

INFORMATION

LA GESTION PHYSIQUE DES SOLS

A. DUCREUX *, G. MANIERE **, M. BROUWERS ***

*Communication aux Journées de la sous-direction des Ressources naturelles de l'IRAT
12-15 sept. 1989 à Montpellier.*

INTRODUCTION

Dans le domaine du travail du sol, l'agronome ou le chercheur se trouve confronté à un problème de gestion du milieu nécessitant d'intégrer des besoins (un objectif de production, de restauration des sols,...) et des contraintes (exigences de la culture, disponibilités en eau, temps disponible, coûts, ...) dont la diversité fait de chaque situation et donc, de chaque solution, un cas particulier difficilement extrapolable.

L'expérience de chacun augmente mais ne peut se transmettre que s'il existe une quantification suffisante des conditions d'intervention et du résultat obtenu.

C'est pour répondre à cette exigence fondamentale que le programme de gestion physique des sols du CEEMAT s'est donné comme objectif de créer un référentiel technique et économique dans le domaine des relations «sol-machine» pour modéliser, simuler et développer à terme un système expert.

I — UNE DEMARCHE

Il s'agit de mesurer, au moment de la réalisation des façons culturales, les états du sol, les conditions d'intervention de l'ensemble «cellules motrices/outils», le résultat obtenu sur le sol, ... et d'établir en laboratoires des valeurs de référence.

Cette démarche nécessite un travail pluridisciplinaire associant aux chercheurs de terrain plusieurs équipes :

- le LAGEPHY, laboratoire de gestion physique des sols, associant le CEEMAT, l'ENSAM et l'IRAT,
- le LETMA, laboratoire d'études techniques du machinisme agricole du CEEMAT,
- la base de données relationnelle ECORDRE de l'INRA, dans lequel un secteur «machinisme» est en cours de développement au CEEMAT.

Quel est l'état de nos moyens dans ce domaine et quelles en sont les perspectives de développement ?

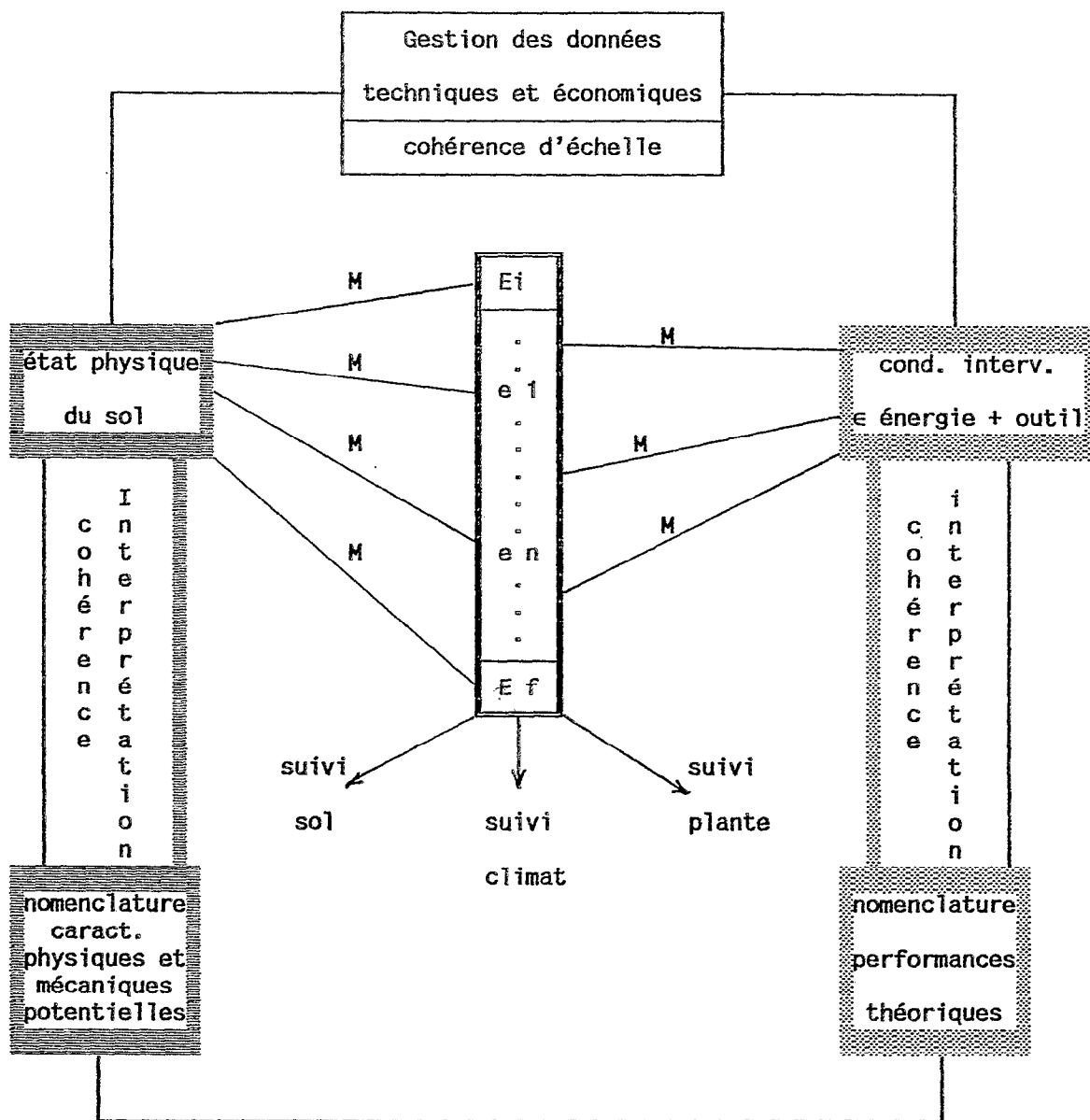
* CIRAD/CEEMAT
** ENSA Montpellier
*** CIRAD/IRAT

Fig. 1 — Schéma de la méthode utilisée :

Le sol doit passer d'un état initial que l'on constate (Ei) à un état final que l'on souhaite (Ef). Ce passage se fait sous contrôle de l'homme grâce à l'intervention des machines.

Le résultat immédiat obtenu dépend à la fois du type et de l'état du sol mais aussi, du type de matériel utilisé et des réglages choisis. La connaissance des interactions entre toutes ces variables suppose un grand nombre de mesures concernant les machines et les conditions de leur intervention, le type de sol et son état.

Et enfin, l'interprétation des valeurs obtenues suppose des références concernant les capacités des machines et les potentialités du milieu.



▨ LAGEPHY
 ▩ LETMA

— Milieu d'étude
 - - - ECORDRE (B.D.R.)

Ei : état initial
 Ef : état final
 E1, ..., En : états intermédiaires

II — MESURER LE TERRAIN

1. Techniques de prise d'information sur l'ensemble cellule d'énergie/outil

Les informations utiles à enregistrer sur le terrain doivent permettre de déterminer, après calculs, la puissance consommée, les efforts demandés, les temps de travaux, le rendement de chantier, le coût des travaux...

et de juger de la bonne adéquation «cellule d'énergie/outil».

a) Techniques couramment utilisées

Il s'agit de mesurer des caractéristiques liées au fonctionnement des matériels sur le terrain.

Caractéristiques	Cellule d'énergie chimique	Cellule d'énergie musculaire	Matériels utilisés
Vitesse de rotation	X	-	Compte-tour
Vitesse d'avancement réelle	X	X	Chronomètre et Décamètre
Glissement	X	X	Jalons
Effort	X	X	Dynamomètre
Température	X	-	Thermomètre
Rythme cardiaque	-	X	-
Consommation	X	-	Eprouvette

Au cours d'un essai, il est très difficile de réaliser ces mesures sans perturber le fonctionnement de l'ensemble et donc de sortir des conditions réelles de réalisation. Certaines ne peuvent pas être réalisées... et en tout état de causes nécessitent un grand nombre d'opérateurs compétents.

C'est pourquoi le CEEMAT s'est penché sur la possibilité de créer une chaîne automatisée de prise de données en continue.

b) Chaîne de mesure automatisée

Des recherches récentes ont permis d'étudier deux chaînes de mesure relativement peu coûteuses et performantes adaptées aux cellules d'énergie utilisées par le CEEMAT en ce qui concerne les tracteurs et assimilés et par l'IER (ex NIAE), en collaboration avec le CEEMAT, en ce qui concerne les animaux de trait.

Ces chaînes de mesures sont constituées :

- d'un ensemble de capteurs (choisis selon le cas) : débitmètre à gazole, compteur d'impulsions, radar, jauge de contrainte, inclinomètre, rythme cardiaque, respiratoire, de marche, thermomètre.

- d'un enregistreur de données fonctionnant sur batterie,

- d'une cellule de traitement (micro-ordinateur).

L'utilisation de cette chaîne est simple et se fait aux champs où sont enregistrées les données en temps réel, et au laboratoire où les données sont transférées dans la cellule de traitement et analysées à l'aide du logiciel adapté à l'essai.

L'autonomie d'utilisation de cette chaîne est actuellement de 1/2 heure à 1/2 journée. Elle est liée à la qualité des capteurs employés et donc à son coût qui atteint actuellement 50 000 F environ (sans micro-ordinateur). Mais les progrès dans ce domaine sont très rapides.

2. Evaluation in situ de l'action sur le sol

Cette évaluation doit nécessairement porter sur des mesures pertinentes par rapport à celles qui sont réalisées sur les cellules d'énergie et les outils, et homogènes avec celles qui sont réalisées comme références au laboratoire.

Elles doivent permettre de quantifier la profondeur travaillée, l'émiettement, l'état de surface, la porosité globale et la présence de discontinuités physiques. Toutes ces caractéristiques sont en relation avec l'efficacité des réglages, l'énergie reçue par le sol, le choix du matériel suivant, le développement racinaire, la dynamique de l'eau. Elles permettent de caractériser aussi bien l'état initial que l'état du sol après intervention des matériels.

a) Techniques actuelles

L'étude du profil cultural est un élément très important mais c'est une mesure longue, destructrice et somme toute ponctuelle à l'échelle de la parcelle. Elle demande un savoir faire certain et reste l'affaire de spécialistes.

Il existe cependant des techniques classiques permettant des répétitions :

	Appareillage
Masse volumique apparente et humidité	<ul style="list-style-type: none"> • Densitomètre à membrane • Anneaux de prélèvements
Profondeur travaillée et foisonnement	<ul style="list-style-type: none"> • Plige, mètre
Emiettement	<ul style="list-style-type: none"> • Tamis
Etat de surface	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre de mesure • Rugosimètre
Discontinuités physiques	<ul style="list-style-type: none"> • Pénétrromètre
Cohésion	<ul style="list-style-type: none"> • Scissomètre

Cependant la plupart de ces mesures sont destructrices, nécessitent du transport de terre au laboratoire (en quantités importantes) pour traitements ultérieurs... et demandent une importante manipulation par des opérateurs compétents.

De plus, elles sont parfois irréalisables dans certaines conditions.

C'est pourquoi notre souci actuel est de mettre au point des modes de mesure plus performants et moins destructeurs.

b) Evolution en cours

Le LAGEPHY oriente ses efforts vers la mise au point de méthodes et d'appareillages permettant d'améliorer la saisie, le stockage et le traitement des données en très grande quantité. Son but est d'augmenter la rapidité des mesures et leur fiabilité en diminuant l'influence de l'opérateur, permettant ainsi une meilleure caractérisation de la parcelle et une plus grande fiabilité des résultats obtenus.

Ceci ne pourra se faire que par l'utilisation ou la conception d'appareillage électronique et par l'utilisation de l'informatique.

Ces préoccupations ne sont pas étrangères à certains secteurs d'activités couverts par le Génie Civil, mais leurs solutions ne sont pas adaptées au secteur agricole.

Les orientations actuelles :

- l'utilisation d'une **sonde gammaneutronique** capable de réaliser des mesures de 0 à 60 cm de profondeur par «pas» de 5 cm peut donner une image moyenne de l'état du sol. Cependant, elle n'est pas entièrement opérationnelle (exemple : problèmes d'étalonnage au Burkina Faso et à la Réunion) ;
- la réalisation d'un capteur de profondeur associé à la chaîne «Cellule motrice» ;
- la possibilité d'utiliser l'**analyseur d'image** pour juger de l'état de surface enregistré sur photographie ;
- l'étude d'un appareil basé sur le **principe du pénétromètre** automatique et enregistreur conçu par le CEMAGREF qui pourrait nous donner en même temps : un indice de rugosité, la densité apparente, le foisonnement et la profondeur de travail.

Tous ces appareils pourront être associés à la cellule de saisie de données utilisées par les cellules d'énergie.

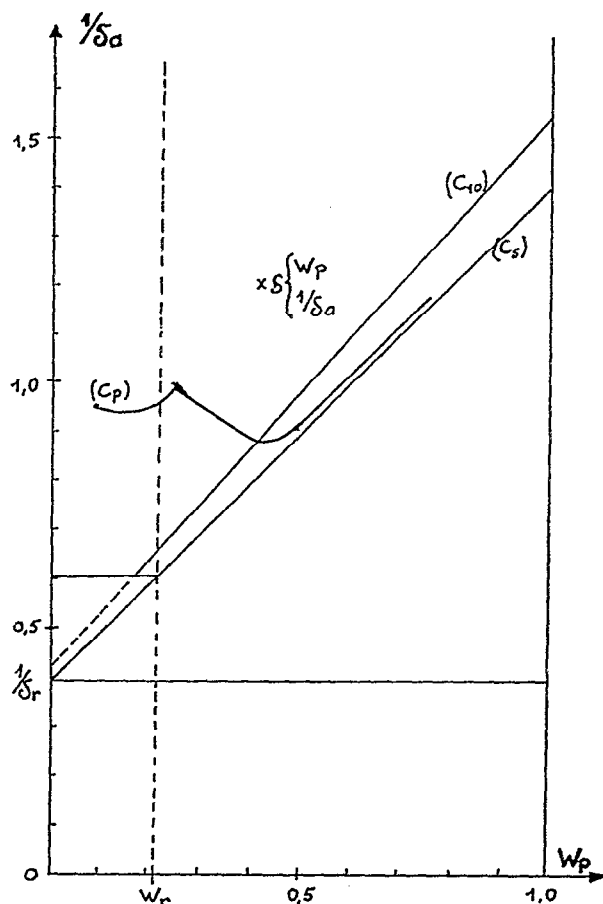
III — INTERPRETER LE TERRAIN : LE LABORATOIRE

1. Cellule d'énergie

Les références de type nomenclature ou classification sont très nombreuses pour les matériels motorisés et les outils de tout type (CEEMAT, CEMAGREF...). Elles sont plus difficiles à trouver pour les animaux.

Les informations concernant les performances théoriques sont très nombreuses en motorisation (bulletin d'essai, données des constructeurs) ou peuvent être assez facilement obtenues (banc d'essai du laboratoire). Elles sont aussi beaucoup moins nombreuses et plus aléatoires pour les animaux de trait. Notre seul problème actuel est de les gérer et des solutions sont à l'étude en collaboration avec l'INRA, le CIDARC et le GRET.

Fig. 2 — Diagramme caractéristique d'un sol



2. Milieu sol

Il n'existe que très peu de références dans lesquelles les conditions d'intervention des cellules d'énergie et des outils sont données de façon assez précise. A l'occasion de nos propres essais nous avons commencé à les consigner.

En plus des références de type nomenclature (granulométrie, états de consistance, type pédologique, localisation géographique...), nous procédons à une caractérisation mécanique du matériau «sol» basée sur le comportement au compactage qui nous permet de tracer un «diagramme caractéristique» regroupant quelques potentialités du sol.

Plusieurs présentations sont possibles. Celle que nous utilisons ici consiste en un diagramme tracé dans un repère orthonormé avec, en abscisse, l'humidité pondérale du sol (W_p), et en ordonnée, l'inverse de sa masse volumique apparente ($1/\Delta a$).

Dans ce repère on trace des courbes remarquables et caractéristiques du sol considéré en fonction de W_r , limite de retrait, et de Δr , masse volumique réelle des grains :

- la courbe de saturation totale (C_s),
- la courbe de saturation partielle (C_{10}) à taux d'air constant et égal à 10 % (limite couramment admise),
- la courbe d'équation $W_p = W_r$ qui coupe (C_s) en un point d'ordonnée $1/\Delta M$,
- une courbe de compactage dynamique (C_p) obtenue expérimentalement selon le principe du PROCTOR, à une énergie comparable à celle mise en jeu dans la situation étudiée : soit E_x , fonction de la cellule d'énergie.

Toute mesure d'état du sol faite *in situ* ($W_p, \Delta a$) peut être représentée sur ce graphique sur lequel se dessinent plusieurs zones remarquables :

- au-dessous de (C_s) ou pour $\Delta a > \Delta M$ il n'existe pas de point représentatif du sol,
- entre (C_s) et (C_{10}) le milieu est asphyxiant,
- pour $W_p > W_r$, le sol pourra acquérir, par simple dessiccation, une masse volumique apparente supérieure à celle que l'on a mesurée,
- sur (C_p) et au-dessous, le sol a probablement subi dans son histoire des contraintes supérieures à celles correspondant à l'énergie E_x qui ont abouti à un certain compactage.

Ce graphique permet donc une appréciation globale de l'état du sol et il est indispensable à la comparaison de plusieurs résultats de mesures effectuées dans un même sol à des humidités différentes.

Cependant ce diagramme a des limites :

- Sa **validité** repose sur des études complémentaires sur la représentativité de E_x en fonction des cellules d'énergies utilisées et sur l'influence de l'état initial du sol sur la forme de la courbe (C_p).

- Son **utilisation** est assez contraignante car il nécessite des échantillons importants et beaucoup de temps au laboratoire.

Notre objectif à terme, après création d'un référentiel suffisant, est de trouver des tests simplifiés de terrain qui permettront de le remplacer.

IV — CONCLUSION

Il existe une différence technologique importante entre les moyens d'acquisition de données dont nous disposons, liés aux machines et outils, et ceux qui sont liés au milieu «sol».

Les »premiers« ont dépassé le stade conceptuel et vivent leur stade »développement« au bout duquel ils seront pleinement opérationnels. Les seconds en sont au tout début du stade conceptuel.

Il devient essentiel de progresser rapidement dans ce domaine. C'est à ce prix seulement que nous pourrons un jour mettre en place un système expert relatif à l'ensemble des façons culturelles nécessaires à la mise en place d'une culture.