



Influence du drainage sur les propriétés physiques, biologiques et mécaniques des sols

R. Guennelon

► To cite this version:

R. Guennelon. Influence du drainage sur les propriétés physiques, biologiques et mécaniques des sols.
Le drainage, Apr 1987, Paris, France. hal-02855311

HAL Id: hal-02855311

<https://hal.inrae.fr/hal-02855311v1>

Submitted on 8 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.

donnant satis-
fiques années.
e du drainage
onomie réelle
rd de l'effica-
age n'est pas

— Toutes
elations entre
logiques préa-
ent en échan-
t pas admissi-
ché régissant
lause rendant

la réalisation
l'études préa-
de références,
facto, imposé

où se prati-
s est aujourd-
niser les dis-

ppement des

INFLUENCE DU DRAINAGE SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES, BIOLOGIQUES ET MECANIKES DES SOLS

THE EFFECTS OF DRAINAGE ON PHYSICAL, BIOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS

par R. Guennelon(*)

RESUME

Le sol ne doit pas être considéré comme un milieu poreux rigide dont les propriétés intrinsèques seraient invariantes : de ce fait, le résultat du drainage n'est pas seulement d'éliminer l'eau excédentaire, mais aussi de modifier secondairement plusieurs caractéristiques du sol drainé.

On peut, de manière qualitative, apprécier les effets du drainage si l'on connaît la variation de ces caractéristiques en fonction de la teneur en eau du milieu ; il faut cependant distinguer les effets, parfois contradictoires, dus à l'élimination rapide d'une eau facilement mobile, et ceux qui résultent du ressuyage lent et de l'évaporation.

Mais une prévision quantitative, comme celle qu'il faut réaliser pour aboutir au pronostic des « jours disponibles », reste liée à une amélioration des modèles d'évolution des profils hydriques après la phase de ressuyage rapide, à l'établissement de corrélations entre l'état hydrique du sol et ses propriétés mécaniques (appréciées par des mesures ou des tests efficaces) et à des progrès dans l'application de la mécanique des sols aux milieux hétérogènes et discontinus.

SUMMARY

It is usually claimed that drainage should have a specific influence on all physical and mechanical properties of soils. But it seems to be more difficult to directly emphasize these modifications using simple field experiments.

We can try to predict drainage effects by a deductive way : some effects to soils moisture content on the main properties of the soil are well-known ; so the result of drainage being the elimination of exceeding water and the subsequent drying of top layers, it should be possible to relate the changes in moisture content to the variations of these properties.

But it must be pointed out that drainage really consist in two phases : first, the more mobile water is fastly carried out ; secondly the immobile or stagnant water is slowly eliminated not only downwards by hydraulic gradients, but also upwards by evaporation. These two phases have conflicting effects on transport phenomena.

For example, solutes are rapidly leached out by convective transfers during the first period, flowing away through preferential pathways or coarse porosity. Then the result of drainage and evaporation consists in reducing the continuity of the liquid phase : so the diffusion out of soil clods towards the more continuous pathways is reduced and the leaching of solutes consequently delayed.

Changes in temperature, gaseous transfers, biological phenomena and variations in mechanical properties must be studied also taking account of that heterogeneity in water elimination processes.

Specially the studies concerning the time-evolution of the trafficability and workability are depending on a better forecasting of the hydric soil profile evolution, and a suitable application of the Soil Mechanics for heterogeneous media. In the same time, it is necessary to work out new researches towards simpler diagnostic and tests that can be easily used for fields measurements.

(*) INRA - Station de Science du sol - Domaine Saint-Paul, B.P. 91, 84140 Montfavet.
C.R. Acad. Agric. Fr., 1987, 73, n° 4, pp. 45-59 - Séance du 29 avril 1987.

I. Introduction

Outre les phénomènes de lessivage, le drainage provoque des modifications physiques et mécaniques consécutives à l'élimination de l'eau « excédentaire ». Pour divers types de transferts, cette eau peut favoriser ou contrarier certains mécanismes. L'effet du drainage à cet égard peut être apprécié à partir des connaissances de base concernant l'influence de l'état hydrique du sol sur les propriétés en question, ou par des observations et des expérimentations *in situ*.

Or ces connaissances sont le plus souvent acquises en laboratoire ou par des expérimentations de terrain limitées dans le nombre de paramètres contrôlés mis en jeu. Cela explique la difficulté de prévoir, dans le cas général, le comportement réel d'un sol en dehors de l'aspect purement hydraulique du rabattement de la nappe. De plus, l'histoire hydrique de l'épisode pluvieux (saturation de tous les niveaux du profil, redistribution de l'eau, période de crue et phase de tarissement) se déroule différemment selon la séquence climatique dans laquelle il s'insère. Les crues peuvent se succéder rapidement ou être séparées par des phases plus ou moins longues de tarissement ; on aura donc une variation dans le temps des régimes hydriques (saturés, non saturés) et des variations qualitatives de la nature de certains phénomènes : transferts en phase liquide ou gazeuse, convection ou diffusion, gonflement ou retrait, consolidation ou dispersion.

On peut ainsi expliquer certaines divergences d'interprétation des phénomènes, relevées par plusieurs auteurs, et concevoir que l'étude des effets du drainage soit plus souvent abordée par une expérimentation directe (même si la généralisation des résultats de cette expérimentation ne peut être qu'approximative), que par une modélisation formelle qui mettrait en jeu de nombreux paramètres ou variables difficilement accessibles.

On va donc passer en revue les principales propriétés physiques (propriétés thermiques, propriétés liées à la circulation de la phase gazeuse, aux transferts de solutés), biologiques et mécaniques qui ont quelque importance pour la technique agricole et sur lesquelles le drainage peut avoir certains effets.

II. Propriétés thermiques

Les divers constituants des sols possèdent des propriétés thermiques différentes : celles des sols vont donc varier également selon leur composition. Le comportement thermique dépend de :

- 1) La capacité thermique,
- 2) La diffusion thermique apparente,
- 3) La conductivité thermique apparente.

Le drainage affectera ces propriétés, dans la mesure où il influera sur la teneur en eau du sol et sur la continuité des contacts au sein du milieu. Les mesures ne sont pas toujours très aisées, aussi a-t-on cherché à élaborer des modèles susceptibles de servir d'instruments de prévision.

1. Capacité thermique $C(\theta)$

On l'estime à partir d'une formule qui somme les capacités thermiques pondérées de chacun des constituants :

$$C(\theta) = \sum_{i=1}^n \theta_{si} C_{si} + \theta_w C_w$$

où θ représente la teneur en eau (si : solide, w : eau) et C les capacités thermiques respectives.

L'eau possède une capacité thermique d'environ cinq fois celle des solides du sol. L'influence de la teneur en eau sur la capacité thermique est donc importante.

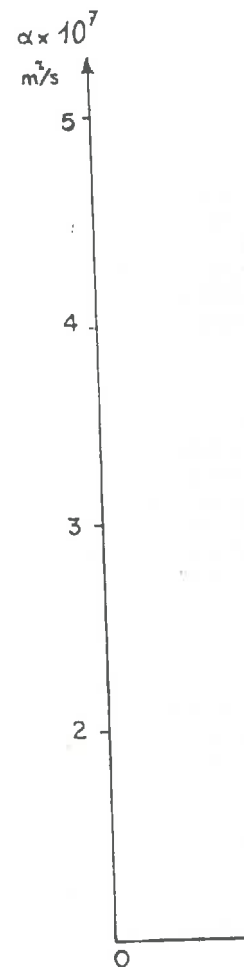


Figure 1 : Variations de C (Le paramètre α est constant)

Variations of C as a function of θ

$C(\theta) = \sum_{i=1}^n \theta_{si} C_{si} + \theta_w C_w + (n - \theta_w) C_a$
 où θ représente les fractions volumiques des divers composants
 (si : solide, w : eau, a : air), n la porosité et C les capacités thermi-
 ques respectives.

L'eau possède une capacité thermique double de celle de l'humus,
 et environ cinq fois plus élevée que celle des autres constituants
 solides du sol. L'influence du ressuyage devrait être importante, et la

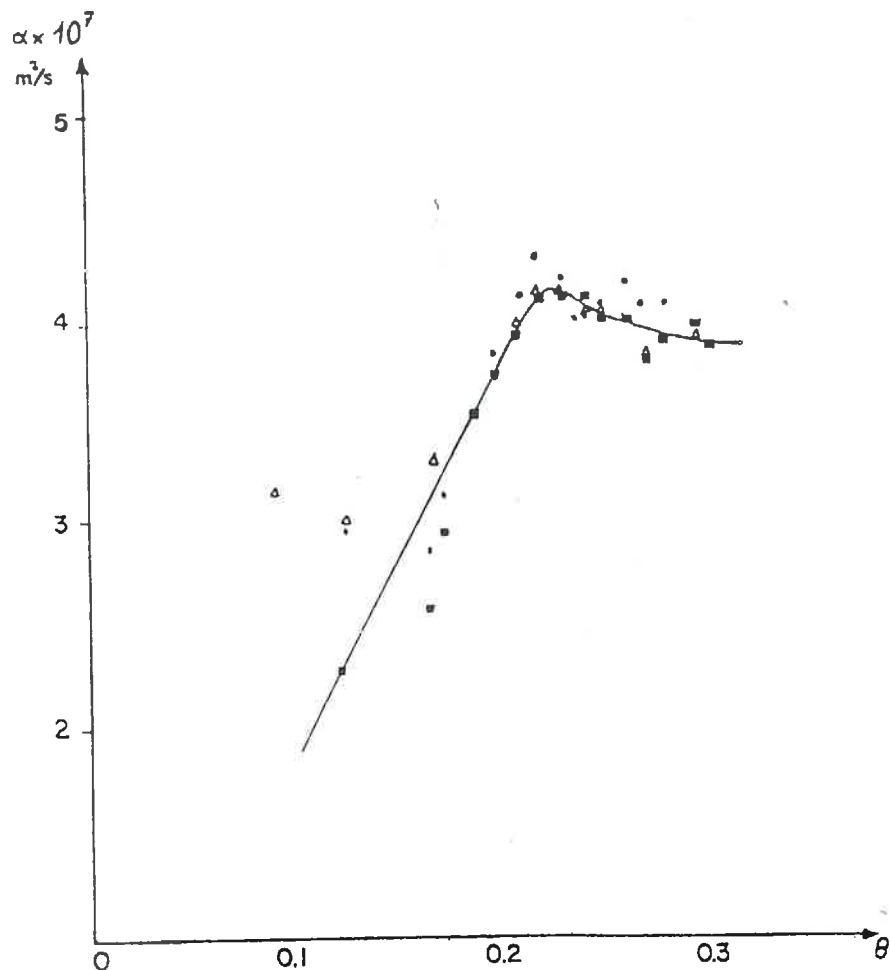


Figure 1 : Variations de la Diffusité thermique apparente en fonction de la teneur en eau.
 (Le paramètre λ (θ) est estimé par diverses méthodes d'identification.)
 (D'après A. Passerat, loc. cit.)

Variations of apparent thermal Diffusivity α (θ) versus Moisture Content. (Values
 of α are determined by three identification procedures.)
 (In A. Passerat, loc. cit.)

durée d'échauffement d'un sol serait d'autant plus longue que ce sol est saturé.

2. Diffusivité thermique apparente $\alpha(t)$

Là encore, on ne possède pas de bonnes méthodes de mesure directe de cette propriété ; on utilise, en fait, des calages de profils thermiques permettant l'identification de ce paramètre. En fonction de la teneur en eau, la figure 1 indique le sens des variations et l'on voit que la diminution de ce paramètre n'est rapide que pour des taux d'humidité volumique inférieure à 20 % (pour un sol donné) (13).

3. Conductivité thermique apparente $\lambda(t)$

Elle peut être déterminée à partir des deux relations $C(t)$ et $\alpha(t)$, par des mesures directes, en laboratoires (2) ou à partir de modèles semi-empiriques (13), comme ceux de Vries ou de Johansen.

Ces diverses méthodes permettent de montrer la dépendance de ce paramètre vis-à-vis de la teneur en eau du sol.

Comme pour la diffusivité, la conductivité thermique ne semble diminuer notablement que si le sol est largement désaturé.

4. Conséquences

Les changements de teneur en eau dus au drainage, et surtout la phase de ressuyage initiale de l'excès d'eau, modifient donc les propriétés thermiques et, par suite des modifications des échanges énergétiques, l'intensité de l'évaporation. Bien que peu de données soient disponibles en la matière, on a cependant pu noter que des différences de l'ordre de 5° C peuvent exister au printemps, entre situations drainées ou non drainées (18). De telles différences peuvent être significatives pour la germination des graines.

De travaux théoriques en accord avec des observations bien contrôlées *in situ*, on peut conclure que la réduction de la teneur en eau du sol, depuis la saturation jusqu'à la capacité au champ, n'a pas d'effet appréciable sur la température (14, 15). Ainsi, en sol drainé, les différences prédites par le calcul ne sont que de l'ordre de 0,2° C, c'est-à-dire inférieures à la variabilité des mesures de températures effectuées au même instant sur plusieurs points d'un même site.

III. Transferts en phase gazeuse

Les phénomènes de transferts en phase gazeuse dans les sols doivent être pris en compte en diverses occasions ; ils intéressent les transferts hydriques, la diffusion de l'air, la pénétration et la répartition de substances chimiques volatiles (nématocides, par ex.). Ils interviennent donc directement sur les conditions d'aération du sol et, partant, sur le développement des organismes vivants, des plantes en particulier.

1. Diffusion de la vapeur d'eau

L'intensité n'en est notable qu'à partir du moment où le déplacement gravitaire ou l'ascension capillaire deviennent faibles ; le phénomène peut donc paraître tout à fait déconnecté de la réalisation du drainage ; en fait, on peut obtenir un effet indirect, dans la mesure où le départ d'eau excédentaire libère la porosité structurale, voie de passage du flux évaporatif ; le phénomène est certainement assez

important, lors
rôle des fentes
hydriques relev
très lentement
(figure 2) mais



Figure II : Dyr
après

Het
afte

important, lorsque le drainage intéresse des sols à fort retrait : le rôle des fentes de retrait est bien mis en évidence dans les profils hydriques relevés sur des vertisols, où la dessiccation n'affecte que très lentement l'intérieur des massifs de sol situés entre les fissures (figure 2) mais où les parois s'assèchent très vite (10). Tout revient

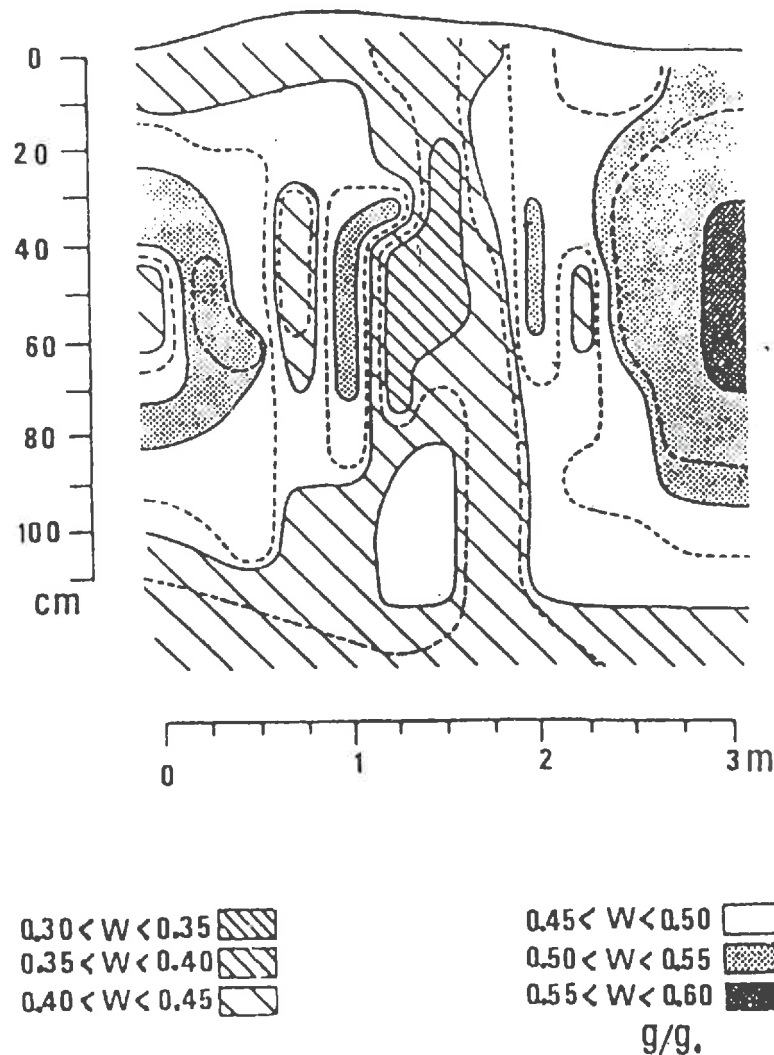


Figure 11 : Dynamique hydrique dans un sol argileux fissuré : répartition de l'eau 10 jours après infiltration.

(D'après B. Jaillard et al., loc. cit.)

Heterogeneous distribution of moisture content in a cracked clay soil, 10 days after infiltration.

(In B. Jaillard et al., loc. cit.)

donc à apprécier le rôle de la cinétique de désaturation sur le mécanisme d'apparition et sur l'importance dimensionnelle des fissures.

2. Diffusion des gaz

Ce phénomène, qui intéresse les transferts d'air et de substances volatiles, n'a pas fait jusqu'à maintenant l'objet de travaux particuliers par rapport au drainage. On possède, par contre, des observations qui démontrent indirectement l'amélioration de la circulation de l'oxygène. En forêt de résineux (nord de la Taïga), on note une augmentation, par le drainage, de l'activité de respiration des racines de *Picea abies*, cette augmentation touchant surtout les racines mycorhizées (16) ; toujours en sols argilo-limoneux drainés, on observe une augmentation sensible des racines blanches (pour le coton) par rapport aux racines brunes ou noires, à oxygénation insuffisante (12).

Des études portant sur des matériaux agrégés mettent en évidence l'influence de deux facteurs sur la diffusion des gaz dans les sols :

- d'une part, la densité apparente, c'est-à-dire le volume de pore, ou mieux, la tortuosité ;
- d'autre part, la teneur en eau, ou mieux, le taux de saturation.

Un accroissement important de la circulation des gaz serait acquis dès le début du drainage, puisque des pores continus, de très grande taille, se vident rapidement ; mais, en sol argileux gonflant, il faut attendre un ressuyage plus poussé, favorisant le retrait, pour qu'une perméabilité libre à l'air apparaisse.

Le drainage, entre chaque épisode pluvieux, favorise cette pénétration de l'air, qui, cependant, est limitée aux couches superficielles. Par contre, en profondeur, durant la période de tarissement, l'apparition d'une porosité libre à l'air est bien plus problématique, et, certainement, relativement peu accélérée par le drainage ; en effet dans le cas général, on a alors à faire à un milieu continu, au mieux, à un milieu agrégé ou stratifié, mais non largement fissuré. Le point d'entrée d'air est alors strictement dépendant des caractéristiques de retrait-gonflement du matériau et non d'un phénomène plus aléatoire comme la pénétration, en profondeur, de grandes fissures initiées en surface.

De plus, lorsque cette porosité libre à l'air apparaît, progressivement, sa géométrie est telle qu'elle conserve une tortuosité qui freine la diffusion gazeuse ; la continuité des pores tortueux n'est pas assurée tant qu'il existe de l'eau résiduaire. Compte tenu de la cinétique lente de la phase de tarissement, il n'y a pas d'accélération notable de la diffusion : le gain de temps ne dépend donc que du raccourcissement de la phase de saturation des niveaux sus-jacents.

Bien que l'on dispose de données sur l'évolution des profils hydriques en sol drainé, (mais certainement pas assez), on peut difficilement relier ces évolutions aux propriétés de diffusion gazeuse dans les sols.

Les connaissances en la matière ont cependant progressé depuis quelques années, dès que l'on a disposé de bonnes méthodes de mesure des coefficients de diffusion gazeuse (détecteurs de gaz, traceurs radioactifs). On peut analyser certains résultats obtenus par J.-A. Currie (4), pour essayer de prévoir quel pourrait être l'effet du drainage sur la vitesse de diffusion ; la figure 3 montre l'évolution de D/D_0 (diffu-

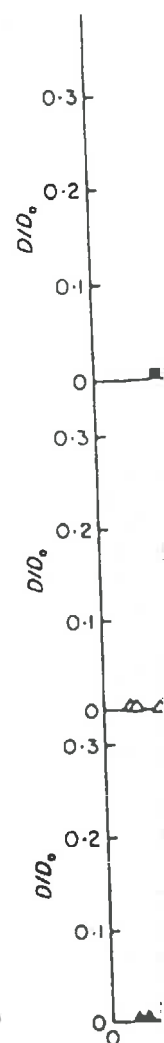


Figure III : Coefficient pour s

Relativ soil c

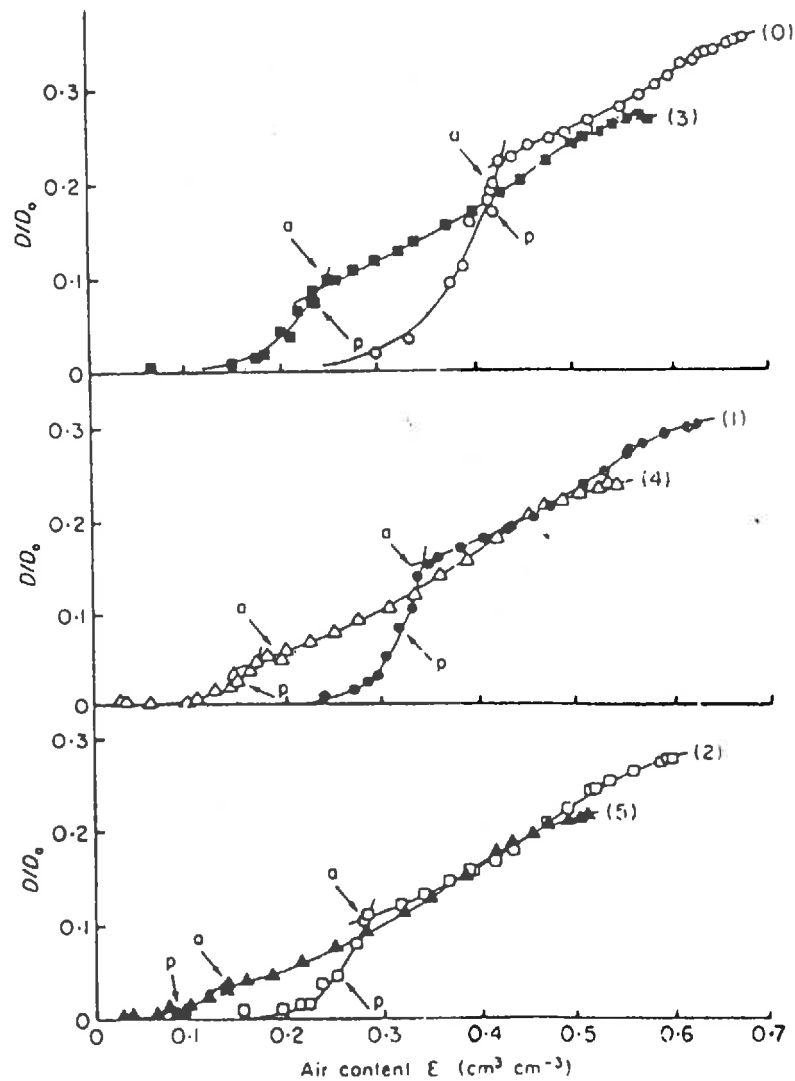


Figure III : Coefficients de diffusion relatifs en fonction de la teneur volumique en air, pour six assemblages d'agrégats de 1-2 mm :

0 : Non tassé
1 à 5 : Equilibrés à — 5 kPa, puis compactés à des niveaux croissants dans l'ordre indiqué
(D'après J.-A. Currie, loc. cit.)

Relative diffusion coefficients versus air content in six packings of 1-2 mm soil crumbs :

0 : Loose packing
1 to 5 : First equilibrated at — 5 kPa water potential then compacted to increasing degrees (1-5)
(In J.A. Currie, loc. cit.)

sion dans le matériel par rapport à la diffusion dans l'air) en fonction de la teneur en eau, pour un sol agrégé, soumis à divers niveaux de compacité.

Pour le sol non compacté, donc à porosité structurale élevée, la diffusion reste très faible tant que la porosité libre à l'air n'atteint pas 0,30 ; le seuil de 0,40 correspond à la vidange des pores grossiers inter-agrégats, et l'on décrit ensuite une courbe qui correspond à la dessiccation des agrégats eux-mêmes. A l'opposé, pour l'échantillon le plus compacté, cette différenciation en deux phases n'est plus du tout aussi évidente. La porosité totale n'est plus strictement bimodale (porosité inter et intra-agrégats), et de petits volumes d'air pénètrent au fur et à mesure que l'échantillon se désature : ces pores qui se remplissent d'air assurent progressivement des voies possibles de transferts et le coefficient de diffusion gazeuse augmente régulièrement. L'effet du drainage va donc être sensible, pendant la première phase, si la structure, ou la nature granulaire du matériau, a été conservée. Dès qu'il y a destruction de la structure, et compactage, la diffusion gazeuse n'augmentera, sous l'effet du drainage, que pour des potentiels faibles assurant la vidange des petits pores texturaux.

IV. Transferts de solutés

Le problème du transfert des solutés est analogue à celui du transfert des gaz, à ceci près que, dans ce dernier cas, c'est la porosité remplie d'eau qui est efficace pour le déplacement des substances dissoutes. Cependant, alors que pour les gaz on ne considère que des phénomènes diffusifs, il faut, pour les solutions, prendre en compte d'une part, la convection, d'autre part, la diffusion.

Le transfert convectif est évidemment accéléré par le drainage, du fait de l'augmentation des flux du fluide vecteur : c'est pendant la période de crue que le lessivage chimique sera le plus intense ; pourtant, comme l'ont montré des mesures faites avec les isotopes de l'eau, ce lessivage ne se poursuit que si les ions présents dans la porosité texturale peuvent migrer vers les voies de transferts rapides, efficaces pour l'élimination de l'excès d'eau. C'est ce que l'on observe en laboratoire lorsque l'on lessive un massif poreux saturé par un ion mobile ; lorsqu'il y a, dans un tel milieu, une voie préférentielle de transfert, le début du drainage réalise une vidange des pores dont la concentration de l'eau en soluté est maximale, et en équilibre avec l'ensemble du système (figure 4) ; si le drainage se déroule pendant une période continuellement pluvieuse, la concentration des solutés dans l'eau circulante diminue rapidement ; si, par contre, il y a arrêt de la circulation, l'eau située entre les agrégats, et celle contenue dans les petites fissures (qui alimentent les voies préférentielles de transfert rapide) voit sa concentration en sels augmenter à nouveau aux dépens de la solution correspondant à l'eau immobile ; dès qu'une pluie remet l'eau en circulation, on observe à nouveau un pic de concentration dans les eaux de lessivage : pour un volume donné d'eau drainée, la quantité de soluté lessivée est moins importante si le lessivage est continu que si des épisodes de ralentissement ou d'arrêt du drainage permettent une redistribution des solutés au sein des éléments structuraux.

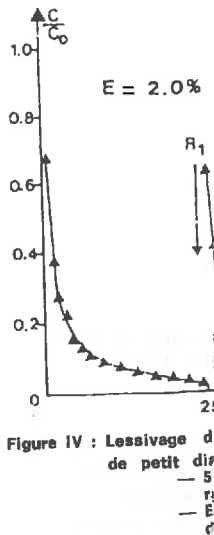


Figure IV : Lessivage d'un sol agrégé. Le graphique illustre la concentration relative C/C_0 (axe des ordonnées, de 0 à 1.0) en fonction du temps t (axe des abscisses, de 0 à 2). La courbe montre un pic initial à $t=0$ (valeur 1.0) suivi d'une décroissance exponentielle. Des paramètres sont indiqués : $E = 2.0\%$, R_1 , et des légendes pour le diamètre (diam.) et le lessivage (Leaching).

Ces mécanismes en laboratoire (du fait du nombre pas de temps successifs de substitution de substance).

On peut donc envisager le lessivage des solutés : l'écoulement de l'eau a été vidée de solutés saturés n'est plus.

Avec les trajectoires gazeuses, l'influence du drainage n'a pas de mesure dans la mesure de remplissage des temps. La vitesse de diffusion apparente, de la donnée, de la donnée, ce coefficient pondéré à des coefficients diminue lorsque des agrégats existent.

On a pu obtenir des résultats permettant de caractériser la métrique (H_n), limon (G) : $D \cdot 1$.

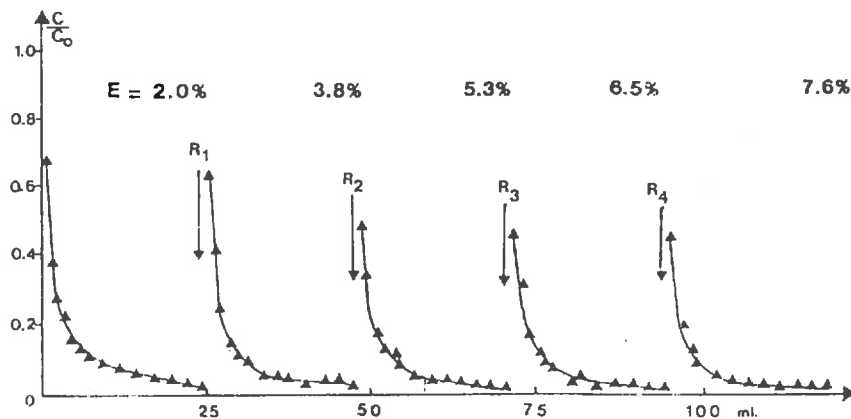


Figure IV : Lessivage d'un massif poreux saturé en ion NO_3 , traversé par 8 pores continus de petit diamètre (0,035 cm) :
 — 5 lessivages d'environ 24 ml d'eau pure, séparés par 24 heures de redistribution.
 — E : Quantités cumulées d'ion élué à chaque lessivage, en pour cent de la quantité initialement présente.
 Leaching of NO_3 saturated porous media, by means of 8 continuous channels (diam. : 0,035 cm) :
 — 5 leachings of about 24 ml water, separated by redistribution periods of 24 hours.
 — E : Cumulative amounts of leached ion, in percent of initial quantity for each leaching out.

Ces mécanismes ont été bien mis en évidence par des expériences en laboratoire (5) ; on manque, par contre, de données de terrain, du fait du nombre de prélèvements et d'analyses à réaliser avec des pas de temps suffisamment courts, pour une étude cinétique des exportations de substances dissoutes.

On peut donc avoir, dans certains cas, un ralentissement du lessivage des solutés, lorsque la porosité structurale la plus grande ayant été vidée de son eau libre, la continuité des massifs poreux encore saturés n'est plus réalisée.

Avec les transferts diffusifs, on retrouve comme pour la diffusion gazeuse, l'influence du taux de saturation et de la densité texturale : le drainage n'aura d'effet significatif que dans la phase de tarissement, dans la mesure où, après départ de l'eau gravitaire, la continuité de remplissage des petits pores va être assurée plus ou moins longtemps. La vitesse de cette évolution, donc de l'évolution du coefficient de diffusion apparent du soluté, va dépendre aussi, pour une texture donnée, de la compacité du matériau : pour une humidité volumique donnée, ce coefficient augmente d'abord avec la densité (ce qui correspond à des contacts de surface plus grands entre agrégats), puis il diminue lorsque le milieu devient quasi continu, et que seule la porosité des agrégats est utilisable pour la diffusion (figure 5).

On a pu obtenir, pour divers matériaux (6), des relations empiriques permettant de relier le coefficient de diffusion (D) à l'humidité gravimétrique (H_p), à la densité (γ_d) et à la teneur cumulée en argile et limon (G) :

$$D \cdot 10^6 = 2,98 \cdot \gamma_d + 13,2 \cdot H_p - 2,8 \cdot G - 1,4$$

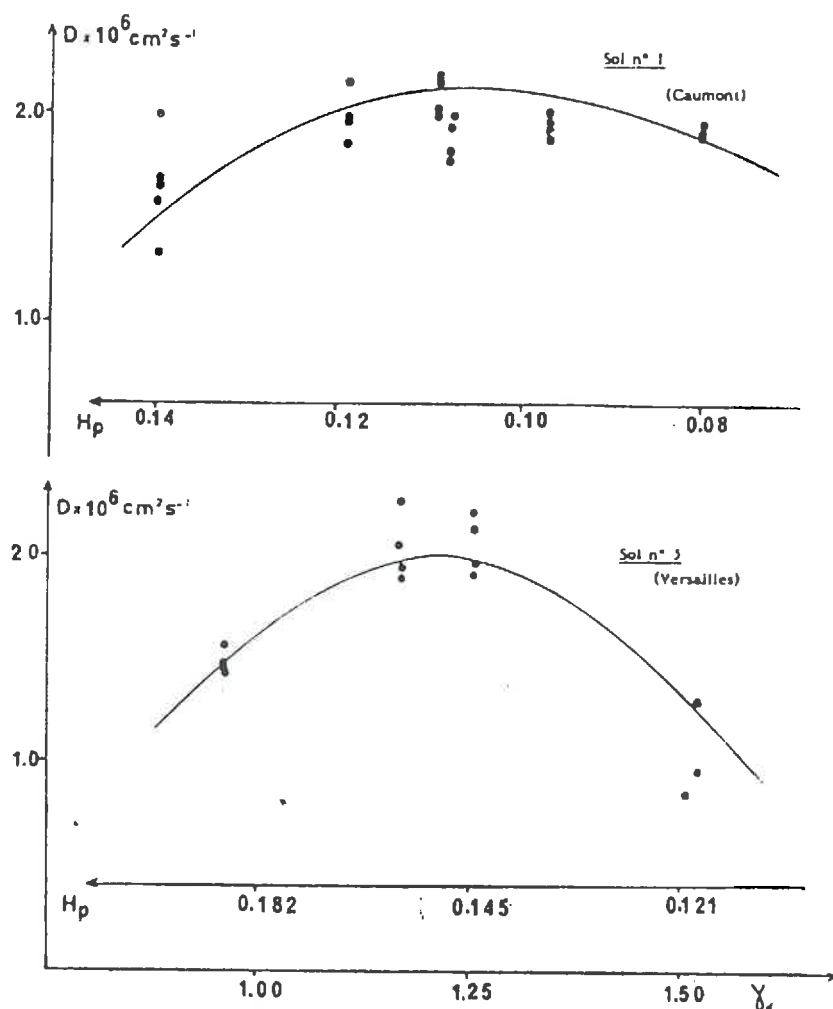


Figure V : Variation du coefficient de diffusion de NO_3 en fonction de la densité à humidité volumique constante.
 1 - Sol sableux
 2 - Sol de limon
 Diffusion coefficient of NO_3 , versus bulk density for constant moisture content.
 1 - Sandy soil
 2 - Loam

Un coefficient de diffusion faible ralentira la migration des solutés à partir du sein des éléments structuraux vers les voies de circulation de l'eau gravitaire : c'est la hauteur des points de départ des courbes de la figure 4 qui, par exemple, sera affectée.

En conclusion, le drainage accélérera l'exportation des substances dissoutes, présentes dans la porosité de transfert rapide, mais il rallen-

tira par la suite remplit pas à n (ou les agrégats) conséquences du

De toutes faç d'autres phénom fortes difficultés mécanismes, co variabilité des s souvent par des vent être toutes lisation est alor

V. Propriétés

L'influence d dans le cas des précédemment invoquée pour parcelles non d Pour certains entraînent une 100 %, en mili

Ces modifio drainage sur le réelles campag l'effet au travers en fer ferreux à pratiquement

Les ouvrage ment état (20) la microfaune, matière organi du sol, vont à

VI. Propriété

Il n'existe, bénéfiques du agricoles. Les sur l'expérien On a, certes, des sites à n à des conditio Au sujet des qui doit fourr

Or cette parcelle ; on che :

a) les eni qui n'aura qu tenu de la va remise en ca

tira par la suite la diffusion des sels solubles si cette porosité ne se remplit pas à nouveau et si les massifs compacts qu'elle délimite (ou les agrégats), voient également leur assèchement accéléré par les conséquences du drainage.

De toutes façons (et cette remarque générale vaut également pour d'autres phénomènes que pourrait influencer le drainage), il y a de fortes difficultés à raisonner par déduction, à partir de l'étude de mécanismes, considérés indépendamment les uns des autres ; la variabilité des sens de variation et les interactions, qui s'expriment souvent par des résultats d'expérimentations, contradictoires, ne peuvent être toutes appréhendées simultanément : *le recours à la modélisation est alors absolument nécessaire.*

V. Propriétés biologiques

L'influence du drainage sur les propriétés biologiques est, comme dans le cas des propriétés thermiques, une action indirecte ; on a vu précédemment que l'amélioration de la diffusion gazeuse avait été invoquée pour expliquer des différences, entre parcelles drainées et parcelles non drainées, quant à la morphologie et l'activité des racines. Pour certains auteurs (18), les modifications du régime thermique entraînent une augmentation de l'activité microbienne de l'ordre de 100 %, en milieu d'après-midi au mois d'avril.

Ces modifications sont, en particulier, en relation avec l'effet du drainage sur le pH et le potentiel Redox (20) dont, en l'absence de réelles campagnes de mesures, on ne fait qu'apprécier indirectement l'effet au travers de mesures chimiques : on cite ainsi des teneurs relatives en fer ferreux des sols engorgés, de 76 % (Fe^{++}) à 5 cm de la surface à pratiquement 100 % à 15 cm de profondeur.

Les ouvrages de synthèse sur l'irrigation et le drainage font également état (20) de l'influence des modifications du régime hydrique sur la microfaune, le développement du système racinaire, l'évolution de la matière organique, toutes choses qui, par leur action sur la structure du sol, vont à leur tour, intervenir sur la dynamique de l'eau.

VI. Propriétés mécaniques

Il n'existe, en fait, que peu d'expériences cruciales sur les effets bénéfiques du drainage, tels que les présentent souvent les exploitants agricoles. Les critères retenus sont généralement peu précis, basés sur l'expérience locale, beaucoup plus que sur des protocoles rigoureux. On a, certes, obtenu des résultats convaincants à l'aide d'essais sur des sites à nappe permanente, mais la généralisation de ces résultats à des conditions d'excès d'eau temporaire peut être mise en question. Au sujet des propriétés mécaniques, c'est évidemment l'accessibilité qui doit fournir le test définitif de l'appréciation des effets.

Or cette accessibilité est difficile à apprécier à l'échelle de la parcelle ; on peut cependant envisager au moins trois types d'approche :

a) les *enquêtes* : elle peuvent fournir un modèle statistique, mais qui n'aura qu'une valeur prédictive locale, avec un calage local, compte tenu de la variabilité importante des propriétés physiques des sols (sans remise en cause de l'avis d'experts) ;

b) *l'expérimentation en vraie grandeur* : là encore, les résultats, très lourds à acquérir, ne sont généralisables qu'au prix de la mesure précise d'un grand nombre de paramètres, concernant aussi bien le sol et le climat que les engins utilisés, et les conditions de leur emploi ;

c) *l'expérimentation indirecte* : c'est une démarche avec laquelle les résultats pratiques ne pourront pas être obtenus rapidement, mais c'est probablement la seule qui pourrait permettre des généralisations.

Comme cette dernière démarche doit se fonder sur la connaissance de base des propriétés physiques des sols, c'est d'elle que nous nous préoccupons.

L'*accessibilité* dépend, pour un sol donné, de son humidité et, par cet intermédiaire, de la réalisation ou non d'opérations de drainage. Particulièrement au printemps, cette accessibilité est conditionnée par l'état hydrique des couches de surface, qui est étroitement fonction des aléas climatiques (précipitations, évaporation). La prévision doit donc porter sur l'évolution des profils hydriques de surface et sur la recherche des liaisons entre les teneurs en eau et les propriétés physiques et mécaniques. Or les liaisons directes profils hydriques-propriétés mécaniques sont encore mal maîtrisées ; certains tests de laboratoire permettent d'évaluer les paramètres du modèle de prévision du comportement au compactage des matériaux terreux ; mais les hypothèses généralement admises d'isotropie et de continuité ne permettent pas d'accéder à un *modèle réaliste de comportement au champ*.

Certains auteurs (19) fixent des limites plus ou moins arbitraires à l'*accessibilité*, par exemple une succion moyenne de — 30 kPa. Tout

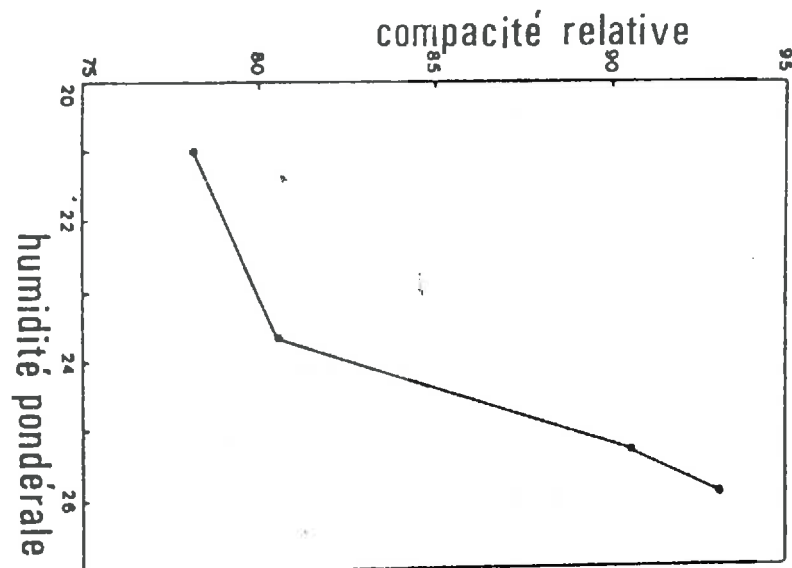


Figure VI : Rôle de l'humidité sur le niveau de compacité d'un sol à 38 % d'argile après un passage de tracteur de 4 030 kg.

(D'après A. Ljungars, loc. cit.)

The influence of soil water content on the « degree of compactness » after a pass of tractor (mass : 4.03 t.) over soil of 38 % clay content.

(In A. Ljungars, loc. cit.)

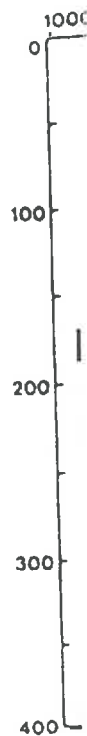


Figure VII : Augmenter teneurs

The Ir (load

le problème : profil hydrique en présence (ce qui pose les modifications sur l'état Ljungars (sur des sols de matière étroite entre

résultats, très
de la mesure
ssi bien le sol
leur emploi ;
avec laquelle
idement, mais
énéralisations.
connaissance
ue nous nous

midité et, par
de drainage.
nditionnée par
t fonction des
on doit donc
e et sur la
ropriétés physi-
ues-propriétés
de laboratoire
sion du com-
es hypothèses
permettent pas
p.

ns arbitraires
30 kPa. Tout

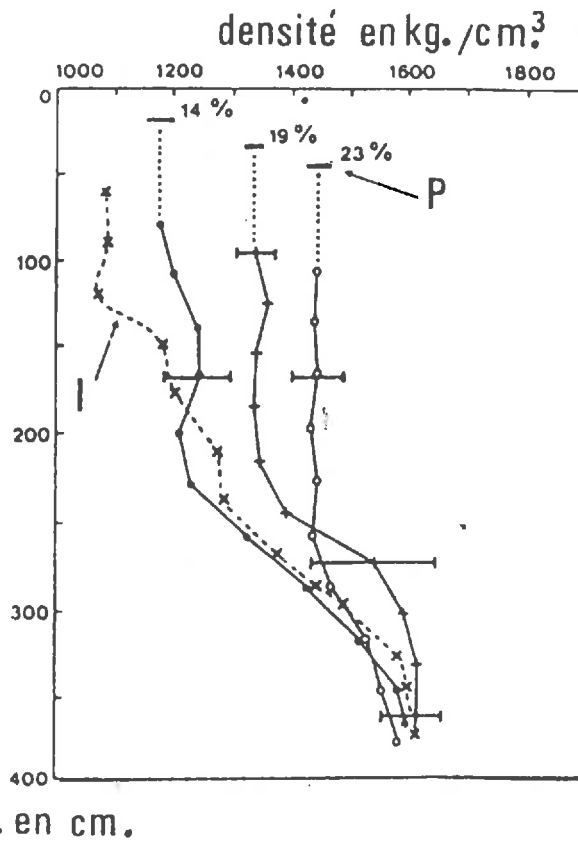


Figure VII : Augmentation de la densité résultant du passage d'un pneu pour diverses teneurs en eau.

- I : profil initial
- P : profondeur de l'ornièr
- Les chiffres indiquent l'humidité pondérale moyenne du profil.

(D'après P.S. Blackwell, loc. cit.)

The influence of water content (w/w) on the compaction resulting when a tyre (load 18.3 kN, inflation pressure 172 kPa) passed over a loam soil.

- I : initial density profile
- P : rut depth
- The mean values of moisture content of the whole profile are written on the graph

(In P.S. Blackwell, loc. cit.)

le problème consiste donc à élaborer un bon modèle d'évolution de profil hydrique, à l'échelle de la demi-journée (ce que l'on sait faire !), en présence de l'évapo-transpiration pendant la phase de tarissement (ce qui pose déjà plus de problèmes) et il faut ensuite apprécier les modifications apportées par le drainage au travers de ce que l'on sait sur l'état hydrique et le comportement au compactage.

Ljungars (11) a étudié l'effet de compactage par le passage d'engins sur des sols de Suède allant de 3 à 49 % d'argile et de 1,3 à 38 % de matière organique. Les figures 6 et 7 montrent la relation très étroite entre l'humidité et le taux de compactage.

% d'argile après
Ljungars, loc. cit.)
ctness » after a
Ljungars, loc. cit.)

Malheureusement, il semble que l'humidité au moment de l'action de compactage ne soit pas le seul facteur à prendre en considération : les expériences au champ ne sont pas toujours très claires à cet égard ; en particulier, l'influence de l'histoire hydrique du matériau et les précédents culturels peuvent jouer un certain rôle : une teneur en eau élevée au printemps, après les pluies ou les neiges d'hiver, accroît les risques de consolidation dans un milieu saturé et peut-être aussi, déstructuré.

Ainsi, plusieurs auteurs citent des conditions climatiques anormales qui nuisent à l'interprétation des expérimentations : selon Erikson (8), un printemps exceptionnellement sec en 1970 a pu influencer sur les résultats des tests de compactage, interprétés uniquement au moyen des teneurs en eau au moment de l'essai. Dans le même ordre d'idées, d'après Voorhees (17), cinq années exceptionnellement sèches, ont sans doute influencé les résultats de recherches menées dans le Minnesota. Il est donc évident que les critères à prendre en compte pour juger des différences de comportement mécanique probable des parcelles drainées et non drainées ne peuvent être la seule humidité, mais il convient de contrôler également l'état structural initial, ou d'utiliser des tests tels que la *pénétrométrie*, qui intègre au moins l'influence de ces deux facteurs. Compte tenu de l'hétérogénéité des surfaces, la dynamique de l'enfoncement d'une plaque est sans doute préférable au pénétromètre à pointe ou à cône pour les tests de portance.

De l'effet du drainage sur les propriétés hydrodynamiques des sols découlent également les différences observables entre drainage profond et drainage superficiel ; le drainage profond assèche plus les couches de surface, à la fin de la période humide, que le drainage superficiel, si bien que le rôle de l'évaporation est réduit ; la conductivité hydraulique de ces niveaux asséchés étant plus faible, la remontée capillaire est ralentie et l'on gagne en rapidité d'accessibilité (19).

Enfin, on a pu observer parfois des modifications structurales dues au drainage : création de croûtes durant la dessiccation de l'horizon de surface d'un sol drainé, foisonnement, dû au gel, plus intense en sol drainé, etc.

On peut encore rattacher à ces effets du drainage sur la structure, l'apparition des zones compactées (ou rendues plus imperméables par colmatage), ainsi que les phénomènes d'effet voûte étudiés par Concarret (3).

Conclusions

L'impact du drainage sur les propriétés physiques et mécaniques des sols ne peut s'expliquer par la seule étude statique de l'état hydrique : il faut y adjoindre des informations d'ordre cinétique, une description de l'état structural des couches superficielles (structure agrégée, en mottes, en blocs...), une typologie de la déformabilité des matériaux.

La modélisation de l'évolution des profils hydriques doit avoir pour but, par simulation, d'établir, pour des séquences climatiques probables, les conditions de réalisation du drainage, les plus propices à la formation d'une assise efficace de roulement en surface. Cette assise devra être caractérisée par un fort gradient de teneur en eau par rapport au niveau sous-jacent : la structure de cette couche n'étant pas nécessairement continue, on conçoit que le calcul de la transmission des

contraintes en présence des milieux continus

Il faut donc tenir compte des conditions hydriques en milieu continu et d'autre part, des systèmes discontinus

Parallèlement, on peut envisager la possibilité de la portance à supporter un chargement et la vérification des conditions géométriques et mécaniques

- 1 - BELACKWELL (P.)
- 2 - BRUCKLER (L.), 1987.
- 3 - CONCARRET (J.)
- 4 - CURRIE (J.-A.)
- 5 - DE COCKBORN de Lublin, 1982
- 6 - DE COCKBORN de l'A.I.S.S.,
- 7 - DEKIMPE (C.R.) 83-96.
- 8 - ERIKSSON (J.) Tech. Bull. n°
- 9 - GUERIF (J.)
- 10 - JAILLARD (B.)
- 11 - LJUNGARS (A.)
- 12 - PANG (Z.X.)
- 13 - PASSERAT de
- 14 - SCOOTER (D.)
- 15 - STEENHUIS (I.)
- 16 - VERETENNIKO 2, 252-254.
- 17 - VOORHEES (I.) Am. J., 42, 1950.
- 18 - WATERS (Patri Ltd, Publish)
- 19 - WIND (G.P.)
- 20 - X... FAO/UN LTD, Publish

contraintes en profondeur ne peut aisément découler de la mécanique des milieux continus, et qu'un autre type d'approche est à envisager.

Il faut donc faire porter les efforts sur la prévision des transferts hydriques en milieu stratifiés et (ou) structuré hétérogène d'une part, et d'autre part, sur la mécanique des sols appliquée, également, à des systèmes discontinus et à gradients hydriques contrastés.

Parallèlement, l'approche globale, type « secteurs de référence », permet soit la réponse directe aux problèmes posés concernant l'évolution de la portance, de la « *traficabilité* » et l'aptitude d'un sol donné à supporter un travail déterminé, soit des sites de calibrage et de vérification des modèles déterministes d'évolution des propriétés physiques et mécaniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - BELACKWELL (P.S.). — « Agr. Dev. Advis. Serv. » (Tech. Bull. n° 77/6, oct. 1977).
- 2 - BRUCKLER (L.), RENAULT (P.) et ARIES (F.). — « J. of Soil Sci. » (à par. 1^{er} trimestre 1987).
- 3 - CONCARRET (J.). — Thèse, 1981. Edit. Chambre d'agric. de Bourgogne, 510 p.
- 4 - CURRIE (J.-A.). — « J. of Soil Sci. », 1984, 35, 1-10.
- 5 - DE COCKBORNE (A.-M.) et GUENNELON (R.). — C.R. du 1^{er} Séminaire franco-polonais de Lublin, 1986, 75-89.
- 6 - DE COCKBORNE (A.-M.), LAFOLIE (F.) et GUENNELON (R.). — C.R. du XIII^e Congrès de l'A.I.S.S., Hambourg, 1986.
- 7 - DEKIMPE (C.R.) et LAVERDIERE (M.R.). — « Canadian J. of Soil Sci. », 1980, 60 (1), 83-96.
- 8 - ERIKSSON (J.), HAKANSON (I.) et DANFORS (B.). — « Swed. Inst. Agric. Engineering ». Tech. Bull. n° 5 (1983).
- 9 - GUERIF (J.). — « J. agric. Res. », 1984, 29, 367-374.
- 10 - JAILLARD (B.) et CABIDOCHÉ (Y.M.). — « Science du Sol », 1984, 3, 239-251.
- 11 - LJUNGARS (A.). — « Agric. College Sweden, Dep. Sci. », 1977, Rep. 52, 43 pages.
- 12 - PANG (Z.X.). — « Acta Pedologica Sinica », 1980, (17), 1, 85-88.
- 13 - PASSERAT de SILANS (A.). — Inst. Polytechnique de Grenoble, 1986. Thèse, 205 pages.
- 14 - SCOOTER (D.R.) et HORNE (D.J.). — « J. of Soil Sci. », 1985, 36, 319-327.
- 15 - STEENHUIS (T.S.) et WALTER (M.F.). — « ASAE Paper », 1984, n° 84-2511, 15 pages.
- 16 - VERETENNIKOV (A.V.) et KONOVALOV (V.N.). — « Botanicheskii Zhurnal », 1979, (64), 2, 252-254.
- 17 - VOORHEES (W.B.), SENST (C.G.) et NELSON (W.W.). — « Soil Sci. », 1978, Soc. Am. J., 42, 344-349.
- 18 - WATERS (Patricia). — « Agr. Dev. Advis. Serv. », 1977, Tech. Bull. n° 77/6, 16 pages. Ltd. Publishers.
- 19 - WIND (G.P.). — « Neth. J. Agric. Sci. », 1976, 24, 155-172.
- 20 - X... FAO/UNESCO (« An International Source Book »), 1973, 510 pages. Hutchinson & Co LTD, Publishers.