



HAL
open science

Recherche de critères de la fertilité physique du sol et de son évolution en fonction du système de culture

Gwendal Monnier, Pierre Stengel, Jérôme Guerif

► **To cite this version:**

Gwendal Monnier, Pierre Stengel, Jérôme Guerif. Recherche de critères de la fertilité physique du sol et de son évolution en fonction du système de culture. Séminaire CEE Agrimed, Sep 1981, Bari, Italie. hal-02783100

HAL Id: hal-02783100

<https://hal.inrae.fr/hal-02783100>

Submitted on 4 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.

ANC 122

RECHERCHE DE CRITERES DE LA FERTILITE PHYSIQUE
DU SOL ET DE SON EVOLUTION EN FONCTION
DU SYSTEME DE CULTURE (*)

G. MONNIER, P. STENGEL, J. GUERIF
I.N.R.A. - Station de Science du Sol d'Avignon
B.P. 91 - 84140 MONTFAVET (France)

La notion générale de fertilité est ambiguë: on désigne ainsi, selon les cas, soit la production agricole *actuelle* d'un milieu, soit son *aptitude* à produire. Plus précisément qualifiée, la fertilité peut correspondre à l'évaluation d'un ensemble donné de propriétés importantes pour la production; c'est dans ce sens qu'on parle de "fertilité physique". Tel- le quelle, cette conception est fallacieuse: elle implique, en effet, que le jugement porté puisse avoir une valeur *intrinsèque*, indépendante de ses modalités d'utilisation, *et définitive*. De nombreux exemples permet- traient de montrer qu'il n'en n'est rien. C'est ainsi que, pour se limi- ter à un cas simple, la fertilité physique comparée des sols argileux et des sols limoneux est appréciée différemment selon la succession cultura- le pratiquée; elle a, de plus, varié, dans le temps en raison de l'évolu- tion des techniques de travail du sol et de leurs contraintes pratiques.

Située dans le cadre d'un système de culture, susceptible d'évolu- tions, la notion de fertilité physique du sol prend une signification plus restrictive, plus contingente, mais beaucoup plus concrète: nous la dé- finirons ici comme la plus ou moins grande *facilité de créer et de ma- intenir un état physique adapté, dans ses conséquences, au système de culture pratiqué*.

De ce point de vue, les propriétés et le fonctionnement des cou- ches de surface du sol prennent une importance toute particulière. C'est

(*) "Evolution du niveau de fertilité des sols dans différents systèmes de cultures - critères pour mesurer cette fertilité". Séminaire CEE-Agrimed - Bari, 28-30 sep- tembre 1981.

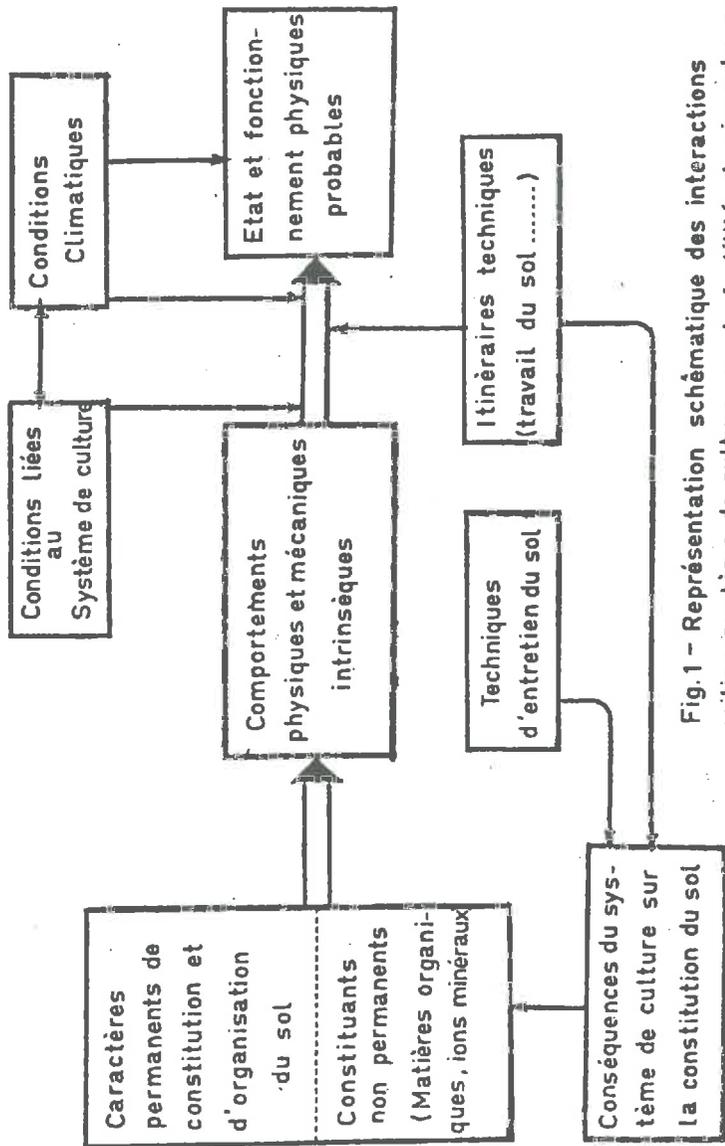


Fig.1 - Représentation schématique des interactions milieu-système de culture, sur la fertilité physique des sols

sur elles que l'agriculteur peut agir; c'est aussi à leur niveau, que sera le plus sensible, une évolution provoquée par le système de culture.

Ainsi définie, il est clair que la fertilité physique résulte d'interactions entre des caractéristiques permanentes ou quasi-permanentes du sol, mais aussi du climat, et les différentes contraintes et actions exercées sur le sol du fait de son utilisation dans un système de culture donné. La représentation schématique de ces interactions (fig. 1), fait apparaître la place centrale occupée par les *comportements physiques et mécaniques intrinsèques des sols*; c'est à leur niveau que nous rechercherons un premier groupe de critères de fertilité. Ces comportements dépendent pour l'essentiel de la constitution minérale et organique des couches de surface; nous examinerons donc également le parti que l'on peut escompter de l'analyse de ces relations, notamment pour le choix de *critères d'évolution de la fertilité*.

1. Recherche de critères de comportement

Ces comportements traduisent la réaction des sols et, tout particulièrement, celle des matériaux constitutifs des couches de surface à un ensemble d'actions d'origine climatique et culturale:

- Des actions de *fragmentation*, accompagnées ou non du tri des éléments qui en résultent.
- Des actions de tassement.
- Des actions de désagrégation.

Trois principaux groupes de propriétés commandent le comportement du sol vis-à-vis de ces actions:

1.1. La stabilité structurale

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 agrégats soumis au test sont de petite taille et calibrés (< 2 mm); ils sont, au préalable, séchés à l'air et mis brutalement au contact de l'eau. La méthode repo-

pose sur la mise en oeuvre d'une série de tests (S. HENIN et G. MONNIER, 1956), dont les résultats sont combinés dans un indice unique ($\log 10 S$). La valeur de ce dernier croît de valeurs voisines de zéro à plus de 3, lorsque l'instabilité augmente. Le calage de cet indice global par rapport à l'évolution observée "in situ" a permis, à partir des nombreuses données disponibles, d'établir une grille d'interprétation en termes de risques qui figure au tableau 1.

Tableau 1 – Classes de stabilité structurale d'après $\log 10 S$

Stabilité	$\log 10 S$	Evolution structurale probable
Très stables	< 1	<ul style="list-style-type: none"> – Aucune manifestation de désagrégation. – Effet durable des sous solages et labours profonds réalisés en conditions sèches.
Stables	1,0 – 1,3	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – Battance et prise en masse fréquentes en conditions climatiques normales. – Erosion fréquente sur pentes moyennes.
Très instables	> 2	<ul style="list-style-type: none"> – Battance et prise en masse généralisées. – Imperméabilité totale en fin d'hiver. – Erosion sur pentes très faibles.

Indépendamment de cette interprétation globale et empirique, la prise en considération du résultat de chacun des tests peut conduire à une analyse plus poussée portant sur les facteurs de la stabilité et sur

ses variations éventuelles dans l'espace et (ou) dans le temps. Cette analyse est basée sur la connaissance théorique (S. HENIN, 1938) et expérimentale (G. MONNIER, 1965; S. HENIN et J. CONCARET, 1965) des mécanismes de la désagrégation.

La cohésion à l'état humide des assemblages terreux est un premier facteur de stabilité. Le taux d'agrégats stables après prétraitement à l'alcool éthylique (Ag_a) est très sensible à cette propriété qui dépend principalement de la texture et de la garniture ionique de l'argile (peut-être aussi de son état de compacité).

La mouillabilité du sol est le deuxième facteur important qui intervient dans le processus de désagrégation: elle commande en effet la pression à laquelle est portée l'atmosphère interne d'un agrégat lors de son humectation. Le prétraitement au benzène, en accentuant le rôle de ce facteur fait du taux d'agrégats stables correspondant Ag_b , un indicateur très sensible des variations de stabilité liées à la nature, la localisation et la teneur des matières organiques du sol (G. MONNIER, 1965).

Le tableau 2, illustre ces deux types de sensibilité particulière:

Tableau 2 — Influence des facteurs de stabilité sur les différents tests

Echantillon	A%	Texture	M.O. tot. %	$100 \times \frac{\text{M.O. liée}}{A}$	Ag_a %	Ag_b %
Sol n° 1 0-25 cm	20	limoneuse	3,05	13,0	20,5	5,8
Ss-sol n° 1 30-40 cm	21	limoneuse	0,7	2,9	19,0	0,5
Ss-sol n° 2 30-40 cm	55	argileuse	1,8	2,9	59,0	1,1

Ces données font clairement apparaître que le test au benzène (Ag_b), met de façon sensible en évidence le rôle des matières organiques (sol 1 versus sous-sol 1), mais qu'il est peu sensible aux conséquences de la texture sur la cohésion de la terre à l'état humide (ss-sol 1 versus ss-sol 2), alors que le test à l'alcool (Ag_a) a des performan-

ces complémentaires.

1.2. L'aptitude à la fissuration

Elle traduit l'intensité des mécanismes de division du matériau par gonflement et retrait sous l'effet des variations d'humidité (humectation et dessiccation), et sous l'effet du gel. Les mécanismes qui déterminent le volume de 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 de potentiel hydrique compatible avec les conditions climatiques et les caractères physiques du matériau. En ce qui concerne la densité de fissuration, elle apparaît davantage liée aux conditions de variation d'humidité.

Les résultats disponibles proviennent de tests empiriques (S. HENIN et P. BOSQUET, 1964; TRI, 1968; TRI et G. MONNIER, 1973). Comme dans le cas de la stabilité, ils privilégient la conception intrinsèque du comportement du sol. Ils ont fait apparaître le rôle de la texture, principalement de la teneur en argile. La présence de matières organiques liées tend à réduire l'intensité de la fissuration. (P. OSTY, 1971). Enfin, cette propriété dépendant du caractère gonflant de l'argile est très influencée par les espèces minéralogiques présentes dans la fraction $< 2 \mu$; c'est ainsi, que R. CANNEL *et al.* (1978), notent que l'association de smectite et de calcaire fin paraissent conférer au sol une aptitude particulière au "selfmulching" consécutive à une capacité intense de fissuration.

A l'heure actuelle, on ne peut donc proposer qu'un classement empirique sur la base de la composition granulométrique (fig. 2 b). On peut distinguer quatre classes d'aptitude à la fissuration:

Classe 1: Sols à teneur en argile supérieure à 40 % présentant une excellente aptitude à la fissuration, sauf dans le cas d'argiles pauvres en smectites.

Classe 2: Sols à teneur en argile comprise entre 25 et 40% présentant une aptitude à la fissuration moyenne quelle que soit la granulométrie du squelette limono-sableux.

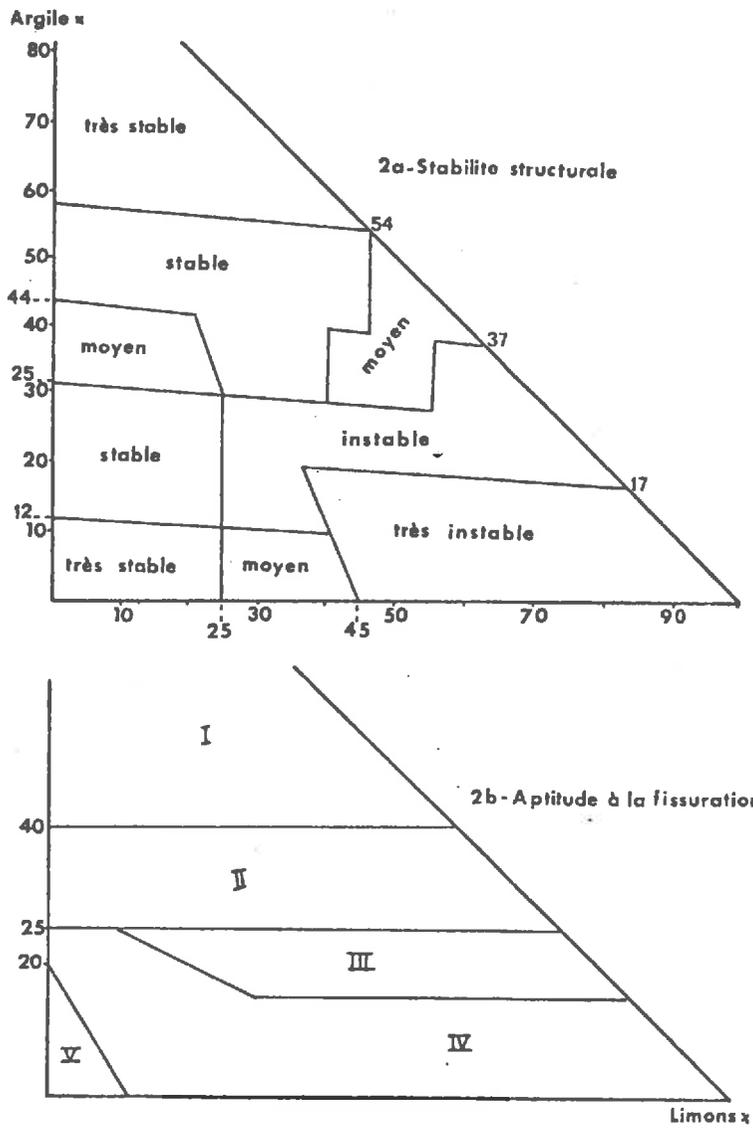


Fig. 2 - Relation entre la texture des sols et leur comportement

Classe 3: Sols à teneur en argile comprise entre 15 et 25% (à l'exception des matériaux à squelette sableux) présentant une aptitude à la fissuration réduite.

Classe 4: Sols sablo-argileux et sols à teneur en argile inférieure à 15% présentant une aptitude nulle à la fissuration.

En l'absence de travail du sol, la porosité structurale n_s (P. STENGEL, 1979) ne provient que de la fissuration par gonflement et retrait, et de l'activité biologique (galeries de vers de terre, etc.). Dans de telles conditions, il a été possible d'établir dans une gamme de teneur en argile A allant de 18 à 30%, une régression linéaire permettant de caractériser l'état structural in situ probable en sol de limon bien drainé (dans les conditions climatiques moyennes du Bassin Parisien):

$$n_s = 0,44 A - 0,32 W + 4,8 \quad n = 34 \quad r = 0,94$$

dans laquelle la teneur en eau W exprime l'état de gonflement au moment de la mesure.

Cette relation confirme et précise, dans le cas particulier étudié, le rôle de la teneur en argile sur la persistance d'une porosité de fissure en l'absence prolongée de tout travail du sol.

1.3. La sensibilité au compactage

Le comportement d'un matériau au compactage est le plus souvent représenté (fig. 3) par la courbe décrivant les variations de poids volumique en fonction de l'humidité sous l'effet d'un effort mécanique standard au laboratoire. (Essais Proctor ou oedométrique).

Les principales caractéristiques de telles courbes sont:

- L'humidité W_p à partir de laquelle la pente de la courbe s'accroît brusquement et que l'on peut considérer comme seuil hydrique de sensibilité au compactage à l'énergie considérée.
- L'humidité W_m et le poids volumique γ_{dm} correspondant au maximum de compacité atteinte au cours de l'essai.

Un certain nombre de relations empiriques ont été établies par voie statistique (J. GUERIF et A. FAURE, 1979) entre ces valeurs ca-

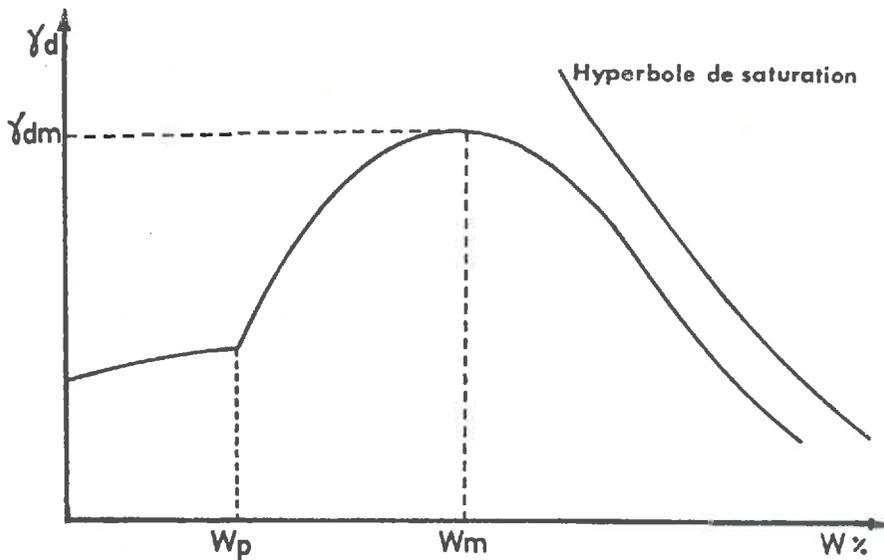


Fig. 3 - Influence de l'humidité sur le comportement d'un sol au compactage

ractéristiques du comportement du sol au compactage et sa constitution minérale et organique. C'est ainsi que par exemple:

$$W_p = 0,27 A + 1,52 M.O. \quad n = 45 \quad r = 0,84$$

$$\frac{100}{\gamma_{dm}} = 0,20 A + 2,65 M.O. + 0,50 \quad n = 91 \quad r = 0,87$$

où A et M.O. représentent respectivement les taux d'argile et de matières organiques totales.

Ces relations, si elles mettent clairement en évidence l'importance de la constitution et singulièrement de la teneur en matières organiques, ne permettent pas encore d'apprécier sans ambiguïté la sensibilité des matériaux de façon comparative. La densité ne suffit pas à caractériser l'état résultant d'un compactage; ceci est particulièrement vrai

dans le cas des sols gonflants où la densité ne peut être interprétée indépendamment de l'état de gonflement du matériau: il serait alors préférable d'exprimer le résultat du compactage en terme de porosité structurale. Quant à l'humidité, elle gagnerait, dans le *même objectif de comparaisons générales*, à être exprimée en terme de potentiel. (J. GUE-RIF, 1981).

En définitive, le critère de sensibilité au compactage semble devoir reposer sur l'évaluation de la pression qui, appliquée dans la gamme des potentiels hydriques les plus probables au moment des roulages, conduit à descendre au-dessous de valeur-seuil de la porosité structurale. Ces seuils pourraient, eux-mêmes, être fixés en fonction des valeurs de conductivité hydraulique et (ou) de teneur en air qu'ils commandent.

2. Recherche de critères de constitution

Nous avons vu que, dans de nombreux cas, les comportements de base que nous venons de présenter, dépendent étroitement de la constitution (granulométrique, minéralogique, ionique et organique) des matériaux terreux.

On peut alors se demander si des critères de constitution, situés de ce fait à l'amont des précédents, ne pourraient pas compléter ces derniers voire, dans certains cas, se substituer à eux.

Communs aux différents comportements de base déjà largement utilisés pour la caractérisation physique générale des sols, aisément accessibles en routine et figurant au moins en valeurs moyennes sur la plupart des documents cartographiques à grande échelle, ces critères présentent de nombreux avantages.

En revanche, s'ils sont susceptibles de faciliter la synthèse au niveau de l'évaluation de la fertilité physique, leur utilisation passe par l'établissement de relations avec les comportements de base. Ils sont de ce fait moins précis: la variance résiduelle des relations statistiques dont nous avons cité quelques exemples, n'est pas négligeable; ils sont aussi moins sûrs, du fait que ces relations ne sont pas toujours suffisamment explicatives pour que soit établi clairement leur domaine d'utilisation.

Il est, toutefois, un domaine: celui de la *prévision d'évolution* de

la fertilité physique où le recours aux critères de constitution organique du sol apparaît indispensable, car ils traduisent les interactions sol-système de culture à long terme (bilan d'évolution) et à court terme (cycle intra-annuel d'évolution du carbone et de l'azote) tout en étant, au moins dans le premier cas, modélisables.

C'est ainsi que le modèle très simple proposé par S. HENIN et M. DUPUIS (1945) permet de décrire en fonction du temps t et de la masse moyenne annuelle m des restitutions, les variations du stock de carbone organique total (C_T) du sol sur la base de cinétique du premier ordre:

$$\frac{d C_T}{dt} = k_1 m - k_2 C_T$$

où:

- k_1 est un coefficient isohumique de transformation des apports,
- k_2 le coefficient annuel de minéralisation de l'humus.

Ce modèle a été appliqué tout récemment à un essai de moyenne durée (1970-1980), comparant trois types d'itinéraires techniques, dont le semis direct, sur une rotation blé-maïs.

Après évaluation des paramètres, il a été utilisé en simulation pour la prévision des stocks de matières organiques totales en 1990 et 2000 contenus dans la masse de terre équivalente à la couche normalement labourée ($L_0 = 3.525$ T/ha) sous les différents traitements:

L_0 : labour à 25 cm.

L_1 : travail superficiel à 10 cm.

L_2 : semis direct.

Les résultats figurent au tableau 3 :

Tableau 3 - Evolution du stock de carbone organique en fonction du travail du sol et de la restitution des résidus de récolte

Tonnes de Carbone à l'hectare	Années	L ₀	L ₁	L ₂
AVEC RESTITUTION DES PAILLES	1980*	34,95	37,45	41,85
	1980**	35,15	37,00	40,75
	1990***	34,45	38,80	46,05
	2000***	34,00	40,00	49,65
SANS RESTITUTION DES PAILLES	1990***	31,45	34,30	39,20
	2000***	28,45	31,60	36,95

* Valeurs observées ** Valeurs ajustées *** Valeurs simulées

En nous bornant à commenter les orientations générales qui se dégagent de ces données, nous pouvons souligner:

— L'influence considérable de la limitation du travail du sol sur le bilan organique. La différence de stock entre L₀ et L₂ est ainsi de l'ordre de 20% en 10 années d'après les données observées en 1980. D'après la simulation, elle pourrait atteindre près de 50% dans vingt ans.

— Le poids des restitutions de paille dans les équilibres humiques en rotation céréalière. La baisse du stock en L₀ consécutivement à l'exportation de paille serait en l'an 2.000 d'une ampleur suffisante pour entraîner une diminution agronomiquement significative de stabilité structurale en sol limoneux ou limono-sableux.

— Le palliatif que peut représenter à cet égard, *lorsqu'elle est possible*, la diminution, voire la suppression du travail du sol.

Si cette tentative de modélisation montre qu'il est possible d'en tirer parti pour la prévision des grandes tendances de l'évolution de la constitution organique et de ses conséquences sur les principaux comportements, deux séries de problèmes importants se posent alors.

— Les premiers concernent l'utilisation de tels modèles dans des situations pédo-climatiques et culturelles variées. Ils impliquent une mé-

thode d'évaluation des paramètres k_1 et k_2 en l'absence de références expérimentales implantées en conditions variées et représentatives.

— Les deuxièmes portent sur les moyens de généralisation des relations empiriques déjà établies entre teneur en matières organiques et comportements des sols. De telles relations doivent, par ailleurs, être établies dans le cas de l'influence, observée mais non quantifiée, des matières organiques sur le gonflement—retrait et, par là, sur l'aptitude à la fissuration.

3. Problèmes posés par l'utilisation de ces différents critères

L'interprétation des critères précédents en terme de fertilité physique, considérée dans les limites que nous avons proposées en introduction, implique d'abord que l'on soit capable d'en tirer les moyens de prévision d'un état physique probable aux différents stades critiques (périodes de préparation du sol et de l'implantation de la culture) de l'année culturale et de la succession des cultures.

Les facteurs climatiques, biologiques et mécaniques qui interviennent dans les processus de transformation de l'état physique sont étroitement liés au milieu physique général, mais leurs actions et interactions particulières à court terme sont aléatoires. Il apparaît dès lors peu réaliste d'espérer dans un proche avenir, disposer de modèles paramétrés par les différents comportements intrinsèques, permettant de décrire et de prévoir l'évolution intra—annuelle de l'état physique.

Tout au plus, peut—on s'efforcer de décrire cette évolution à l'aide d'observations systématiques et de notations ou mesures (W. HUTTER *et al.* 1981) et de caler sur des références expérimentales simplifiées (cas du non travail), l'importance relative des différents processus.

Si l'on se place à une autre échelle de temps en s'intéressant à l'évolution à plus long terme de l'état physique probable sous un système de culture donné, les conséquences de modifications des comportements intrinsèques du sol deviennent prépondérantes.

Les critères de fertilité physique retenus doivent alors:

— *Etre suffisamment généraux*, pour ne pas laisser dans l'ombre certains types d'évolution.

— *Etre suffisamment sensibles*: la plupart des évolutions défavorables des propriétés physiques du sol sont à la fois:

- difficilement perceptibles à court terme en raison de la variabilité des conditions climatiques qui en extériorisent les conséquences.

- difficilement réversibles, qu'elles résultent d'un déséquilibre du bilan organique ou de l'accroissement cumulatif de compacité de couches profondes non accessibles au travail du sol.

Il est donc important de disposer d'indicateurs réagissant fortement, voire exagérément, à ces évolutions.

— *Permettre des prévisions*.

La confrontation des critères présentés ici, à cette triple exigence, conduit aux observations suivantes:

— Ces critères ne permettent pas de couvrir l'ensemble de la définition de la fertilité physique telle que nous l'avons proposée: les problèmes posés par les interactions sol-outil (adhésivité aux pièces travaillantes, relation cohésion des mottes-teneur en eau) ne sont que très indirectement ou pas pris en compte.

— Considérée globalement (indice $\log 10 S$), la stabilité structurale est basée sur des propriétés fondamentales du matériau aussi différentes que la mouillabilité et la cohésion de la terre humide; ces dernières influencent d'autres comportements que la sensibilité à la désagrégation. De ce fait, l'indice d'instabilité a , très probablement, une valeur interprétative assez générale; encore, faudrait-il qu'elle soit davantage explicitée.

— Considéré séparément, le test de stabilité après prétraitement au benzène ($Ag_b \%$) est extrêmement sensible à de petites variations de teneur en matières organiques, elles-mêmes difficilement décelables. On peut donc l'utiliser comme un *indicateur* sensible de toute évolution des propriétés physiques liées à ce facteur.

— Les comportements vis-à-vis du compactage et des alternances de retrait-gonflement, si leur importance est bien établie, sont encore trop imparfaitement expliqués pour permettre une interprétation très générale. En ce qui concerne leur sensibilité, il est douteux que, par exemple, des mesures du gonflement efficaces puissent être rendues suffisamment discriminantes pour déceler de petites variations des propriétés du sol.

Ce dernier point suggère une conclusion: il pourrait être profitable d'adjoindre à des critères à signification physique bien établie, mais dont la sensibilité est parfois insuffisante, un petit nombre d'indicateurs très sensibles, susceptibles de donner l'alerte dès le début d'une évolution défavorable.

Parallèlement, la mise au point de modèles d'évolution à moyen et long terme, dont le domaine d'utilisation soit bien établi, devrait permettre d'obtenir en temps utile par simulation des indications sur les conséquences probables du maintien d'un système de culture ou de son remplacement total ou partiel par un autre mode d'utilisation du sol.

RESUME

La fertilité physique d'un sol ne peut être concrètement définie que dans un milieu et pour un système de culture donné. Trois principaux comportements intrinsèques du matériau superficiel commandent l'évolution de l'état physique d'un sol vers un état probable: la stabilité structurale, l'aptitude à la fissuration, et la sensibilité au compactage. D'autres critères exprimant les conséquences de la constitution minérale, et surtout organique des sols, peuvent faciliter les comparaisons et la synthèse, ainsi que la prévision de la fertilité physique. L'utilisation "d'indicateurs" sensibles de l'évolution de cette fertilité est proposée.

SUMMARY

SOIL PHYSICAL FERTILITY: CRITERIA AND EVOLUTION ACCORDING TO CROP SYSTEM

Soil physical fertility is only to be defined according to one given type of environment and crop system. The evolution of the physical state of a top soil towards the most probable state is under command of three major intrinsic behaviours: structural stability, cracking, ability, and sensitiveness to compaction.

Other criteria which express the consequences of the mineral and especially organic constitution of soils are able to help in comparisons, synthesis and prevision of soil physical fertility.

The use of sensitive "indicators" of this fertility is proposed.

BIBLIOGRAPHIE

- BUI HUU TRI (1968) — Dynamique de la granulation des sols sous prairie.
Ann. Agron., 19 (4), 415-439.
- BUI HUU TRI et G. MONNIER (1973) — Etude quantitative de la granulation des sols sous prairie de graminées. II. Les paramètres de granulation en relation avec la constitution du sol et le système racinaire.
Ann. Agron., 24 (6), 651-677.
- R.Q. CANNEL, D.B. DAVIES, D. MACKNEY et J.D. PIDGEON (1978) — The suitability of soils for sequential direct drilling of combine harvested crops in Britain: a provisional classification.
Out Look of Agriculture, 9 (6), 306-316.
- J. GUERIF et A. FAURE (1979) — Rôle de la matière organique sur le comportement des sols au compactage. I. Etude statistique.
Ann. Agron., 30, (5).
- S. HENIN (1938) — Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. Thèse — Paris.
- S. HENIN et M. DUPUIS (1945) — Essai de bilan de la matière organique des sols.
Ann. Agron., 15, 17-19.
- S. HENIN et G. MONNIER (1956) — Evaluation de la stabilité structurale des terres.
C.R. VI Congrès A.I.S.S. Paris, Vol. B, p. 49-52.
- S. HENIN et P. BOSQUET (1964) — Relation entre le comportement des sols (fissuration, effritement) et leur texture.
C.R. Acad. Agric. Fr., 842-846.
- S. HENIN et J. CONCARET (1965) — Sur une propriété déterminant la stabilité structurale des terres: la cohésion à l'état humide.
C.R. Acad. Sc. Fr. 261, 2734-2737.

- W. HUTTER, D. BOISGONTIER, C. LACAZE, M. CHABERT et S. GRILLIERES (1981) — Itinéraire de travail du sol comme révélateur du comportement du sol dans un dispositif expérimental de longue durée avec rotations.
Agronomie, 1 (1), 49–57.
- G. MONNIER (1965) — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.
Ann. Agron., 16 (5), 327–400.
- P.L. OSTY (1971) — Essai de quantification de l'aptitude à la fissuration des terres très argileuses.
C.R. Acad. Agric. Fr., 75–87.
- P. STENGEL (1979) — Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ.
Ann. Agron., 30 (1), 27–51.
- P. STENGEL (1980) — L'aptitude des sols au semis direct. Perspectives agricoles.
Spécial "Semis direct", 30–36.
- P. STENGEL (1981) — Etude expérimentale du retrait de mélanges argile-limon.
Agronomie (sous presse).