

ASPEK MEKANIKA TANAH DALAM INTERAKSI MESIN TANAH

Bagian III (Terakhir)

Oleh :

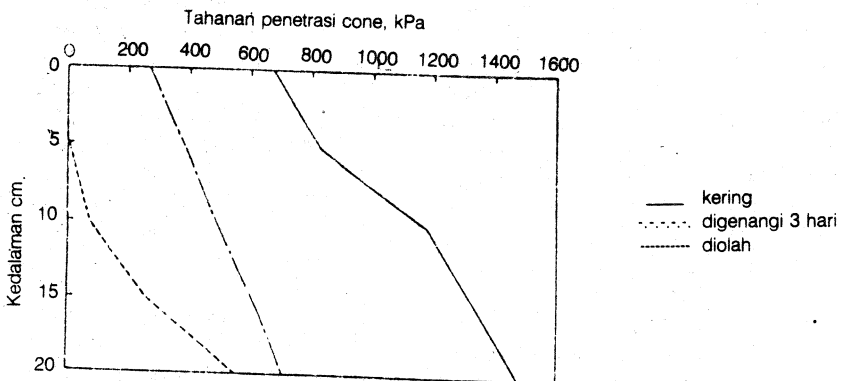
Abdul Rozaq *)

Masalah Interaksi Mesin-Tanah Lumpur

Kalau dalam bab sebelumnya telah dikemukakan secara global pentingnya pengetahuan mekanika tanah untuk memahami interaksi mesin tanah di lahan kering, maka di Indonesia khususnya dan negara-negara lain yang menyelenggarakan budidaya padi sawah timbul tantangan baru untuk mempelajari masalah interaksi mesin-tanah di lahan yang basah atau berlumpur, yang dicirikan oleh sifatnya yang sangat lunak dan berair. Rancang bangun traktor yang ditujukan untuk lahan kering, misalnya, akan segera

mengalami persoalan apabila dipergunakan untuk bekerja di lahan basah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya maksimum traktor di lahan basah hanya mencapai $\pm 40\%$ daya maksimum yang diperoleh di lahan kering.

Sementara itu, pengolahan tanah pada tanah basah akan menurunkan kekuatan tanah secara menyolok. Sebagai contoh dapat dikemukakan perubahan tahanan penetrasi tanah dalam kondisi tanah kering, digenangi dan dilumpurkan (gb. 1).



Gambar 1. Variasi Tahanan Penetrasi pada Berbagai Keadaan Lahan

*) Staf Pengajar FTP-UGM.

Sebelum diolah dan masih dalam keadaan kering, tanah relatif agak padat, sehingga harga indeks kerucut sekitar 1090 kPa. Setelah digenangi selama 3 hari, harga indeks kerucut turun menjadi 490 kPa. Harga tahanan penetrasi tanah ini menjadi lebih kecil lagi (180 kPa) setelah tanah dilumpurkan dengan rotary cultivator. Lebih dari itu, kekuatan tanah di atas kedalaman 10 cm menjadi tidak berarti atau hampir hilang.

Awal Pertumbuhan Baru Teori Mekanika Tanah Lumpur

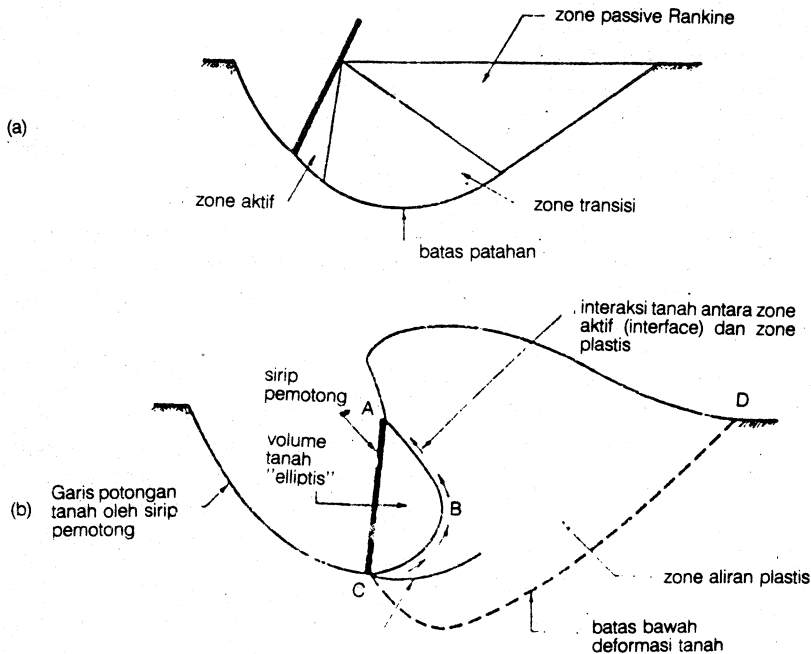
Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, diperoleh fenomena yang berlainan antara reaksi tanah lumpur dan tanah tidak jenuh terhadap gaya yang dikenakan.

Sebagai contoh, penambahan lebar roda besi pada tanah kering yang berstruktur lepas, seperti pasir kering misalnya, akan menyebabkan meningkatnya tahanan guling roda karena efek penggundukan tanah di depan roda (bulldozing). Pada tanah berlumpur, fenomena seperti tersebut di atas tidak nampak, tetapi fenomena lain yang muncul yaitu penggundukan tanah di samping kanan-kiri roda. Hal ini juga diikuti dengan meningkatnya tahanan guling tanah. Dengan demikian efek negatif dari penambahan lebar roda, yang berupa meningkatnya tahanan guling roda, tidak disebabkan oleh hal yang sama pada dua keadaan tersebut. Dengan perkataan lain, teori pendukung untuk menjelaskan peningkatan tahanan guling karena efek "bulldozing" tidak dapat dipergunakan untuk menganalisis fenomena peningkatan tahanan guling roda akibat penambahan lebar roda di tanah berlumpur.

Demikian juga halnya dengan penggunaan roda apung sebagai alat bantu untuk memperbaiki traksi traktor yang bekerja di tanah basah. Jumlah sirip yang dapat dipasang pada roda apung agar diperoleh traksi yang optimum masih sulit dilakukan karena adanya fenomena ganda berupa penggumpalan lumpur di antara dua sirip dan mobilisasi kekuatan tanah yang terhambat akibat interferensi daerah patahan tanah di antara dua sirip.

Penelitian lebih lanjut juga menunjukkan bahwa teori tekanan passive tanah tidak dapat dipergunakan untuk mendeskripsi gerakan tanah yang terjadi di bawah sirip roda apung. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut (gb. 2).

Gambar 2 menunjukkan pola deformasi tanah di bawah sirip pemotong menurut teori tekanan tanah passive (atas) dan kenyataan sesungguhnya di tanah lumpur (bawah). Secara teoritis, pada saat terjadi keruntuhan tanah secara passive, di bagian muka alat pemotong tanah terdapat tiga zone yang jelas daerah batasnya yaitu zone aktif (interface), zone transisi dan zone passive Rankine. Di dalam kenyataan, secara skematis, pola deformasi tanah pada tanah lumpur sangat berbeda, yang ditandai oleh tidak adanya zone transisi dan zone passive Rankine. Sementara itu, deformasi tanah lumpur di bawah sirip pemotong dapat dibedakan menjadi dua zone yaitu suatu volume tanah di depan sirip pemotong yang berbentuk mendekati ellips (ABC) dan zone deformasi plastis yang menyerupai bentuk hati (ABCD). Pada waktu putaran sirip pemotong tanah bertambah, permukaan tanah di depannya tidak lagi horizontal dan batas patahan tanah di bawahnya tidak berkembang mencapai permukaan tanah



Gambar 2. Pola Deformasi Tanah di bawah alat Pemotong Tanah Berdasarkan Teori (a) dan kenyataan di tanah basah

di bagian depan, seperti halnya diasumsikan oleh teori tekanan tanah passive. Dengan demikian perhitungan tahanan passive tanah tidak lagi dapat dipergunakan untuk menganalisis gaya pemotongan tanah oleh suatu alat pemotong tanah di tanah yang basah atau berlumpur.

Fenomena tersebut di atas menunjukkan secara garis besar ketidakmampuan teori mekanika klasik untuk menjelaskan interaksi mesin-tanah di lahan basah atau berlumpur, sekaligus merupakan tantangan baru bagi agricultural engineers untuk melahirkan teori-teori baru dalam bidang mekanika tanah lumpur.

Pemodelan Watak Tanah

Sejarah perkembangan ilmu mekanika tanah dapat dilihat sebagai suatu upaya menghubungkan watak tanah sebagai suatu material yang bersifat responsif dengan hukum-hukum mekanika.

Di dalam mendisain alat/mesin pertanian atau bangunan pertanian yang harus berinteraksi dengan tanah, misalnya, sangat diperlukan adanya informasi yang pasti tentang reaksi tanah akibat suatu gaya yang mengenainya. Dengan demikian timbul tuntutan untuk memperoleh *deskripsi matematis* yang valid tentang respons tanah terhadap gaya-gaya yang bekerja.

Tuntutan untuk memperoleh deskripsi matematis tersebut telah mendorong berkembangnya bidang kajian mekanika dengan menggunakan pendekatan model. Hal ini diperkuat dengan kemajuan di bidang komputer yang telah banyak membantu mengatasi hambatan hitungan yang terlampau rumit. Saat ini kita dapatkan berbagai model yang dibuat untuk menggambarkan watak mekanis berbagai tanah. Model-model tersebut ternyata belum dapat menggambarkan watak sebenarnya dari tanah yang sangat kompleks termasuk di antaranya watak deformasi yang tidak bersifat reversible (kembali). Menghadapi kenyataan ini, model-model elastoplastis dan viscoplastis yang dianggap lebih representatif terus dikembangkan, dengan harapan suatu saat watak tanah yang sebenarnya dapat digambarkan dalam suatu hukum mekanika yang berlaku umum. Usaha memodelkan watak tanah lumpur juga sudah mulai dilakukan. Dibanding dengan model watak tanah kering, maka di dalam model watak tanah lumpur perlu diperhatikan faktor peningkatan kekuatan tanah terhadap waktu. Sebagai contoh dapat dikemukakan model umum Maxwell, yang relatif dapat menggambarkan dengan baik konstanta viscoelasfinitas, yang berkaitan erat dengan watak deformasi suatu tanah lumpur. Watak deformasi ini selanjutnya diperlukan untuk keperluan rancang bangun alat/mesin pertanian di tanah basah.

Masalah-masalah yang dihadapi dalam rangka modelisasi watak tanah yang diprioritaskan untuk diselesaikan dalam masa yang akan datang adalah : (a) identifikasi dan pengembangan cara testing yang sesuai untuk memperoleh berbagai parameter fisik di dalam model,

(b) penyatuan yang menyeluruh antara data hasil testing dan teori, (c) pengembangan cara penyiapan sampel yang seragam, (d) pengembangan test unjuk kerja yang konsisten baik di lapangan maupun di laboratorium.

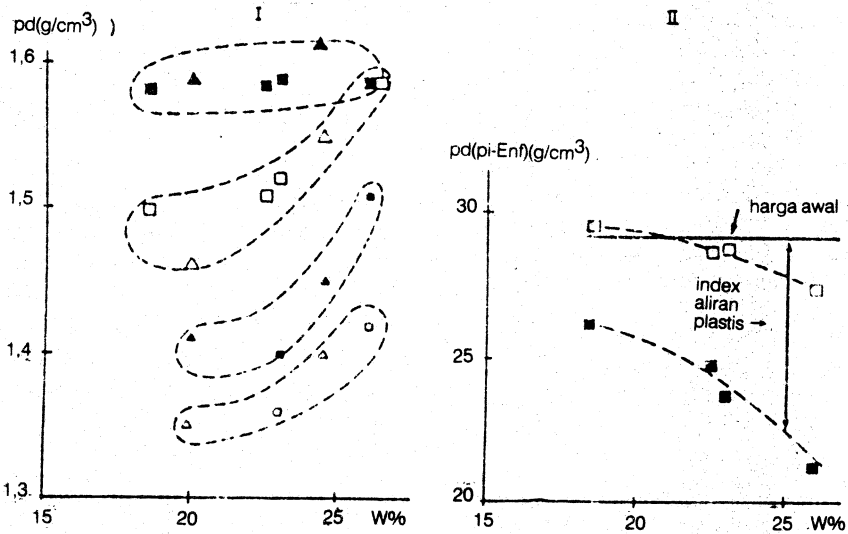
Pemadatan Tanah oleh Mesin Pertanian : Efek Samping Interaksi Mesin-tanah

Selain memberikan performance tertentu yang diharapkan, mesin pertanian dapat menimbulkan akibat sampingan berupa pemadatan tanah pada lapisan olah atau lebih dalam lagi di bawah lapisan olah. Masalah pemadatan tanah ini telah menjadi persoalan besar, yang ditandai oleh penurunan tingkat produktivitas lahan, peningkatan kebutuhan energi pengolahan tanah, peningkatan resiko erosi dan sebagainya, terutama di negara-negara industri yang mempunyai empat musim. Faktor utama yang menyebabkan di antaranya adalah akibat peningkatan berat mesin dan tuntutan ekonomis yang mengharuskan petani mengoperasikan mesin-mesinnya pada saat tanah yang digarap masih relatif lembab.

Pemadatan tanah, apabila dilihat dari kacamata interaksi mesin-tanah, merupakan persoalan yang kompleks mengingat sangat kompleksnya watak tanah dan distribusi tegangan yang ditimbulkan oleh roda. Percobaan-percobaan yang dilakukan di laboratorium tidak sepenuhnya dapat mewakili proses pemadatan yang sesungguhnya di lapangan karena kondisi pembebanan, struktur tanah dan mekanisme pemadatan yang berlainan. Dengan demikian hasil percobaan di laboratorium tidak sepenuhnya dapat menjelaskan fenomena pemadatan yang terjadi sesungguhnya di bawah roda.

Hasil-hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi antara lapisan-lapisan pada tanah olah di samping interaksi antara energi yang diterima oleh tanah dengan kadar lengas tanah, struktur awal tanah dan waktu pembebanan. Di samping itu, jenis lempung dan kadarnya dalam tanah serta kandungan bahan organik dalam tanah sangat berpengaruh

terhadap ambang kepekaan pemadatan tanah. Fenomena lain yang sering terjadi dalam kasus pemadatan tanah adalah aliran volume tanah yang tidak diikuti dengan pengurangan porositas tanah (aliran plastis). Fenomena ini meningkat apabila kenaikan berat volume tanah di bawah bidang tekan telah mencapai harga maximum (gb. 3).



Gambar 3. Variasi Berat Volume Rata-rata (I) dan Massa Tanah/cm² Luas (II) Setelah Pemadatan sebagai Fungsi dari Lengas Tanah

Keterangan :

Type Lapisan Olah Hasil Pembajakan	A	B
Pemadatan faktor	□	△
	■	▲
Pemadatan oleh Piston /20 detik	□	△
	■	▲

- Pd = berat volume rata-rata lapisan olah
- pi = dalam lapisan olah awal
- Enf = sinkage (kedalaman jejak pada tanah)
- W = kadar air (lengas tanah)

Pada percobaan pemadatan dengan piston 225 kPa, variasi berat volume tanah terhadap kadar lengas mulai nampak berkurang dan pada keadaan tersebut harga sinkage (enf) meningkat pesat, sehingga harga pd (pi-enf) menurun dengan cepat. Hal ini ditunjukkan dengan membesarnya index aliran plastis dibanding dengan index yang sama pada keadaan P₁ = 150 kPa.

Keseluruhan fenomena interaksi yang melekat pada watak respons tanah terhadap gaya mekanik yang menegenainya, menunjukkan kompleksnya usaha untuk mengatasi problema pemadatan tanah, sebagai efek samping interaksi mesin-tanah, dengan pendekatan matematis (modelling).

Optimasi Hasil Interaksi Mesin-Tanah

Dengan latar belakang peningkatan efisiensi di berbagai bidang, praktek penggunaan mesin pertanian di lapangan, terutama yang harus berinteraksi dengan tanah, mulai dipertanyakan oleh para pakar di bidang pertanian dan kerekayasaan. Sebagai contoh : haruskah tanah diolah dengan bajak-bajak-garu atau peralatan lainnya dan berapa kali pekerjaan tersebut harus dilakukan ? Dengan demikian persyaratan pengolahan tanah yang optimum untuk tanaman harus dijelaskan secara kuantitatif.

Untuk menjawab pertanyaan di atas diperlukan kerjasama antara pakar di bidang agronomi, tanah dan rekayasa pertanian. Masalah yang harus dipecahkan menuntut masing-masing pakar untuk memahami kenyataan terdapatnya hubungan antara elemen sistem yang menyusun suatu lahan yang dibudidayakan yaitu : *tanaman - milieu budidaya - cara budidaya*. Dengan mengetahui hubungan tersebut, dapat dilakukan pemilihan cara-cara yang dapat membuat sistem tersebut berfungsi, sehingga peranan cara (teknik) budidaya dapat dianalisa dan akibat yang timbul apabila teknik tersebut masuk dalam sistem dapat didiskusikan.

Penentuan teknik budidaya untuk suatu tanaman tertentu, atau dengan kata

lain penentuan hasil interaksi mesin-tanah yang optimum untuk tanaman, sangat tergantung pada analisa rinci hubungan teknik budidaya dan produksi. Hubungan yang selama ini dipergunakan :



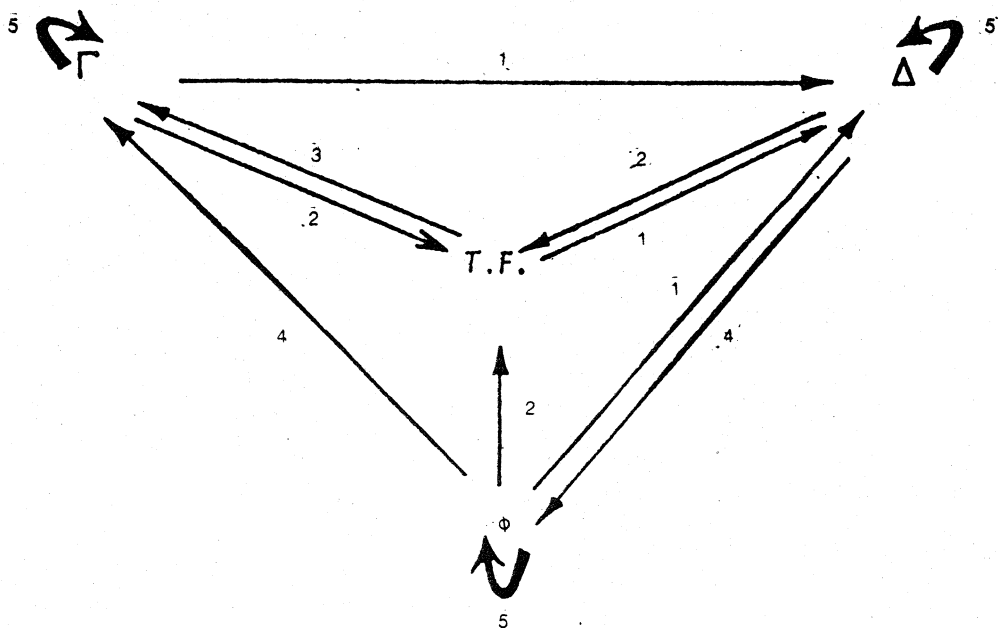
yang mengasumsikan hubungan sebab akibat (langsung) antara teknik budidaya dan produksi tanaman sebaiknya diganti dengan hubungan sebagai berikut :



Dengan demikian hasil interaksi antara iklim dan tanahlah yang akan menentukan produksi tanaman, dan hasil interaksi mesin tanah hanyalah merupakan keadaan sesaat saja.

Pemikiran ini menuntut adanya suatu skema elaborasi produksi tanaman yang menggambarkan keterkaitan berbagai faktor penentu dalam produksi tanaman, yang akan sangat membantu usaha *modelisasi*, dan usaha menetapkan metode *diagnostik* hasil interaksi milieu tanah dan iklim. Hal tersebut dimungkinkan dengan ditemukannya metode *karakteristik kondisi fisik tanah* (pada lahan yang bersangkutan), yang bertujuan untuk mendiskripsi secara morfologis keadaan struktur lapisan olah dan mencari *hubungan antara alat* (pengolah tanah) dan *transformasi keadaan profil lapisan olah*.

Sebagai contoh dapat dikemukakan usaha untuk mendeskripsi berbagai keadaan elemen struktur tanah (misalnya bongkah tanah hasil pengolahan tanah) yang berukuran atau berskala 1—2 dm². Hubungan antara berbagai type elemen struktur tanah tersebut digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4. Skema Hipotesis Hubungan Berbagai Type Elemen Struktur Tanah Olah

(1) Teknik budidaya tertentu, misalnya penyemprotan hama/penyakit, mengenai secara langsung tanaman dan keadaan akhir inilah yang mempengaruhi perkembangan tanaman selanjutnya.

Keterangan :

- (1) Pembentukan struktur kontinyu : hasil pemadatan (antropis)
- (2) Fragmentasi oleh alat
- (3) Agregasi (interaksi iklim-textur tanah)
- (3) Fragmentasi akibat pengembangan dan pengerutan (interaksi iklim tekstur tanah)
- (5) Modifikasi ringan (tanpa perubahan kondisi internal elemen struktur)

∩ = Agregat terlihat dalam bongkah (porositas struktural meningkat dari type elemen struktur Δ ke ∩)

Δ = Massive dan kompak

∅ = Retakan halus dalam bongkah kompak

TF = Agregat yang halus (hasil interaksi alat/mesin tanah)

Atas dasar penggolongan berbagai type elemen struktur tanah pada lapisan olah tersebut, usaha pencirian struktur tanah olah dapat dilakukan secara lebih rinci yaitu dengan menggolongkan tipe penyatuan elemen-elemen strukturnya.

Dengan menggunakan pendekatan seperti tersebut di atas, kesalahan-kesalahan akibat pemakaian teknik budidaya yang keliru, misalnya pemakaian alat/mesin pengolah tanah yang tidak tepat, dapat diidentifikasi dan dicarikan alternatif kalam keluarnya.

Kesimpulan

Aspek mekanika tanah menjadi penting dan relevan artinya dalam mempelajari

jari masalah interaksi mesin-tanah yang rutin terjadi dalam praktek mekanisasi usaha pertanian baik di lahan kering maupun lahan basah. Meskipun demikian, dari berbagai penelitian dapat disimpulkan bahwa teori mekanika tanah yang ada, belum mampu sepenuhnya menjelaskan fenomena interaksi tersebut, karena pada awalnya teori mekanika tanah ditumbuhkan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan dalam bidang teknik sipil, yang berorientasi pada persoalan pematahan tanah pada tingkat tegangan rendah dengan medium tanah homogen kontinyu dan isotrop. Keadaan tanah pertanian, terutama pada lapisan olah, tidak memenuhi persyaratan tersebut dan cenderung menampilkan wataknya yang kompleks. Selain itu, di dalam interaksi mesin-tanah, tanah dipatahkan dalam kecepatan dan tingkat tegangan yang tinggi.

Tantangan baru untuk memahami watak tanah lumpur timbul setelah terbukti respons terhadap gaya yang mengenaunya berbeda dengan teori-teori yang disusun sebelumnya. Bidang kajian ini sangat relevan untuk dikembangkan di Indonesia karena dominasi budidaya padi sawahnya.

Tuntutan untuk memperoleh kriteria pengolahan tanah yang optimum untuk tanaman memerlukan pendekatan secara sistem dan pengetahuan tentang interaksi mesin tanah akan sangat membantu untuk memperoleh kriteria tersebut.

Daftar Pustaka

- (1) Crossley, P., Kilgour, J. 1983. Small Farm Mechanization for developing countries. J. Wiley & Sons.
- (2) Duglas, L. 1973. Aspect mecanique dell'interaction sol-machines. B.T.I. No, 278, Mars-Avril.
- (3) Gee Clough, D. 1985. The special problem of wetland fraction and flotation.
- (4) Haghghi, K., Srivastava, A.K., Steffe, J.F. 1987. The Rheological approach to soil modelling. Trans. ASAE Vol. 30 (6) Nov — Dec.
- (5) Hettiarachi, D.R.P., O'Callaghan J.R. 1980. Mechanical Behavior of Agricultural Soils. J. Agric. Eng. Res. (25), 239 — 259.
- (6) Khan, A.S., Gunkel, W.W. 1989. Puddled soil and rice seedling characteristics affecting rice seedling with drawal force. Trans. ASAE 32 (1). Jan — Feb.
- (7) Koolen, A.J., Kuipers, H., 1983. Agricultural Soil Mechanics. Springer -Verlag.
- (8) Manichon, H. 1982. L'action des outils sur le sol : oppréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. Bull AFES No. 3.
- (9) Papy, F. 1987. Comportement d'une couche labourée sous des actions de compactage enfonction de son état hydrique et structural.
- (10) Rózaq, A. 1987. Contribution a l'étude de tassement du sol par les pneumatiques agricoles thèse I.N.A. P-G.
- (11) Salokhe, V.M., Gee Clough, D. 1987. Behaviour of wet clay soil under single cage wheel lugs. J. Agric. Eng. Res. (37) 255 — 266.
- (12) Sebillote, M. (?). Intinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. C.R. Acad Agric.
- (13) Yong, R.N., Fattah, E.A., Skiadas, N. 1984. Vehicle traction mechanics. Elsevier.