moins profond que le profil pédologique), le diagnostic sur l'état structural du sol consiste à établir une description morphologique (une sorte de carte des zones d'aspect typique), quantifiée ponctuellement par l'analyse des systèmes de porosité, et dans certains cas par des déterminations complémentaires sur la dynamique de l'eau (coefficients de perméabilité en régime saturé). Cette échelle d'observation du sol, seule compatible avec la définition de la fertilité physique proposée, implique une attention toute particulière au repérage des discontinuités de toute nature (et notamment de compacité) susceptibles de limiter la profondeur d'enracinement (donc la réserve utile du sol) ou la vitesse de ressuyage.

2 - Critères relatifs aux comportements

En l'état actuel, 3 propriétés font l'objet de procédures d'évaluation auxquelles on peut accorder une certaine valeur prédictive vis-à-vis des comportements au champ.

a- La stabilité structurale.

C'est l'aptitude d'une terre à maintenir son état d'agrégation lors d'une agression par l'eau. Dans la conception qui prévaut en France, on s'efforce d'évaluer la stabilité intrinsèque des matériaux testés, indépendamment de leur état structural contingent ; pour cela on standardise les conditions de désagrégation à leur niveau le plus sévère. Les méthodes d'évaluation reposent sur la mise en oeuvre d'une série de tests (HENIN et MONNIER, 1956) dont les résultats sont combinés dans un indice unique (log 10 S) dont les valeurs s'étalent de 0 (terres très stables) à 3 (terres très instables). La correspondance entre les observations au champ et les valeurs de cet indice est présentée dans le tableau 1.

TABLEAU 1

Classes de stabilité structurale d'après log 10 S

Stabilité	log 10 S	Evolution structurale probable
Très stables	< 1	- Aucune manifestation de désagrégation. - Effet durable des sous solages et labours profonds réalisés en conditions sèches.
Stables	1,0 - 1,3	- Battance peu probable et peu intense. - Prise en masse hivernale rare. - Sensibilité à l'érosion faible, même sur pentes fortes.
Stabilité médiocre	1,3 - 1,7	- Battance fréquente et accentuée en conditions pluvieuses. - Prise en masse lors d'excédents hydriques prolongés. - Erosion en rigole sur pentes fortes (> 3 %).
Instables	1,7 - 2,0	- Battance et prise en masse fréquentes en conditions climatiques normales. - Erosion fréquente sur pentes moyennes.
Très instables	> 2	- Battance et prise en masse généralisées. - Imperméabilité totale en fin d'hiver. - Erosion sur pentes très faibles.

Indépendamment de cette interprétation globale, la prise en considération de chacun des tests peut conduire à une analyse plus poussée portant sur les facteurs de stabilité et sur ses variations dans l'espace et le temps : le taux d'agrégats stables après prétraitement alcool est très sensible à la cohésion de la terre à l'état humide, qui dépend principalement de la texture et de la garniture ionique de l'argile. Le taux d'agrégats stables après prétraitement benzène (Ag b) reflète principalement les variations de mouillabilité du sol liées à la présence de constituants organiques.

b- L'aptitude à la fissuration

Elle traduit l'intensité des mécanismes de division du massif terreux par gonflement et retrait sous l'effet des variations d'humidité. Les résultats disponibles proviennent pour l'instant de tests empiriques (HENIN et BOSQUET, 1964 ; TRI, 1968 ; TRI et MONNIER, 1973). Ils ont fait apparaître le rôle de la texture (MONNIER et STENGEL, 1982). Le bien fondé de la notion d'aptitude à la fissuration entendue comme caractère intrinsèque ne dépendant, sous un climat donné, que de la constitution du matériau, est étayé par les résultats de STENGEL (1979) : en l'absence de

travail du sol, la porosité structurale d'une gamme d'horizons limoneux appartenant au même site pédoclimatique est très étroitement corrélée à leur teneur en argile.

c- La sensibilité au compactage

En l'état actuel elle peut être appréhendée à partir des courbes précédemment évoquées (Fig. 2), établies en conditions d'effort mécanique standard.

L'humidité W_p, à partir de laquelle la pente de la courbe s'accroît brusquement, peut être considérée comme le seuil hydrique de sensibilité au compactage à l'énergie considérée.

Le poids volumique γ_{dm} correspondant au maximum de compacité, reflète l'intensité des remaniements engendrés. L'humidité W_m qui permet de l'obtenir est également caractéristique du matériau testé.

Des relations empiriques ont été établies par voie statistique (GUERIF et FAURE, 1979) entre ces paramètres et la constitution minérale et organique des matériaux. En dépit de leur bonne valeur prédictive, ces références ne permettent pas d'apprécier sans ambiguïté la sensibilité des matériaux de façon comparative : la densité finale ne suffit pas à exprimer l'effet d'un compactage ; il serait préférable de traduire celui-ci en variation de porosité structurale. En outre, l'expression de l'humidité en termes de potentiel permettrait d'élargir les comparaisons de matériaux (GUERIF, 1981).

III - UTILISATION DES CRITERES DE FERTILITE PHYSIQUE

1 - Position du problème

Dans la pratique, l'appréciation des qualités du sol relève surtout de la démarche d'expert. Une méthode plus explicite, s'appuyant sur les critères précédemment évoqués, peut s'avérer nécessaire, par exemple s'il faut effectuer une prévison d'évolution des comportements. On se heurte alors à plusieurs types de difficultés :

. Les réactions des plantes aux états physiques du milieu sont insuffisamment connues, d'où une certaine imprécision dans la définition des *états physiques adaptés.*

. On sait mal caractériser physiquement les actions subies par le sol (pluie, actions mécaniques) en raison notamment de leur complexité. Or ces actions sont de nature et d'intensité différentes de celles qui sont mises en oeuvre dans les tests de comportement intrinsèque : le passage des comportements intrinsèques aux comportements au champ demeure un objet de recherches.

. Enfin les actions que subit le sol et les conditions dans lesquelles elles s'exercent, ont souvent un caractère aléatoire et peu prévisible. Ceci renforce la nécessité d'une analyse du rôle du climat dans les comportements du sol in situ, aboutissant à la définition des paramètres climatiques pertinents : on peut alors étudier, par analyse fréquentielle récurrente, leurs lois de distribution. Un mode privilégié d'expression de la fertilité physique serait ainsi la probabilité d'obtention d'états-types, favorables ou défavorables, sous un climat donné, et pour un régime d'interventions mécaniques donné.

2 - Quelques tentatives

Les exemples qui suivent visent à montrer que la connaissance des critères de fertilité physique doit être résituée dans une analyse d'ensemble de l'écosystème Climat-Sol-Plante si l'on veut pouvoir déduire de ces critères une interprétation précise et efficace.

a- Fertilité et profondeur de sol

Il est généralement admis que ces 2 termes sont liés. Pourtant on constate que l'influence de la profondeur de sol sur les rendements des cultures dépend de l'année et de la culture. MONNIER (1971), à partir d'une étude pluriannuelle en cases lysimétriques, a montré que cette influence pouvait être comprise et prévue à partir de moment où :

- l'on substitue à la notion ambiguë de *profondeur de sol* celle de *réserve utile,* mieux définie physiquement;
- l'on met en relation les variations de rendement avec celles de l'emprunt à la réserve utile des cases de profondeur variable. Le rôle limitant de l'alimentation hydrique apparaît alors clairement.

Or, l'emprunt à la réserve utile est bien correlé à la différence entre l'évapotranspiration potentielle et les pluies pendant la période de croissance active. Dès lors la connaissance des fréquences de déficits climatiques correspondant à différents cycles végétatifs dans une région donnée, permet d'utiliser la réserve utile, **critère de fertilité,** pour estimer des probabilités de niveaux de rendements pour lesquels tout autre facteur limitant que l'eau et la lumière serait levé.

b- Propriétés physiques des sols et enracinement des vergers.

Les plante pérennes subissent les événements pédoclimatiques tout au long du leur cycle ; les risques encourus sont donc cumulés. De ce fait, le caractère aléatoire de certains comportements physiques, comme la prise en masse sous l'effet d'engorgements temporaires, est en quelque sorte atténué puisque la probabilité que se produise cet accident augmente en proportion de la durée de vie de l'arbre. La persistance d'un état physique favorable à l'installation et à la survie des racines est alors d'autant plus fortement déterminée par les propriétés intrinsèques des matériaux constitutifs du sol.

C'est ainsi que GRAS (1961), étudiant de nombreux profils sous vergers dans une région à hiver pluvieux, a observé une étroite correspondance entre la qualité de l'enracinement et les indices de stabilité structurale. Dans un tel contexte, ces derniers peuvent être utilisés comme des **critères de fertilité** permettant de raisonner la localisation des vergers.

c- Risques de mauvaise levée en terre battante

Mettant en jeu des processus voisins de ceux du cas précédent, ce problème est, par contre, dominé par les aspects aléatoires et contingents. Ainsi les risques de mauvaise levée sont variables selon les caractères des semences et la gravité d'une mauvaise levée dépend du type de peuplement végétal mis en place. Les événements climatiques (sècheresse ou pluies battantes) qui se produisent en cours de germination-levée, c'est-à-dire pendant un court délai après le semis, jouent un rôle prépondérant ; leur influence est modulée par l'état structural initial du lit de semence et le placement des graines. Dans cet ensemble complexe de facteurs et de conditions, comment distinguer le rôle propre du sol et de ses caractères durables ?

A partir d'observations pluriannuelles réalisées en sol limoneux très battant sur Maïs et Colza, BOIFFIN et al (1975 , 1981) ont proposé d'établir dans un premier temps une typologie des séquences climatiques succédant au semis, permettant de classer leur degré d'agressivité. La comparaison de sols de propriétés physiques différentes peut alors se faire selon les types de circonstances climatiques : l'effet positif d'une stabilité structurale plus élevée (correspondant à des valeurs de 1,8 au lieu de 2 pour log 10 S), ne s'extériorise sur la densité de levée qu'en conditions moyennes agressives, qui n'ont d'effets dépressifs que sur les parcelles les moins stables. En conditions climatiques favorables, ou à l'inverse en conditions climatiques très propices à la battance, une variation de stabilité de cette amplitude n'a pas d'influence perceptible.

L'expression du critère de fertilité *stabilité structurale* consiste à modifier les seuils d'agressivité des pluies. L'analyse fréquentielle des séquences de pluies dangereuses en périodes de semis permet ensuite de chiffrer le bénéfice d'un accroissement de stabilité (par élévation de la teneur en matière organiue, par exemple). Pour un agriculteur il se traduira, à même niveau de risques encourus, par un élargissement des périodes propices au semis (donc une extension possible des surfaces ou une amélioration du calendrier de travail) ; à même niveau de surfaces et d'équipement par un accroissement de sécurité : on est loin d'une évaluation de la fertilité en termes de rendements moyens.

3 - Qualités des critères de fertilité. Notion d'indicateur.

Les exemples précédents montrent qu'il n'y a pas de fertilité «en soi» : le choix et l'utilisation des critères de fertilité physique posent avant tout un problème de pertinence vis-à-vis de la situation étudiée. Mais il faut aussi disposer d'une batterie de critères efficaces. Cette efficacité apparaît comme une sorte de compromis entre des exigences plus ou moins contradictoires (MONNIER, STENGEL, GUERIF, 1981) :

. de spécificité vis-à-vis du type d'action envisagée ;

. de généralité vis-à-vis des mécanismes physiques multiples qui interviennent dans cette action.

Par exemple, la stabilité structurale considérée globalement est basée sur des propriétés fondamentales du matériau aussi différentes que la mouillabilité et la cohésion de la terre humide. C'est sans doute pour cela qu'elle permet de comparer des comportements de sols soumis à des actions de désagrégation très variées.

Mais ce compromis est loin d'être obtenu pour tous les cas de figure où se pose le problème de l'évaluation de la fertilité physique du sol. Par exemple. Les problèmes posés par les interactions Sol-Outil sont encore mal pris en compte.

Un autre type d'exigence provient de la nécessité de prévoir des évolutions à moyen terme, en relation notamment avec les variations des constituants organiques du sol : celle de **sensibilité.** En effet, la plupart des évolutions défavorables des propriétés physiques des sols sont à la fois difficilement perceptibles à court terme, et difficilement réversibles. Ceci pourrait

conduire à adjoindre à des critères à signification physique bien établie, mais dont la sensibilité est parfois insuffisante, un petit nombre d'**indicateurs** réagissent fortement aux modifications de constitution ou d'organisation durable des matériaux. Tel est par exemple le rôle du taux AgB vis-à-vis des teneurs en matière organique du sol. Parallèlement, la mise au point de modèles d'évolution à moyen et long terme de ces caractéristiques de constitution ou d'organisation, devrait permettre d'obtenir en temps utile, par simulation, des indications sur les conséquences probables du maintien d'un système de culture ou de sa modification plus ou moins profonde.

BIBLIOGRAPHIE

BOIFFIN J., FABRE B., GAUTRONNEAU Y., SEBILLOTTE M. 1981. *Informations Techniques.* CETIOM (73), 12-28.

BOIFFIN J., SEBILLOTTE M., DUBY C. 1975. *Ann. Agron.,* 26 (5), 555-591

FIES J.C., STENGEL P. 1981 *Agronomie,* 1 (8), 651-658.

GRAS R. 1961. *Ann. Agron.,* 12 (2). 207-248

GUERIF J. 1981 *Agronomie* (à paraître)

GUERIF J., FAURE A. 1979. *An. Agron.,* 30 (5), 387-399

HENIN S., BOSQUET P. 1964. *C.R. Acad. Agric. Fr.,* 842-846

HENIN S., MONNIER G. 1956 *C.R. VIe Congrès* AISS PARIS. Vol B, 49-52

HUTTER W. 1966 *Ann. Agron.,* 17 (1), 37-52

MAERTENS 1963. *Sci Sol,* 31-39

MONNIER G., 1971. *Ann, Agron.,* 22 (2), 183-195

MONNIER G., STENGEL P. 1982 , *BTI N°* , pp.

MONNIER G., STENGEL P., FIES J.C. 1973 *Ann. Agron.* 24 (5), 533-545

MONNIER G., STENGEL P., GUERIF J. 1981, *Séminaire CEE-AGRIMED. BARI*

MORLAT R., PUISSANT A., ASSELIN C., LEON H., REMOUE M. 1981. *Sci Sol.* (2), 147-160

STENGEL P. 1979, *Ann. Agron.* 19 (4), 415-439

TRI Bui Huu 1968. *Ann Agron,* 19 (4), 415-439

TRI Bui Huu, MONNIER G. 1973. *Ann Agron.,* 30 (5), 387-399