

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL

DIVISION DES SOLS

L'ETUDE DE LA SURFACE DU SOL DANS LES REGIONS ARIDES (SUD - TUNISIEN)

RECHERCHES METHODOLOGIQUES

Par : Richard ESCADAFAL, Pédologue à l'O.R.S.T.O.M. (Mars 1981)

E-S 187

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DES RESSOURCES EN
EAU ET EN SOL

DIVISION DES SOLS

L'ETUDE DE LA SURFACE DU SOL DANS LES REGIONS

ARIDES

(SUD - TUNISIEN)

RECHERCHES METHODOLOGIQUES

Par Richard ESCADAFAL,
Pédologue à l'O.R.S.T.O.M.

Mars 1981

RESUME

Dans les régions arides où elle est au contact direct de l'atmosphère, la surface du sol joue un rôle considérable dans le développement des plantes spontanées ou cultivées dans le cycle de l'eau et l'érosion, notamment.

Pour aborder son étude d'un point de vue nouveau, nous avons développé une méthode de description originale basée sur la cartographie d'échantillons de 8 m x 4 m. On utilise pour cela une fiche conçue pour être exploitée par des moyens informatiques. Elle comprend, outre les références et les données générales, la carte et les rubriques décrivant la composition et la structure des éléments de l'échantillon de surface étudié.

Le relevé obtenu, complété par des photographies à la verticale, est un document sur l'état du milieu à un instant donné, utilisable par l'agronome, le phytoécologue, le pédologue, l'hydrologue ou le géomorphologue. Il est également très bien adapté aux enquêtes de type "vérité-terrain" nécessaires à l'exploitation des données de la télédétection spatiale.

Enfin, en multipliant les observations dans le temps, on peut caractériser la nature, le sens et l'intensité des processus affectant la surface des sols d'une région donnée.

ABSTRACT

The study of the soil surface in the arid regions.
Methodological investigations.

In the arid regions where it is directly in contact with the atmosphere, the soil surface plays an important part especially in the development of the spontaneous or cultivated plants, in the water cycle and in the erosion processes.

In order to study it in a new way, an original method for describing it has been elaborated. It is based on the mapping of samples of 8 m x 4 m. A form with allows further computerizing of data is used. It includes, apart from the references and the general data, the map and the items describing the composition and the structure of the elements of the sample studied.

The resulting survey, which is completed by overhead photographs, is a document on the state of the environment at a given time.

It can be useful for agronomical, ecological, pedological, hydrological and geomorphological studies. It is also a valuable tool for "ground-truth" investigations for remote sensing purposes.

At last, by reiterating observations, it is possible to characterize the nature, the direction and the intensity of processes affecting the surface of the soils of a given region.

PLAN

	Pages
RESUME	1
AVANT-PROPOS	4
1 - LE RÔLE DE LA SURFACE DU SOL	5
1-1 La surface du sol et le développement des plantes	5
1-1-1 Formation des pellicules et croûtes de battance	6
1-1-2 Effet sur la levée des plantules	7
1-1-3 Lutte contre la battance	9
1-2 La surface du sol et le cycle de l'eau	10
1-2-1 Infiltration et ruissellement	10
1-2-2 Evaporation	12
1-2-3 Economie de l'eau	14
1-3 La surface du sol et l'érosion	15
1-3-1 L'érosion hydrique	15
1-3-2 L'érosion éolienne	15
1-4 La surface du sol comme élément de diagnostic du milieu	16
2 - METHODES D'ETUDE APPLICABLES AUX REGIONS ARIDES	18
2-1 Propositions pour une méthode de description originale	18
2-1-1 Problématique	18
2-1-2 Echantillonnage	22
2-1-3 Utilisation de la fiche de relevé	23
2-1-3-1 Caractérisation de la station	23
2-1-3-2 Cartographie de la parcelle-échantillon	25
2-1-3-3 Description détaillée des états élémentaires	30
2-1-4 Mesures et analyses	34
2-1-4-1 Analyses classiques en laboratoire	34
2-1-4-2 Etude micromorphologique	34
2-1-4-3 Mesure des propriétés mécaniques	35
2-1-4-4 Caractérisation du microrelief	37

2-2 Expérimentation sur la dynamique de la surface du sol	40
2-2-1 Expérimentation en conditions naturelles	40
2-2-1-1 Evolution de l'aspect de la surface du sol	40
2-2-1-2 Etude de l'effet sur la germination	41
2-2-1-3 Evolution de la teneur en eau et de la résistance mécanique	41
2-2-1-4 Evolution du microrelief	41
2-2-2 Expérimentation sous pluies simulées	43
2-3 Inventaire et cartographie des milieux	43
3 - CONCLUSION : UNE APPROCHE NOUVELLE DES MILIEUX ARIDES	45
BIBLIOGRAPHIE	47
ANNEXES	61

AVANT-PROPOS

L'objet de ce rapport est de présenter les résultats de recherches méthodologiques entreprises dès 1978 à l'occasion de campagnes de prospection pédologique et poursuivies dans le cadre d'un programme d'expérimentation mené en collaboration avec M. MTIMET, à partir de 1980 (Convention DRES-ORSTOM, action de type B).

Ces recherches ont été enrichies par de nombreuses discussions sur le terrain avec MM. CAMUS, D'HERBES, LONG, PONTANIER, RIOU, SEBILLOTTE, TELAHIGUE, VIEILLEFON et ZANTE, et par une étude bibliographique menée avec l'aide de Mlle PERROT, bibliothécaire au Service Central de Documentation de l'ORSTOM.

Les conseils de MM. COMBEAU, DE BLIC, LEPRUN et VALENTIN nous ont été précieux et MM. DELHUMEAU et SOUISSI ont bien voulu relire le manuscrit de ce travail.

Que toutes ces personnes soient ici remerciées, avec l'espoir que ce document suscitera l'intérêt et les critiques des spécialistes concernés par l'étude et l'aménagement du milieu naturel du sud de la Tunisie et des régions arides en général.

1 - LE ROLE DE LA SURFACE DU SOL

La notion de surface du sol est perceptible par tout un chacun, c'est la partie supérieure du sol que l'on piétine quotidiennement ou plus abstraitement l'interface entre le sol et l'atmosphère.

Mais au-delà de cette vision banale, des travaux nombreux, menés à l'étranger et en Tunisie, ont révélé que les caractères propres à la surface du sol lui confèrent un impact souvent considérable sur le milieu naturel.

Ainsi, des chercheurs de disciplines aussi variées que l'agronomie, la climatologie, la géomorphologie, l'hydrologie, la pédologie, la phyto-écologie et la télédétection ont été amenés à s'intéresser à la surface du sol, qui, nous allons le voir à travers une revue sommaire des travaux consultés, s'est révélée être un milieu bien particulier.

1-1 La surface du sol et le développement des plantes

Les agronomes ont été parmi les premiers à étudier la surface du sol. Dans de nombreuses régions ils ont constaté que des pertes importantes de rendement étaient à rapprocher d'une dégradation de la structure se traduisant par un glaçage de la surface des champs, provoquant des manques à la levée. (STONEMAN, 1962).

Ce phénomène appelé battance en français et *soil crusting* en anglais concerne de vastes étendues de sol et s'est donc révélé d'une importance économique assez considérable. De nombreuses recherches ont été entreprises, aussi bien au laboratoire qu'aux champs, pour en déterminer les conditions d'apparition, l'effet sur les plantes et les moyens d'y remédier.

En résumant les travaux concernant la battance, cités en annexe, nous pouvons retenir les résultats suivants.

1-1-1 Formation des croûtes et pellicules de battance

La battance apparaît à la surface des sols meubles dont la texture n'est pas trop grossière, sous l'impact des gouttes de pluie qui détruisent les agrégats de la surface du sol (Mc. INTYRE, 1958). Cette destruction est d'autant plus rapide que la pluie est violente et que les agrégats sont peu stables (HILLEL, 1960). Elle se traduit par un nivellement de la surface, les matériaux ainsi arrachés sont ensuite :

- soit redistribués sur place, formant un mince film d'épaisseur généralement inférieur à 1 mm, auquel nous proposons de réserver le terme de pellicules de battance comme équivalent au terme anglais *structural crusts*.
- soit entraînés vers des microdépressions, qui peuvent être très proches, où ils sédimentent en formant des dépôts de plusieurs millimètres souvent lités ; nous parlerons alors de croûtes de battance, équivalent à *depositional crusts*.

Souvent lors de dessèchement, ces croûtes se craquent et les fragments se courbent sous l'effet de tensions internes. En effet, les particules plus fines déposées à la surface ont un retrait plus fort que les particules sous-jacentes plus grossières.

Le terme de croûtes de battance est parfois étendu aux dépôts qui se forment sur les sols irrigués par submersion ou sur les sols bénéficiant d'apports d'eaux de ruissellement (cultures traditionnelles du Sud-tunisien, pratiquées sur les pentes derrière de petits barrages, les "jessours", il s'agit là en fait surtout d'alluvions ou de colluvions.

Dans tous les cas, la battance se traduit par un colmatage des pores et une augmentation de la densité apparente de la couche superficielle du sol, due à une réorganisation des particules qui ont tendance à s'orienter parallèlement à la surface (EVANS et BUOL, 1968 ; BOIFFIN et SEBILLOTE, 1976 ; FARRES, 1978).

La battance ne peut apparaître que lorsque la surface du sol est directement exposée à l'action de la pluie, c'est-à-dire quand la protection naturelle du sol par la végétation est insuffisante ou nulle :

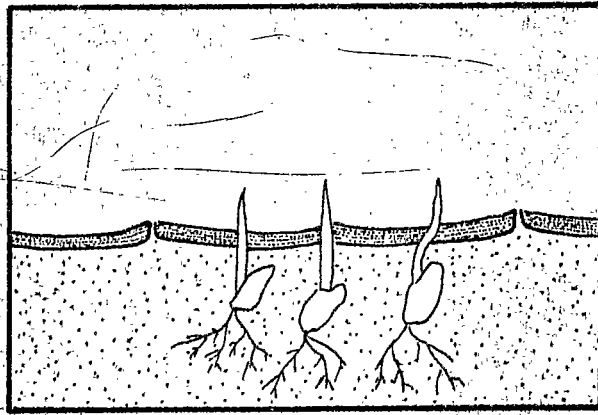
- soit à la suite de travaux culturaux : (défrichements, début de cycle cultural...)
- soit à cause du climat : régions semi-arides à désertiques.

Ainsi dans ces régions la plupart des sols sont susceptibles d'être affectés par la battance. Et en effet, en Tunisie, on constate que la battance se manifeste sur de grandes surfaces, plus particulièrement sur les sols limoneux de la partie méridionale du pays (FLORET et al. 1976 ; ESCADAFAL, 1979). Dans les steppes Sud-Algéroises l'extension des sols présentant un horizon de surface à structure lamellaire a été soulignée (POUGET, 1980). D'une façon plus générale des sols battants ont été inventoriés dans la plupart des régions arides et désertiques (ALPEROVITCH et DAN, 1973 ; FAUCK, 1978 ; KOVDA et al., 1979). Les croûtes et pellicules de battance y sont quasi-permanentes et une microflore particulière y est souvent associée, ainsi on a observé la présence d'algues à la surface de croûtes en Arizona et en Australie, notamment (FLETCHER et MARTIN, 1948 ; ROGERS, 1972) ; ainsi que des lichens et de champignons du genre Alternaria dans la région de Chahbania dans le Sud-Tunisien (SKUJINS, 1975).

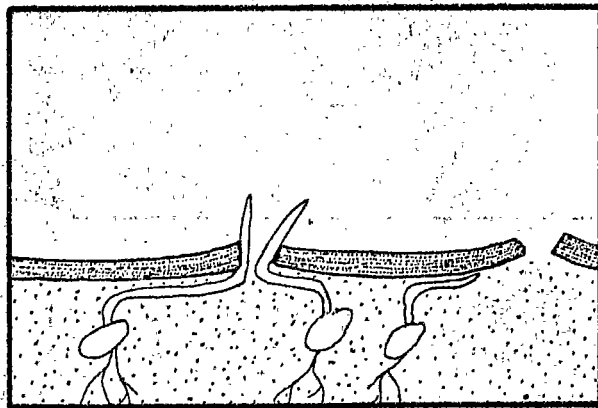
1-1-2 Effet sur la levée des plantules

La germination des graines et le développement des plantules nécessitent une température convenable une bonne humidité, une bonne aération et la présence d'une couche meuble en surface, pénétrable par les plantules en cours de croissance.

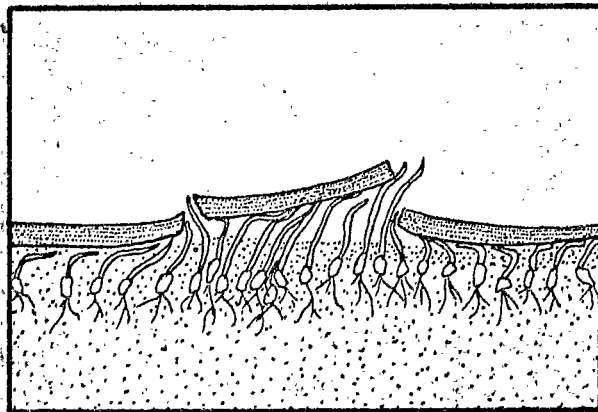
Ces dernières peuvent être considérablement gênées dans leur développement par la présence d'une croûte de battance (HANKS et THORP, 1957 ; FRELICH et al. 1973). A l'état humide, celle-ci limite surtout l'aération du sol mais elle est encore pénétrable ; à l'état sec par contre, elle devient extrêmement cohérente en raison de sa micro-structure feuilletée et peut constituer un obstacle infranchissable (HANKS, 1960 ; HOLDER et BROWN, 1974). (cf. 2-1-4-3 mesure des propriétés mécaniques).



a) Les plantules percent la croûte



b) Les plantules contournent la croûte



c) Les plantules soulèvent des éléments de la croûte

Fig.1 Effet des croûtes de battance sur la levée des plantules

Des études détaillées ont montré que le pourcentage de levée dépend de la densité de fentes par lesquelles les plantules peuvent émerger vers la surface et du type de graine (ARNT, 1965). Ainsi les petites graines donnent souvent des plantules grêles qui ne peuvent percer la croûte et n'arrivent à l'air libre qu'en soulevant des fragments de croûte. Cela suppose une forte densité de plantules que l'on obtient en culture en semant par paquets (coton, par exemple) (voir figure n° 1).

En Tunisie, cet effet de la battance a été observé dans certains périmètres irrigués ou dans les cultures derrière jessours. Dans les parcours du Sud du pays, il est fréquent de constater que les sols nus battants ne présentent pratiquement aucune germination au moment où le même sol couvert d'un voile éolien sableux porte un tapis de jeunes plantes annuelles. Ce phénomène serait à l'origine du blocage de la régénération naturelle de certaines friches.

Dans la région de Médenine on a en effet constaté que la surface de champs abandonnés se couvre d'une pellicule de battance et que, en même temps, la végétation tend à n'être plus représentée que par une seule espèce de valeur pastorale médiocre, *Helianthemum Kahiricum* (TELAHIGUE, 1976). Cette pellicule semble empêcher la germination des autres plantes spontanées.

La battance des sols, phénomène très répandu dans les régions arides a donc un effet très important sur le développement des plantes et partant sur la productivité agricole, c'est pourquoi on a cherché à la combattre. (ELLS, 1965).

1-1-3 Lutte contre la battance

La meilleure façon de lutter contre la battance est d'essayer de s'attaquer aux causes : mauvaise stabilité structurale et manque de protection du sol.

L'amélioration de la stabilité structurale nécessite des apports de matière organique, et en effet l'incorporation de fumier au sol retarde l'apparition de la battance (BOIFFIN et SEBILLOTE, op. cité). Mais dans les régions arides la disponibilité en matière organique utilisable à cet effet est très faible.

Le recours à différents produits chimiques a été testé (BENNET et al., 1964). Les produits améliorant le mieux la stabilité sont des grosses molécules organiques de synthèse telles que les polyvinylalcools (PVA) qui ont donné des résultats encourageants lors d'essais en Angleterre (PAGE, 1979). Leur utilisation, assez coûteuse, n'est cependant envisageable que s'ils apportent une forte augmentation de rendement.

Lorsque la battance ne peut être évitée on peut alors essayer de la contrôler en maintenant humide la croûte pendant la période où les plantules devront la traverser (HEGARTY et ROYLE, 1978 a et b) ou encore en tentant d'obtenir une croûte suffisamment craquelée à cette même période, certains produits chimiques favorisent le craquellement de la croûte (*soil fracturing agent*, BENNET et al. op. cité).

L'augmentation de la protection du sol peut se faire en améliorant l'état du couvert végétal ou en installant une couverture artificielle (paillage, mulch.) (QUASHU et EVANS, 1967). Dans les régions arides, les recouvrements sableux d'origine éolienne jouent ce rôle du mulch naturel, il faut donc éviter leur élimination par érosion, et favoriser au contraire leur installation. Ainsi, la mise en défends de certains parcours dégradés peut permettre le dépôt et la fixation de ce voile protecteur.

Enfin, dans certains parcours où la battance est très développée on a envisagé de recouvrir au scarifiage (1) du sol pour briser la croûte ; nous verrons que cela se justifie surtout du point de vue de l'économie de l'eau.

1-2 La surface du sol et le cycle de l'eau

1-2-1 Infiltration et ruissellement

L'eau apportée par les pluies ou par irrigation se partage en deux fractions lorsqu'elle atteint le sol - l'eau qui s'infiltré
- l'excès d'eau éventuel qui stagne ou s'écoule en surface (ruissellement) suivant la pente locale.

(1) travail superficiel avec un instrument à dents.

La répartition de l'eau de pluie entre ces deux fractions est conditionnée par l'intensité de la pluie et la capacité du sol à absorber cette pluie. Celle-ci dépend de la profondeur du sol, de la perméabilité de ses différents horizons, mais aussi des caractères de la surface, qui jouent un rôle auquel les travaux récents accordent une importance croissante.

En effet, quand cette surface est protégée par un couvert végétal, une litière, un mulch naturel ou artificiel, l'infiltration est favorisée et dépend exclusivement de la perméabilité des horizons inférieurs du sol. Dans les régions arides cet effet de mulch peut être assuré par un recouvrement de sable, comme cela a été observé en Tunisie (FLORET et PONTANIER, 1978), ou même d'éléments plus grossiers : épandages gravillonnaires en Haute-Volta (COLLINET et VALENTIN, 1979) ; graviers et cailloux sur les parcours de l'Arizona (TROMBLE, 1976). Mais lorsque le sol est nu, nous avons vu que sous l'impact des gouttes de pluie des pellicules ou des croûtes de battance peu poreuses se forment à la surface du sol.

De nombreuses expériences conduites au laboratoire et aux champs ont montré que ces croûtes limitent presque toujours l'infiltration à cause de leur faible conductivité hydraulique, qui peut être plusieurs centaines de fois inférieure à celle du sol sous-jacent (HILLEL, 1964 ; RIOU, 1966 ; HILLEL et GARDENER, 1969-1970 ; MORIN et BENYAMINI, 1977) ; sauf pour certains sols sous climat tempérés (EHLERS, 1977).

Cette réduction de l'infiltration sur les sols battants s'accompagne évidemment d'une augmentation du ruissellement comme cela a été montré dans le Sud-Tunisien par les études en bassin versant expérimental (BOURGES et al., 1977). Corrélativement le risque d'érosion croît, (EPSTEIN et GRANT, 1967) et sur les fortes pentes on observe paradoxalement une amélioration de l'infiltration à cause de la destruction de la pellicule de battance par ravinement (LAFFORGUE et NAAH, 1976).

L'action de la pluie sur les sols cultivés peut se traduire non seulement par l'apparition de la battance mais aussi par un nivellement et un affaissement de l'ensemble de la couche travaillée qui n'est pas sans conséquences sur le ruissellement.

En effet, le travail du sol crée à sa surface une couche poreuse et rugueuse qui est très favorable à l'infiltration. (BURWELL et LARSON, 1969). Ainsi, au cours d'essais sur un sol limoneux la création d'une structure très motteuse a permis de réduire le ruissellement de 77 % et l'érosion de 89 % par rapport au même sol pulvérisé (JOHNSON et al., 1979). Très récemment, il a été démontré que la rugosité (1) du sol est une variable très importante que l'on doit introduire dans les équations d'infiltration (STEICHEN et NAIL, 1979 ; GREGORY et al., 1979). En effet, l'existence d'un microrelief à la surface du sol augmente le stockage temporaire d'eau par cette surface (détention superficielle cf. fig. 2). Un modèle a même été proposé permettant de calculer le remplissage progressif des dépressions de la surface au cours d'une averse, à partir des mesures du microrelief du sol (1) (MOORE et LARSON, 1979).

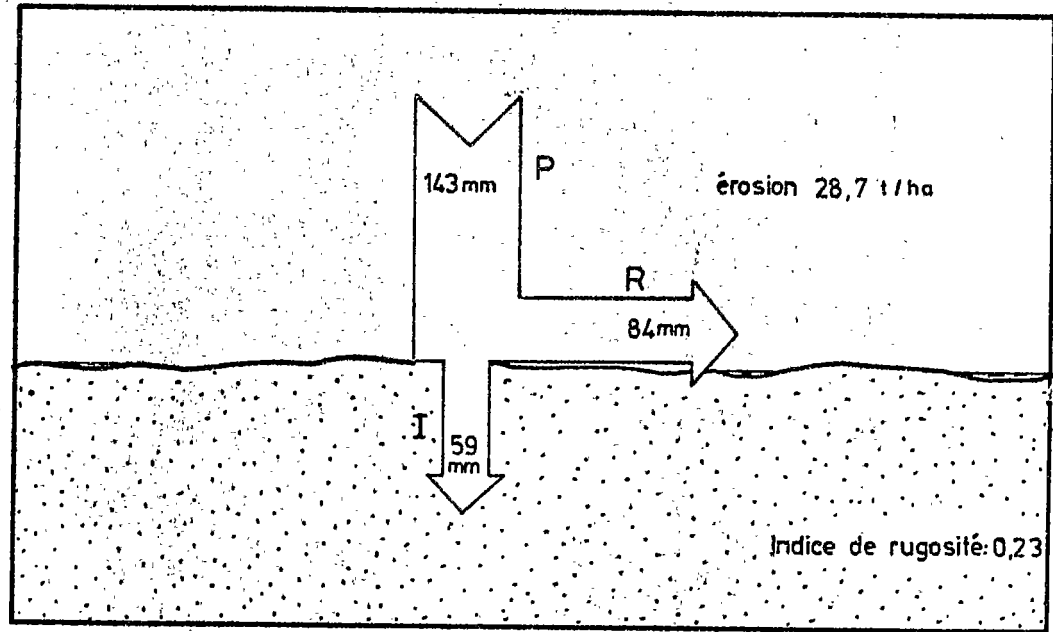
Outre la nécessité de caractériser le microrelief dans les études sur l'infiltration, DIXON (2) souligne l'intérêt de l'observation de la macroporosité pour estimer le "degré d'ouverture du sol" (*soil openness*) en notant la taille, le nombre des pores et leur répartition à la surface du sol ; pour pouvoir interpréter ces données il faut également tenir compte du recouvrement végétal. Il recommande d'observer ces caractères sur un échantillon dont la surface soit comprise dans la gamme de 1 à 100 m², ce qui est en accord avec la méthode exposée au chapitre 2.

1-2-2 Evaporation

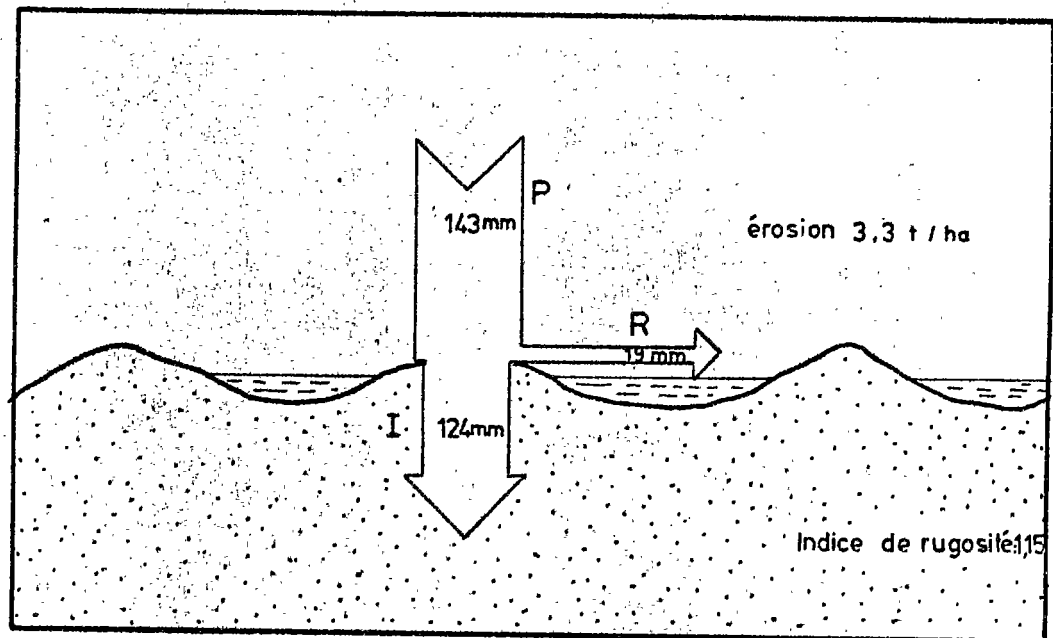
La pénétration de l'eau dans le sol dépend donc des caractères de la surface, mais ceux-ci conditionnent également l'évaporation de cette eau accumulée dans le sol. Sa diminution sous l'effet du mulching est un phénomène bien connu (BAVER et al., 1973, P. 415 ; HENIN et al., 1969, p. 249-251 ; HENIN, 1977, p.156) et appliqué comme base des techniques culturales dans les régions arides. En Tunisie, par exemple, on veille, par des façons culturales répétées, à maintenir une couche très poreuse à la surface des sols des oliveraies. Dans le Sud du pays, le recouvrement sableux caractéristique des steppes à *Rhantherium Suaveolens* joue ce rôle de mulch, réduisant considérablement l'évaporation comparativement aux sols limoneux sans recouvrement (FLORET et PONTANIER, op. cité). Dans ce cas encore, le caractère battant du sol limoneux paraît défavorable.

(1) voir 2-1-4-4 pour les techniques de mesure.

(2) DIXON, 1975.



a) Labour + 7 passages de disques : rugosité faible
faible détention superficielle



b) Labour molteux seul : rugosité forte
forte détention superficielle

Fig. 2 Effet de la rugosité du sol sur le ruissellement et l'érosion
(Expérience de JOHNSON et al., 1979, réalisée sous pluie simulée de 63 mm/h)

Au laboratoire on a cependant observé que certaines croûtes de battance peuvent également protéger le sol de l'évaporation lorsqu'il existe une nette discontinuité de porosité entre la croûte et le sol sous-jacent (BRESLER et KEMPER, 1970).

1-2-3 Economie de l'eau

Les termes du bilan de l'eau dépendent donc pour une part considérable des caractères de la surface du sol.

Dans les régions arides, l'économie de l'eau est d'une importance vitale, les apports par les pluies constituent souvent la seule ressource disponible qu'il faut gérer au mieux.

Le plus souvent on a donc intérêt à lutter contre la battance et le tassement du sol pour améliorer l'infiltration, augmentant ainsi la production des cultures et des parcours et diminuant les risques d'érosion (cf. 1-3). Le maintien d'une structure rugueuse et d'un recouvrement sableux ou graveleux peuvent y contribuer.

Les apports par les pluies sont néanmoins très faibles et dans certains cas il est intéressant de favoriser le ruissellement sur certaines surfaces servant alors d'impluvium pour augmenter la quantité d'eau disponible en aval. Ces techniques d'origine ancienne connaissent un regain d'intérêt, elles sont utilisées en *Tunisie* pour alimenter les citernes d'eau domestique et partiellement dans les cultures en jessours, ouvrages de petite hydraulique concentrant les eaux sur les parcelles cultivées; leur intérêt a été souligné à plusieurs reprises (BONVALLOT, 1980 ; ESCADAFAL, op. cité). On pourrait également envisager la culture de certains sols des glacis limoneux en bandes alternantes, chaque bande cultivée recevant les eaux de ruissellement de la bande en jachère immédiatement en amont (NAHAL, 1975, p. 62).

Suivant ce schéma un engin de travail du sol a été conçu par une équipe de chercheurs de l'Arizona (U.S.A.). Il est constitué de deux tambours de un mètre de diamètre accouplés entre eux suivant un axe horizontal. L'un est muni de dents orientées dans le sens de sa longueur, l'autre suivant sa circonférence.

Ce dispositif est monté sur un cadre tiré par un tracteur. Il a été baptisé "*land imprinter*", en effet, en roulant sur le sol suivant les courbes de niveau, il lui imprime simultanément une bande d'empreintes orientées dans le sens de la pente, favorisant le ruissellement, et une bande d'empreintes perpendiculaires à la pente. Cette dernière va donc récolter les eaux de ruissellement de la bande précédente.

Cet appareil spécialement conçu pour les régions arides peut être utilisé pour les cultures extensives ou pour la réinstallation de parcours sur des zones dénudées (DIXON et SIMANTON, 1977).

1-3 Surface du sol et érosion

Dans les régions arides, l'érosion se manifeste principalement sous deux formes l'érosion hydrique et l'érosion éolienne.

1-3-1 L'érosion hydrique

A cause de la violence et de l'irrégularité des précipitations elle prend souvent des proportions considérables. Rappelons brièvement qu'elle dépend de l'intensité de la pluie, du relief, du couvert végétal et des caractères du sol. Parmi ceux-ci, l'aptitude au ruissellement et la détachabilité des constituants de la surface sont les variables les plus importantes (BAVER et al., op. cité, chap. 13 ; COMBEAU, 1977). Cette dernière dépend essentiellement de la stabilité structurale du sol (cf. 2-1-4-1) ; l'aptitude au ruissellement est limitée par la présence d'éléments grossiers (EPSTEIN et al., 1966) et nous avons vu l'effet de la rugosité et de la battance (cf. 1-2-1).

La maîtrise de l'érosion hydrique passe donc par la connaissance de la nature et du comportement de la surface des sols.

1-3-2 L'érosion éolienne

Elle est conditionnée par la vitesse du vent au niveau du sol, l'état et la nature de la végétation et de la surface du sol.

Lorsque celle-ci est meuble et de structure particulière (sols sableux peu évolués d'apport éolien, ou isohumiques) elle est, à l'état sec, très sensible à l'érosion éolienne (FLORET et al., op. cité).

Une surface lisse, battante et cohérente offre par contre peu de prise au vent dont l'impact est alors faible ; mais ceci a pour effet de le ralentir très peu, ce qui peut être une cause d'érosion pour d'autres zones situées sur son trajet. Un sol à forte rugosité freine beaucoup le vent au niveau de la surface, il présente donc une sensibilité à l'érosion éolienne plus faible à condition que les éléments de la surface soient cohérents.

1-4. La surface du sol et le diagnostic du milieu

A travers le bref résumé précédent, le rôle de la surface du sol dans les écosystèmes arides apparaît nettement, et c'est pourquoi son observation a souvent été utilisée comme élément de diagnostic du milieu.

Ainsi, sa composition reflète la nature des horizons supérieures du sol et les effets de la dynamique superficielle (apports, ablation...). En associant l'étude du microrelief on peut diagnostiquer les processus géomorphologiques en cours (alluvionnement, déflation éolienne, érosion en nappe...).

Dans le cas de l'étude des séquences de dégradation de la steppe à *Rhantherium* menées dans la région de Zougrata (Sud Tunisien), on a pu distinguer trois stades remarquables : steppe en bon état, surface à recouvrement éolien sableux ; steppe dégradée, surface limoneuse battante ; steppe très dégradée, encroûtement gypseux affleurant (FLORET et al., 1978).

Bien d'autres caractères de la surface peuvent aider les naturalistes dans leurs investigations : la présence d'algues et de lichens, de débris organiques, de traces d'activité animale (test, coquilles, déjections) sont des indices qui sont couramment utilisés.

Observés à une autre échelle depuis les avions et les satellites les paysages des régions arides semblent très dénudés ; ainsi dans le *Sud Tunisien*, le recouvrement végétal ne dépasse 30 % que dans les années exceptionnelles et c'est la surface du sol qui apparaît dans la plupart des cas sur les enregistrements obtenus par télédétection (LONG et al., 1978). Nous disposons donc là d'un moyen d'en mesurer les caractéristiques spectrales, dont la réflectance et l'albédo sont les plus utilisées. L'albédo entre dans le calcul des bilans énergétiques (MEYLAN et al., 1977 ; RIOU et al., 1979). Les mesures de réflectance sont utilisées pour l'étude des bilans hydriques des sols (GIRARD, 1978 ; MUZY et al., 1978) et la cartographie thématique (GIRARD et GIRARD, 1975 ; ESCADAFAL, 1980). L'influence de la couleur et de la rugosité de la surface des sols nus sur la réflectance (GIRARD, 1977 ; CELIS-CEUSTERS, 1980 ; CIPRA et al., 1980) montre que l'étude de la surface du sol est une étape indispensable de l'interprétation des données multi-spectrales obtenues par télédétection et leur exploitation en vue de la cartographie des milieux arides.

* * * * *

La surface du sol ne doit donc plus être considérée comme une zone marginale dont on peut éventuellement noter quelques caractères, mais comme le carrefour de nombreux flux (matières minérales et organiques, eau, énergie) dont l'étude est nécessaire à la connaissance et à la gestion des écosystèmes arides. Pour cela nous avons tenté de dégager une approche nouvelle.

2 - METHODES D'ETUDES APPLICABLES AUX REGIONS ARIDES

La surface du sol est douée de propriétés particulières (chapitre 1) ce qui se traduit par des constituants et des organisations propres. C'est donc en fait un volume (FILLERON, 1978).

Le premier objectif de son étude est de mettre au point une méthode de description suffisamment précise pour rendre compte de cette réalité (cf. fig. n° 33).

2-1 Propositions pour une méthode de description originale

2-1-1 Problématique

La plupart des chercheurs qui se sont intéressés à l'étude de la surface du sol ont utilisé des techniques et des méthodes adaptées uniquement à leur problème précis. Ainsi, les hydrologues et les agronomes ont presque exclusivement développé les mesures de rugosité et de caractérisation de la battance.

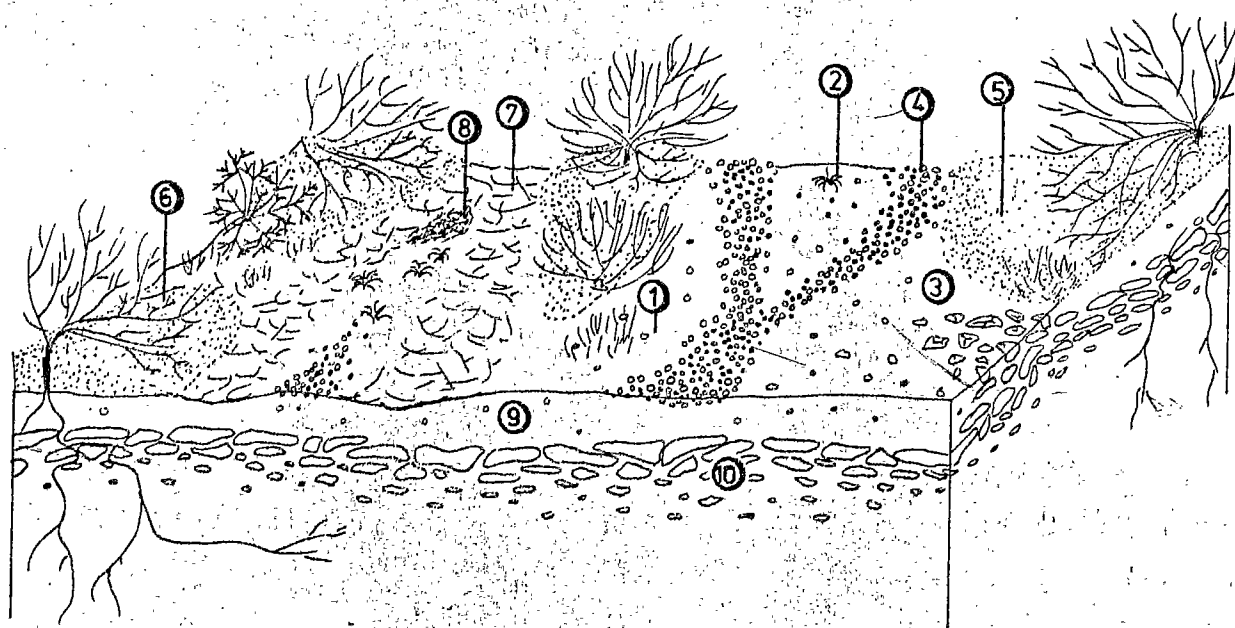
Les naturalistes, par contre, ont souvent senti l'intérêt de décrire plus exhaustivement la surface du sol dans leurs relevés, dans les glossaires et fiches de relevés qu'ils utilisent il est prévu d'en noter quelques caractères majeurs.

Dans les meilleurs des cas (1), les pédologues lui consacrent une rubrique spéciale de l'étude de l'environnement du profil, la surface du sol n'est pas alors considérée comme partie intégrante du profil mais comme un élément du diagnostic des conditions de milieu (MAGNIEN, 1969 et 1980 ; DRES-ORSTOM, 1980).

De la même façon, les phytoécologues placent la surface du sol parmi les caractères externes du substrat de la végétation (GODRON et al., 1968).

D'une façon générale, ces descriptions abordent les trois aspects suivants :

(1) Il faut noter, en effet que le volumineux glossaire de pédologie pour la description de l'environnement édité par l'association "Informatique et Biosphère" ne présente aucune rubrique pour la description de la surface du sol.



- | | |
|-------------------------------------|--|
| ① Sol nu affleurant | ⑥ Sable diffus sur sol nu |
| ② Sol nu affleurant, gravillonnaire | ⑦ Zone à croûte de baltance craquelée |
| ③ Sol nu caillouteux | ⑧ Accumulation de litière végétale |
| ④ Epandage de gravillon | ⑨ Horizon 1 du sol |
| ⑤ Recouvrement éolien sableux | ⑩ Horizon 2 du sol (à croûte calcaire) |

Fig.3 - La notion de surface de sol dans les régions arides. Exemple schématique du cas d'un parcours

a. - Indication du recouvrement des différents constituants :

Elles se résument à l'estimation de la pierrosité de surface dans les relevés pédologiques, qui précisent bien par contre la nature, la taille, la forme et grossièrement la distribution (en poche, en placage, en affleurement,...) de ces éléments grossiers. Plus rigoureux, les phytoséologues mesurent ou évaluent la surface occupée par chacun des éléments suivants :

- roche dure ou blocs
- pierrailles (graviers et cailloux)
- terre fine dont les surfaces dénudées
- base de la végétation (recouvrement basal)
- litière et type de litière

b. - Description sommaire du microrelief

Le microrelief est défini comme les variations de forme de la surface du sol (MAGNIEN, op. cité) ou les accidents du relief dont la dénivellation est inférieure au mètre (GODRON et al., op. cité). Des qualificatifs sont définis pour noter la forme générale (plan, convexe, bosselé, en billons, en polygones,...).

MAGNIEN recommande d'indiquer les dimensions de ces traits du microrelief :

- longueur d'onde et amplitude des ondulations
- forme et taille des réseaux de fentes
- forme, taille, profondeur et orientation des effondrements.

De plus, la présence de phénomènes particuliers est précisée dans le glossaire pour la description des sols de Tunisie, ainsi on peut noter sur ces fiches la présence des rubriques : efflorescences salines, battance, fentes de retrait, accumulation par piégeage (dépôt éoliens), piétinement,...

c. - L'érosion

Elle est considérée comme un caractère de la surface du sol par les deux auteurs cités plus haut, alors que dans le glossaire pour la description des sols de Tunisie, son étude est abordée dans le paragraphe consacré aux actions de l'homme (mise en valeur, etc...).

Dans tous les cas, on distingue érosion hydrique et éolienne, ablation ou dépôt. MAIGNIEN insiste sur la description de ces phénomènes : nature, étendue et orientation des dépôts, présence de matériaux résiduels dans les zones d'ablation. GODRON et al. se contentent d'un simple diagnostic sur le type d'érosion dominant.

Les différents caractères de la surface ont donc été abordés dans ces fiches de relevés, mais on n'obtient qu'une description partielle, fragmentaire et perturbée par des éléments de diagnostic (ex : formes d'érosion) qui ne rend pas compte des organisations des différents constituants de la surface du sol (disposition des zones battantes par rapport au microrelief, des zones sableuses par rapport à la végétation, etc...), et qui reste assez qualitative.

Cependant un essai d'innovation dans la méthode de description des organisations de la surface du sol a été tenté par une équipe de chercheurs de l'ORSTOM à Abidjan, dans le cadre de l'élaboration d'un langage transdisciplinaire applicable à l'étude du milieu naturel des tropiques humides (FILLERON, op. cité ; RICHARD et al., 1977). Un vocabulaire créé à cet effet permet de nommer les différents constituants de la surface (ex : *nécrophytion* : matière organique non décomposée ; *dermilite* : pellicule de battance,...) et le microrelief qui y est associé (ex : *mastocline* : hiérarchisés et arborescents,...). Ce système de notation très intéressant permet par réduction de l'information de caractériser un relevé en quelques mots et de comparer ainsi facilement plusieurs relevés entre eux ; il a par ailleurs été adapté à l'étude des sols cultivés (BEAUDOU et DE BLIC, 1978).

Outre la nécessité d'imposer un vocabulaire nouveau, l'application de cette méthode de description en Tunisie se heurte à deux difficultés : adaptation à un milieu très différent et manque de précisions sur la méthodologie des observations de terrain. Ainsi, la méthode de description n'est pas définie pas plus que ne le sont la taille et le nombre d'échantillons à observer. Ce sont ces deux points essentiels que nous allons aborder maintenant.

2-1-2 Echantillonnage

La première difficulté rencontrée dans l'étude de la surface du sol est sa grande variabilité dans le temps et dans l'espace. Pour caractériser un milieu, nous serons donc amenés à faire plusieurs observations à des saisons différentes (cf. 1-2) et à des endroits différents.

Cependant, d'après les observations que nous avons faites à ce jour dans le Sud de la Tunisie, l'aspect de la surface d'un sol donné est lié à la nature et à l'état de la végétation, et bien entendu aux façons culturales dans le cas des sols travaillés.

Nous avons donc retenu comme hypothèse de travail que sur une station (1) l'aspect de la surface du sol à un instant donné ne varie pas. Les phytoécologues ont montré que dans le *Sud Tunisien* l'aire minimale d'étude d'une station est de 64 m^2 , surface que nous avons donc retenue comme taille de l'échantillon à décrire.

Pour une meilleure accessibilité, cette surface est divisée en deux "parcelles-échantillons" de $8 \times 4 \text{ m}$ chacune. Elles sont implantées au hasard mais orientées perpendiculairement à la pente, lorsqu'elle n'est pas nulle.

(1) "La station est une surface où les conditions écologiques sont homogènes, elle est caractérisée par une végétation uniforme" (DUCHAUFOR, in GODRON et al., 1968).

A chaque observation, chacune de ces parcelles-échantillons est décrite en détail à l'aide d'une fiche récapitulant tous les caractères et variables à noter, le produit de cette description constituant un relevé. L'aspect de la surface du sol à un instant donné est donc en principe caractérisé par deux relevés.

Cependant dans certains cas l'hétérogénéité du milieu est telle (présence de nebkas, de dunes, de ravines,...) que le nombre de relevés devra être augmenté en accord avec le nombre de situations différentes créées par ce "mésorelief" (cf. p.).

2-1-3 Utilisation de la fiche de relevé

Nous avons conçu en nous inspirant des fiches de description mises au point pour les sols de Tunisie (DRES-ORSTOM, op. cité), une fiche de relevé de la surface du sol dont les rubriques sont rangées par colonnes n'exédant pas 80 lignes ; ce qui permettra de l'utiliser comme bordereau de perforation pour l'exploitation de ces données par des moyens informatiques. Nous allons analyser ces rubriques dans l'ordre où elles apparaissent.

2-1-3-1 Caractérisation de la station

Identification

Sur la première page de la fiche (voir annexe) l'essentiel de la première colonne est réservé à l'identification de la parcelle étudiée. Un numéro lui est attribué : les deux premiers chiffres forment le numéro d'étude, les trois suivants sont le numéro de la parcelle, vient enfin le numéro d'observation, une même parcelle pouvant être observée plusieurs fois, un numéro différent est attribué à chaque fois. Ces sept chiffres au total sont rappelés en haut de chaque colonne et seront portés au début de chaque carte après le numéro de carte.

Ensuite apparaissent les renseignements administratifs, nom du gouvernorat, de la délégation et du secteur, l'échelle et le numéro de la carte topographique, les coordonnées géographiques (longitude et latitude exprimées en grades, minutes et secondes) et l'altitude en mètres.

Le nom de l'auteur de la description est indiqué en clair suivi de la date.

Un profil pédologique de référence est décrit par ailleurs en utilisant la fiche de description des sols de Tunisie ; on indique ici son numéro complet et la situation de la parcelle étudiée par rapport à ce profil.

Représentativité

Généralement, la parcelle est échantillonnée de façon à être représentative du milieu. Cependant, il arrive qu'elle représente un cas particulier du milieu étudié : une friche dans une zone intensément cultivée ou au contraire un petit champ d'orge dans une vaste surface utilisée en parcours, par exemple. Dans ce cas, nous noterons qu'elle n'est pas représentative du milieu.

Type de description

Suivant le temps disponible ou les motivations, le type de description varie. Une description détaillée se fait en utilisant la totalité des rubriques de la fiche ; dans une description sommaire on ne notera que l'essentiel : références, couleur et texture des matériaux, pourcentage d'éléments grossiers et battance (cf. 2-1-3-4). Enfin, les études dynamiques supposent des observations répétées utilisant des photographies à intervalles réguliers (cf. 2-2). La fiche sert alors à noter les références de ces photographies et les observations nécessaires à leur interprétation : conditions météo, état hydrique du sol,...

Caractères permanents du milieu étudié

Les principaux caractères géologiques et géomorphologiques en ont été précisés sur la partie "environnement" de la fiche d'étude du profil de référence. Nous rappelons ici la station climatologique de référence et la situation de la parcelle étudiée dans la forme de relief, celle-ci a été définie lors de l'étude du profil.

Les observations sur le relief doivent être complétées à une échelle plus grande en mentionnant la présence d'accidents dont la taille s'exprime en mètres ou décamètres et que nous englobons sous le terme de "mésorelief" ; il s'agit des dunes, barkanes, rebdous, ravines, griffes d'érosion, davas..., cette liste n'est pas close.

Enfin, l'utilisation agricole du milieu est rappelée.

Caractères temporaires du milieu

Pour un même milieu ou une même station, ils peuvent varier d'une observation à l'autre et seront donc obligatoirement notés lors de chaque description. Il s'agit des événements climatiques récents (vent et pluie) et de l'état de la végétation. Celle-ci peut être absente, à l'état de parcours ou de friche ou cultivée, ces quatre rubriques s'excluent mutuellement. Dans chaque cas le recouvrement des deux ou trois types de végétaux présents est indiqué. A la fin, l'état phénologique de chacun de ces trois types noté X, 0 ou 1 est précisé.

Echantillons

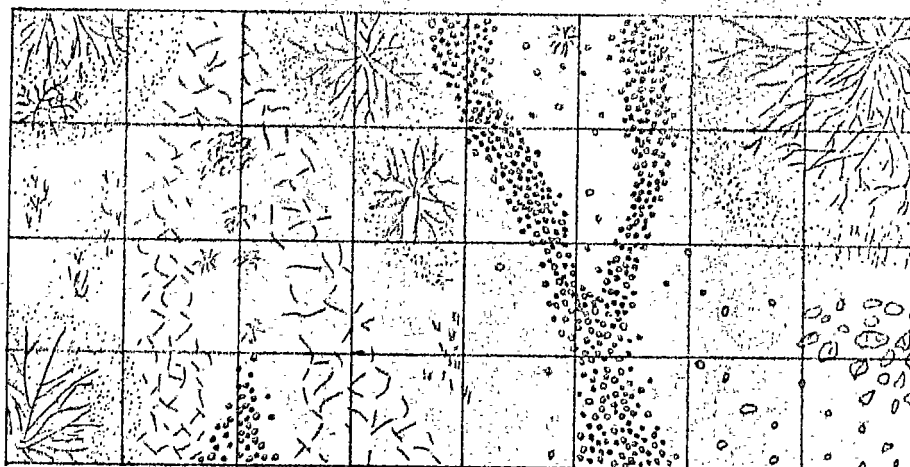
Le reste de la première page de la fiche est réservé à la notation des références des échantillons prélevés pour les analyses (cf. 2-1-4-1).

2-1-3-2 Cartographie de la parcelle-échantillon

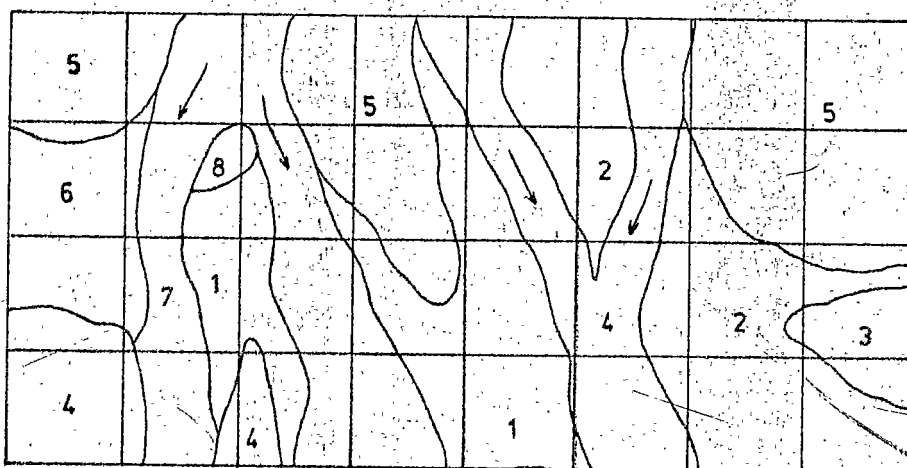
La taille de la parcelle permet d'avoir une vue d'ensemble de la surface de la parcelle, suffisamment rapprochée pour distinguer les zones d'aspect différent. Ces zones distinctes paraissant homogènes à l'oeil nu sont appelées "états de surface élémentaires" (cf. fig. 4). Dans le Sud de la Tunisie, on peut en distinguer un certain nombre de types dont voici la nomenclature provisoire :

. zone de sol nu affleurant	:	état de type N
. zone à accumulation de matière organique :		M
. zone à pellicule de battance :		P
. zone à croûte de battance :		B
. zone à recouvrement de matériaux argileux:		A
. zone à recouvrement de matériaux limoneux:		L
. zone à recouvrement de matériaux sableux :		S
. zone à graviers :		G
. zone à cailloux :		C
. zone occupée par la base des végétaux :		V

Fig 4 - Cartographie d'une "parcelle échantillon"
exemple schématique du cas d'un parcours

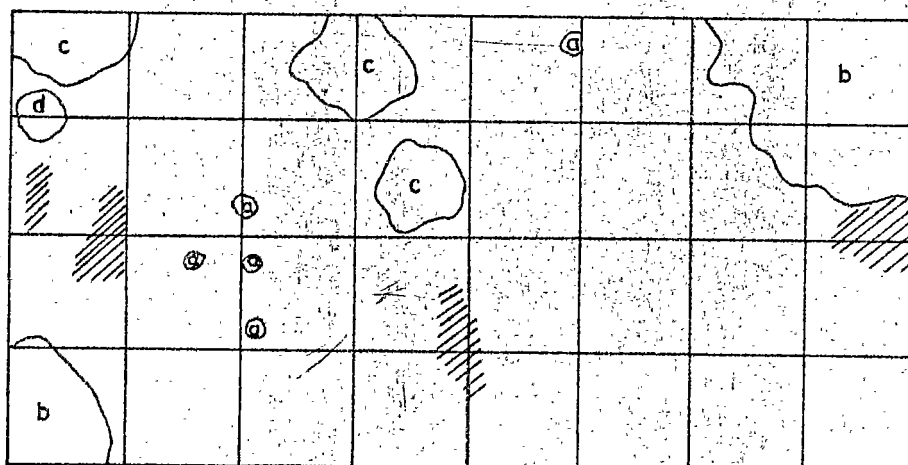


a) Vue schématique de la "parcelle échantillon"
(voir fig. n° 2)



1 état de type N.	4 état de type G	7 état de type Bcr
2 " N - G	5 " S	8 " M
3 " C	6 " N - S	→ Sens d'écoulement

b) Carte des états de surface élémentaires



a - <i>Plantago albicans</i>	d - <i>Arthroplitum scoparium</i>
b - <i>Rhanterium suaveolens</i>	
c - <i>Helianthemum lipii</i>	Concentration des plantes annuelles

c) Carte du recouvrement végétal

Ces types peuvent se combiner entre eux pour former des types mixtes.

Exemple : zone à pellicule de battance et graviers : état de type P.G.

De plus on peut distinguer pour un même type, autant de variantes que nécessaire,

Exemple : zone à croûte de battance craquelée : B_{C_r},
zone à croûte de battance claire : B₁,
zone à croûte de battance foncée : B₂,
etc...

Cette liste n'est pas limitative et sera adaptée aux différents cas rencontrés.

La méthode proposée est basée sur la cartographie à grande échelle de ces états de surface élémentaires. L'échelle retenue (1/33^{ème}) est adaptée à la taille de la fiche. Un filet de corde à maille de 1 m est appliqué sur la parcelle-échantillon à décrire et on dessine le contour de chaque état de surface élémentaire sur la feuille de la page 4 de la fiche (cf. annexes). Seuls les états qui couvrent une surface continue d'au moins 100 cm² sont cartographiables à cette échelle. Comme pour toute carte on mentionne l'orientation et la légende.

De la même façon que les différents horizons (A, B₁, B₂, C, R,...) d'un sol sont numérotés de 1 à 6 dans une fiche de description de profil, nous numérotons arbitrairement de 1 à 6 les différents états rencontrés en vue de leur description détaillée. Deux fiches peuvent être utilisées si nécessaire, avec un maximum de 9 états par relevés.

Cette carte des états de surface (cf. fig. 4b) est complétée, par exemple en utilisant une autre couleur, par une carte du recouvrement végétal où sont dessinées les surfaces occupées par les touffes importantes (cf. fig. 4c), dont on peut noter le nom botanique dans la partie réservée à cet effet au bas de la carte.

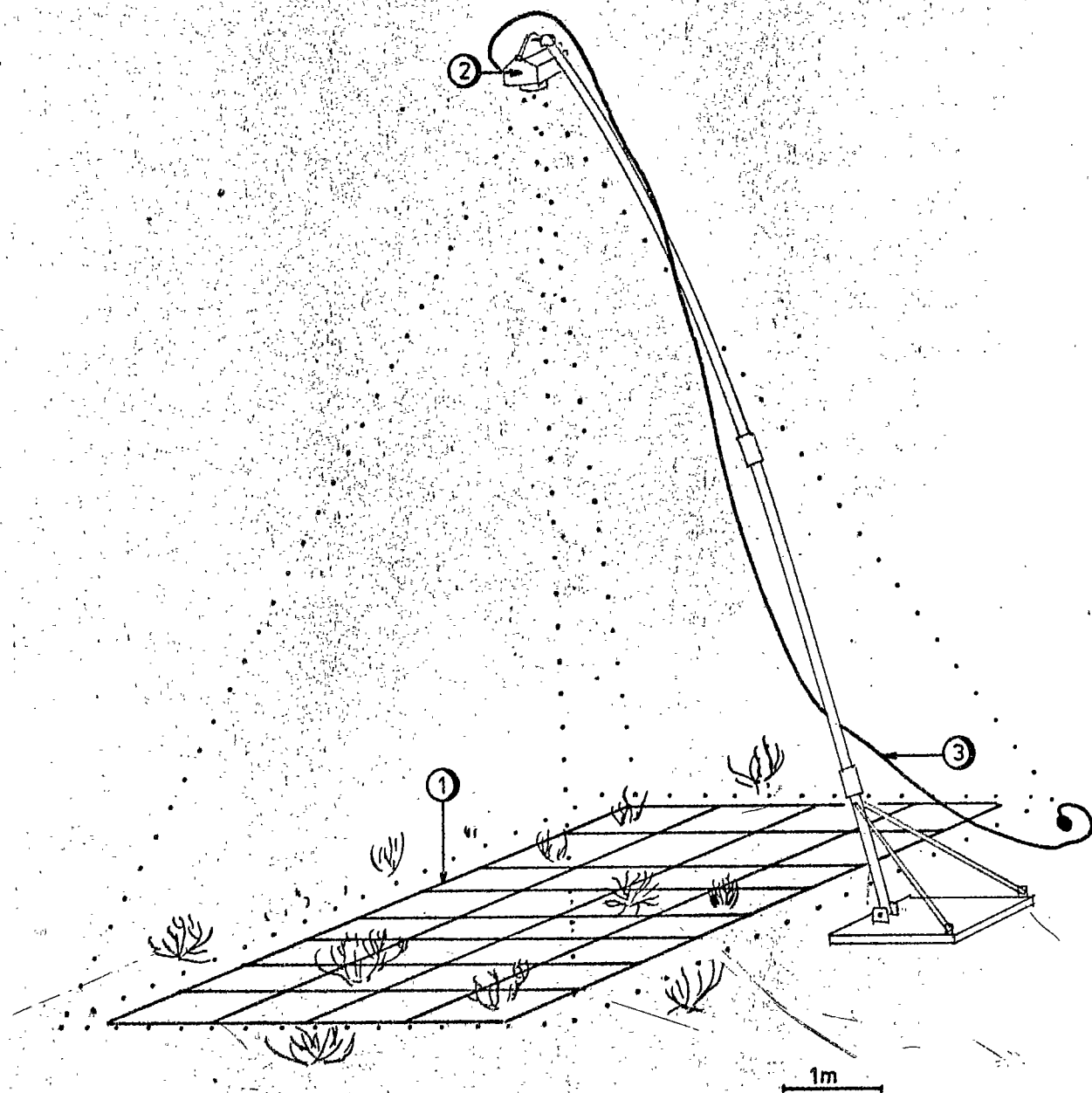
Enfin, la caractérisation du microrelief est faite, suivant le degré de précision recherché, soit en notant simplement les zones hautes et basses et le sens d'écoulement des eaux, soit en utilisant un appareil à aiguilles, soit en dressant une carte des courbes de niveau avec une équidistance de 1 cm (cf. 2-1-4-4).

Ces cartes sont utilement complétées par des photographies de la parcelle étudiée. A cet effet un dispositif simple a été conçu permettant des prises de vues à la verticale sans déformations (cf. fig. 5). Il est constitué d'une perche de 9 m en trois éléments emboîtables, fixée sur un socle métallique. L'ensemble facile à assembler, est placé devant la parcelle à photographier. A l'extrémité de la perche légèrement inclinée un appareil photographique compact de format 24 x 36 à objectif de 40 mm est orienté à la verticale de la parcelle de façon à couvrir un champ de 8 x 5 m environ. Il est équipé d'un déclencheur pneumatique souple de 10 m et d'un petit moteur mécanique pour pouvoir prendre plusieurs clichés successifs. Une mire placée au sol permet d'inscrire directement sur la photo le numéro de la parcelle et la date. Ce dispositif est indispensable aux observations sur la dynamique de la surface du sol, qui sont répétées à intervalles réguliers (cf. 2-2-1-1).

Des perfectionnements à ce système expérimenté actuellement peuvent d'ores et déjà être proposés. L'utilisation d'une focale plus courte (35 mm) permettrait de couvrir un champ plus grand si les aberrations géométriques restent tolérables (déformation en barillet). La prise de vue par deux ou trois appareils simultanément serait, par contre, une amélioration certaine ; on pourrait alors obtenir des clichés stéréoscopiques (WIMBUSH et al., 1967) ou multispectraux grâce à un jeu de filtres (POUQUET, 1976). Ces clichés seraient intéressants à comparer avec des données multispectrales provenant de satellites (cf. 1-4).

* * * * *

Cette cartographie permet donc d'inventorier les différents types d'états de surface élémentaires, d'estimer la surface qu'ils occupent et de noter leur disposition relative en fonction du couvert végétal et du micro-relief.



- ① - Filet tendu sur le sol
- ③ - Déclencheur pneumatique souple
- ③ - Nacelle contenant l'app. photo
- Champ de vision de l'appareil

Fig. 5 - Dispositif de prises de vues à la verticale

2-1-3-3 Description détaillée des états de surface élémentaires

Un diagnostic primaire des différents états nous a permis d'en dresser la carte. Cependant la dénomination "état de type N", par exemple, est insuffisante pour en préciser le contenu exact, car, comme nous l'avons souligné, il peut y avoir une infinité de variantes dans chaque type. Chaque état repéré par un numéro lors de la cartographie doit donc être ensuite décrit en détail, pour cela nous utilisons les pages 2 et 3 de la fiche (cf. annexes) dont nous allons analyser les différentes rubriques.

désignation : le type de l'état est rappelé en face de chaque numéro, en utilisant la nomenclature de la page .

surface relative : le pourcentage de la surface de la parcelle occupée par chaque état élémentaire est reporté ici après planimétrage de la carte et/ou des photographies.

matériau affleurant : cette partie de la fiche concerne la description du matériau pédologique affleurant en surface, il s'agit donc de la partie supérieure de l'horizon 1 du sol, parfois de l'horizon 2 (cf. fig. 3). Les caractères importants en sont rappelés : la couleur, la texture, l'effervescence et le pourcentage d'éléments grossiers. Les caractères variables qui sont l'état hydrique, la porosité et la structure doivent être notés à chaque observation. Dans le cas des sols travaillés, la structure est décrite en notant le pourcentage, la taille, la cohérence et la fissuration des mottes ; en général, la description de la structure se fera donc en utilisant l'une ou l'autre des deux parties de la rubrique qui lui est réservée.

recouvrement : le matériau pédologique affleurant, continu est souvent recouvert par des éléments de nature différente : apports éoliens, attérissements, pavages... Nous distinguerons les éléments grossiers et les éléments fins. Pour ces derniers, on note premièrement l'abondance, exprimée en pourcentage de la surface de l'état élémentaire observé occupé par le recouvrement en éléments fins, puis l'épaisseur et la texture.

exemple : état 1, de type P. S. : surface battante à recouvrement sableux, très mince (2 mm) couvrant 20 % de la surface.

état 2, de type S : micronebka constitué d'un recouvrement sableux de 5 cm d'épaisseur (abondance du recouvrement en éléments fins : 100 %).

On note ensuite la couleur, l'état hydrique et la réaction au test d'effervescence pour permettre les comparaisons avec le matériau affleurant.

éléments grossiers en surface : tous les éléments grossiers apparaissant à la surface sont pris en compte quelque soit leur origine supposée autochtone ou allochtone. On note abondance, nature, taille, forme, degré d'altération et taux d'incrustation, ce qui permettra a posteriori d'émettre un diagnostic sur leur provenance. Par taux d'incrustation, nous entendons le pourcentage des éléments grossiers qui sont enchâssés dans le sol ; lorsque tous les éléments grossiers sont libres, ce taux est nul. Il est possible de noter les caractères de deux types d'éléments grossiers repérés par les symboles X et O.

végétaux : seule la partie des végétaux ou les végétaux se trouvant à la surface sont décrits ; cela englobe donc les mousses, lichens et algues, les petits végétaux supérieurs prostrés, les plantules et la base des végétaux non prostrés. Pour chaque état élémentaire on note le taux de recouvrement de ces différents types. Nous avons vu que les plantes dont la partie aérienne est développée sont observées au moment de la cartographie de la parcelle.

matières organiques :

- . fatras : fragments morts de parties aériennes de végétaux (branches p. ex.) non encore réduits à l'état de litière, souvent roulés par le vent et enchevêtrés.
- . litière : éléments végétaux morts jonchant le sol.

- . litière fragmentée : litière dont les éléments sont découpés en fragments de taille inférieure au centimètre par la faune du sol ; les différents organes (fruits, feuilles, tiges) sont encore reconnaissables.
- . litière décomposée : litière fragmentée ayant subi l'action de la microflore, les organes ne sont plus visibles.
- . humus : décelable par la couleur foncée qu'il donne au sol ; peu abondant dans les régions arides.
- . matière organique d'origine animale : déjections d'animaux sauvages ou domestiques, cadavres d'animaux (insectes principalement).
Deux types peuvent être décrits et leur abondance notés.
Lorsque plus de 50 % de la matière organique est mêlée aux constituants minéraux de la surface, elle est dite "incorporée" et "non incorporée" dans le cas contraire.

activités biologiques : l'abondance et la nature des traces d'activités biologiques sont notées.

efflorescences : les taches apparaissant à la surface du sol sont dues soit à la présence d'algues, de lichens ou de matières organiques (cf. supra), soit à des efflorescences salines dont l'abondance, la forme et la taille sont précisées dans cette rubrique.

microrelief : Il s'agit des accidents de la surface du sol dont la taille est inférieure au mètre (GODRON et al., op. cité). La nature du microrelief caractéristique de chaque état est précisé ici, la répartition apparaît sur la carte (cf. p.) et ce microrelief peut être mesuré par les techniques évoquées au 2-1-4-4.

organisation superficielle : cette rubrique permet de décrire les structures particulières apparaissant à la surface des matériaux au contact de l'atmosphère (horizon affleurant ou recouvrement), on ne considère donc pas ici ces matériaux dans leur épaisseur, seule la surface *s. stricto* est observée : la taille et le nombre de pores à la surface sont un élément de diagnostic important pour évaluer l'aération du sol, de même que les fentes.

La couleur de la surface peut être celle du matériau, ou être différente, dans ce cas elle est notée.

battance : on note son absence ou sa présence qui peut se manifester sous deux formes :

- les pellicules de battance : minces et non litées,
- les croûtes de battance : épaisses et litées (voir 1-1-1).

Elle peut affecter l'horizon de surface ou le recouvrement, voire les deux lorsque le recouvrement a enterré une surface battante (cas fréquent en ce qui concerne les recouvrements d'origine éolienne). On peut donc noter deux types dont on précise l'épaisseur en millimètres et la texture.

Les croûtes de battance peuvent de plus présenter un aspect "squameux" (écailles à bords jointifs), ou "en copeaux" (écailles à bords relevés) ou "en copeaux" (écailles fines enroulées sur elles-mêmes sous l'effet d'une dessiccation rapide).

nanorelief : ce néologisme désigne les accidents de la surface dont la taille s'exprime en millimètres.

- . peu marqué : aucun accident remarquable à la surface de l'état élémentaire observé
- . lisse : aspect plan uniforme de la surface
- . piqueté : ensemble de minuscules cratères de quelques millimètres dus à l'impact des gouttes de pluie (concerne surtout les matériaux à dominante sableuse)
- . strié : incisions orientées de quelques millimètres de profondeur (dues à l'action conjuguée de la pluie et du vent)
- . ondulé : ondulations centimétriques (traces d'écoulements, "ripple marks")
- . bosselé : nanorelief irrégulier dont on précise l'importance ; il est faible lorsque le rapport de la hauteur moyenne des aspérités sur la distance moyenne qui les sépare est inférieur ou égal à dix, lorsque le rapport est supérieur, le nanorelief est dit fort. Les arêtes des aspérités peuvent être anguleuses ou émoussées.

- . traces de piétinement : dues le plus souvent aux animaux domestiques (empreintes d'ovins et de caprins).

La dernière partie de la page 3 est réservée à la notation des mesures qui sont l'objet du paragraphe suivant.

2-1-4 Mesures et analyses

2-1-4-1 Analyses classiques en laboratoire

Dans chaque état élémentaire on prélève, à plusieurs niveaux près de la surface une série d'échantillons pour les analyses classiques en pédologie : granulométrie, Ca CO_3 total, gypse, pH, conductivité..., indispensables pour interpréter les observations faites et les différenciations constatées.

Ainsi, il est intéressant de prélever séparément les croûtes de battance, elles présentent souvent une composition granulométrique et chimique différente du sol sous-jacent (LEMOS et LUTZ, 1957 ; DHIR et al., 1974). Leur porosité peut être mesurée en essayant d'adapter la méthode de mesure de la densité apparente des petits agrégats, utilisant l'immersion dans le pétrole (MONNIER et al., 1973). La mesure de la stabilité structurale sera faite par la méthode Hénin (HENIN et al., 1958) qui reste la meilleure méthode sur le plan international pour estimer la stabilité de la surface du sol (PAUWELS et al., 1976).

2-1-4-2 Etude micromorphologique

L'observation du sol sur le terrain, à l'oeil nu et à la loupe, est de plus en plus souvent complétée par l'observation au microscope de lames minces préparées au laboratoire. Pour la surface du sol, les études micromorphologiques concernent surtout les croûtes de battance (EVANS et BUOL, 1968 ; BISHAY et STOOPS, 1975 ; PAGLIA et LA MARCA, 1979 ; FARRES, 1978).

Nous les utiliserons pour distinguer les organisations fines de différents états élémentaires caractéristiques et en particulier des différents types de croûtes et de pellicules de battance, et pour analyser les systèmes de porosité, notamment les communications entre les pores du sol et l'atmosphère.

2-1-4-3 Mesure des propriétés mécaniques

Les agronomes ont beaucoup étudié les propriétés mécaniques des croûtes de battance pour évaluer leur effet sur la levée des plantules (cf. 1-2).

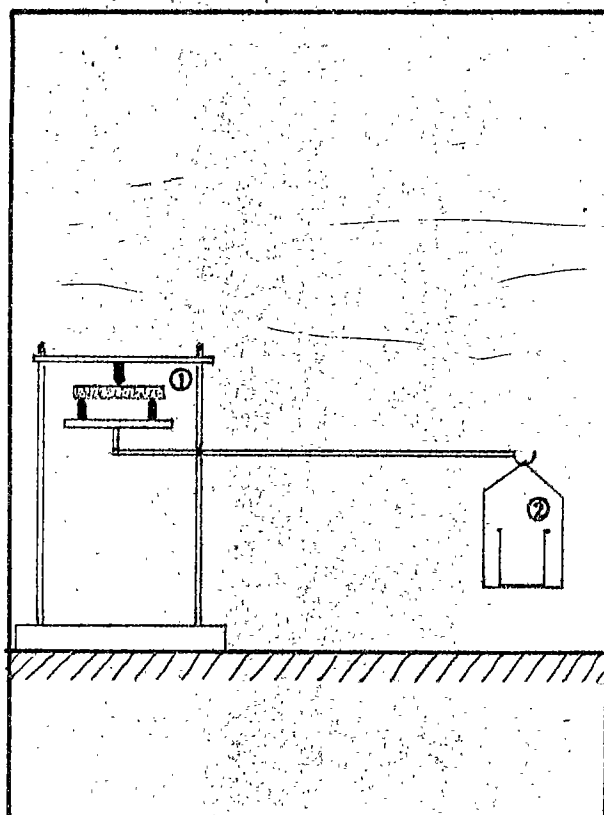
Les méthodes les plus variées ont été utilisées (cf. fig. n° 6). La plus ancienne est l'application d'un test de résistance des matériaux à des briquettes de croûtes fabriquées artificiellement (*Modulus of Rupture*, RICHARDS, 1953).

Les mesures sur fragments naturels se sont révélées délicates par cette méthode (LEMOS et LUTZ, 1957) et on a cherché à développer des mesures plus réalistes sur parcelles d'essai : mesure de la force nécessaire pour déterrer un fil de pêche placé sous la surface du sol avant les pluies (BENNET et al., 1964) ; ou mieux, mesure de la force à appliquer pour pénétrer la croûte par dessous, au moyen d'une sonde placée dans le sol avant les essais, (ARNT, 1965 b).

Ces méthodes sont assez délicates à mettre en oeuvre et inapplicables en dehors des parcelles cultivées. Une simplification est apportée en mesurant la pénétration de la croûte par le dessus, mais cela reproduit moins bien les conditions dans lesquelles se trouvent placées les plantules.

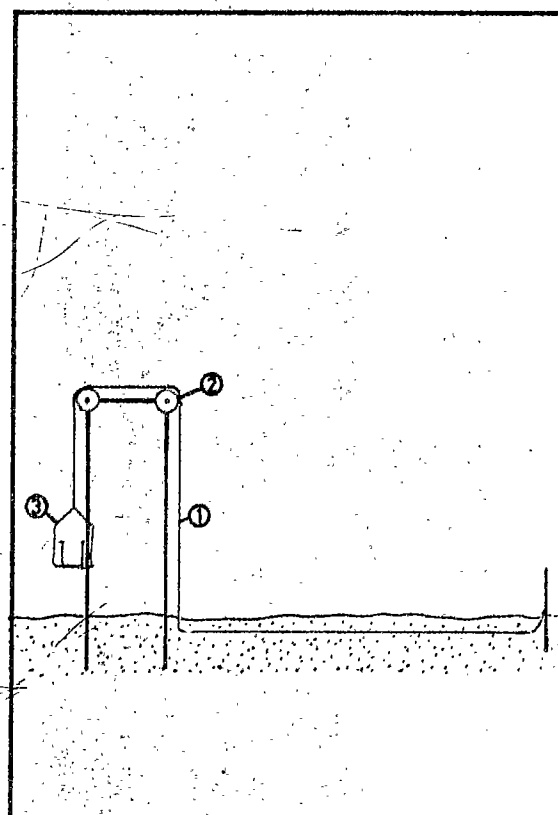
Dans cette optique différents pénétromètres ont été testés (TACKETT et PEARSON, 1964), le plus récent et le plus sophistiqué est constitué d'un châssis vertical posé au sol, le long duquel descend à vitesse constante une aiguille montée sur un capteur de pression. On obtient un enregistrement de la pression exercée par le sol sur l'aiguille en fonction de la profondeur, grâce auquel on peut calculer le travail nécessaire à la pénétration de tranches de sol successives (HEGARTY et ROYLE, 1977). Les autres pénétromètres sont moins précis et donc moins adaptés à l'étude de la battance, mais ils peuvent convenir pour étudier le compactage de la surface du sol, par exemple.

Parmi les méthodes rapides et commodes, le scissomètre permet une mesure très facile de la résistance du sol au cisaillement par tranche de 2 cm, qui est en assez bonne corrélation avec les autres mesures de résistance de la surface du sol et avec les observations sur les pourcentages de levée (PAGE et HOLE, 1977).



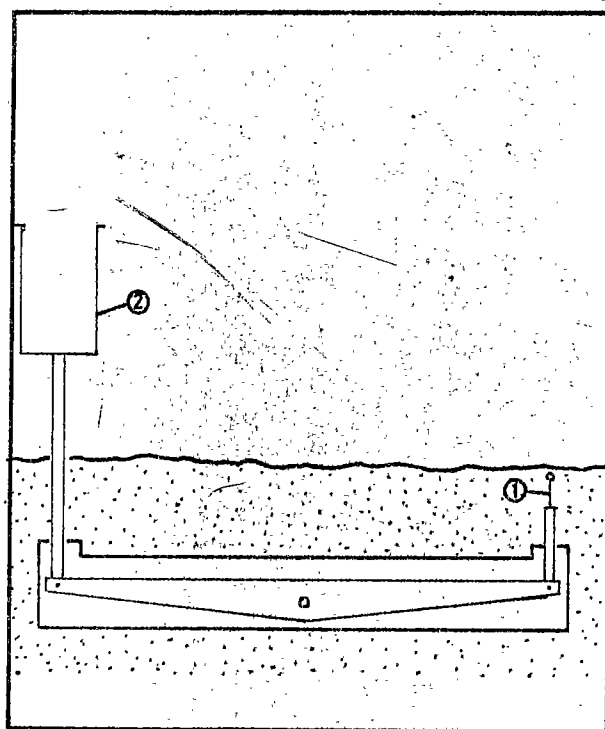
a) Module de rupture (Mor, d'après Richards, 1958)

- 1 - échantillon soumis au test de rupture
- 2 - récipient où est ajoutée l'eau



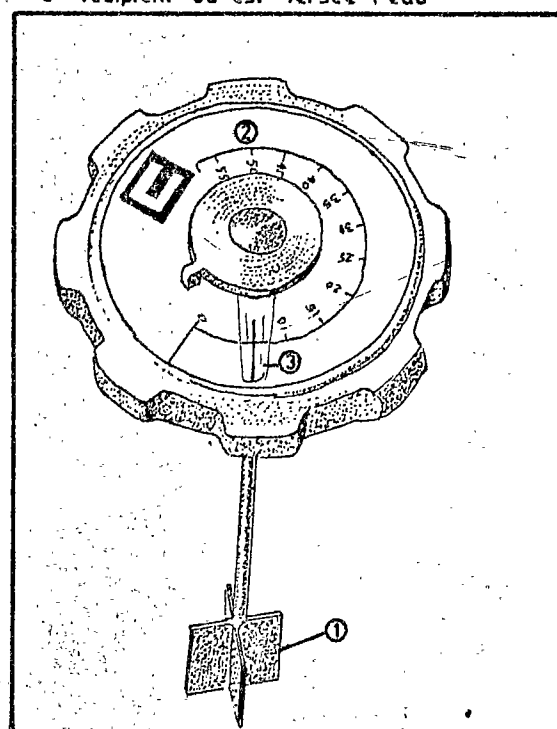
b) Méthode de fil de pêche enterré (d'après Bennet et al. 1964)

- 1 - fil de pêche
- 2 - poulie
- 3 - récipient où est versée l'eau



c) Appareil enterré (d'après ARNT, 1965)

- 1 - aiguille pénétrant la croûte par en dessous
- 2 - récipient où est versée l'eau



d) Scissomètre (modèle Pilcon)

- 1 - laillette en croix
- 2 - cadran gradué en KPa
- 3 - index

Fig.6 Mesure des propriétés mécaniques des croûtes de battance (voir texte)

Cette méthode semble actuellement la plus appropriée à une étude extensive des propriétés mécaniques de la surface du sol, les instruments électroniques étant plus lourds, plus fragiles et beaucoup plus coûteux. La lame en croissillon est enfoncée délicatement de 2 cm dans le sol, puis on tourne lentement le cadran contenant le ressort étalonné (à la vitesse de 1 tour/min., environ). L'aiguille de repérage, s'immobilise sur la valeur de la force appliquée au moment de la rupture de l'échantillon (SEROTA et JANGLE, 1972).

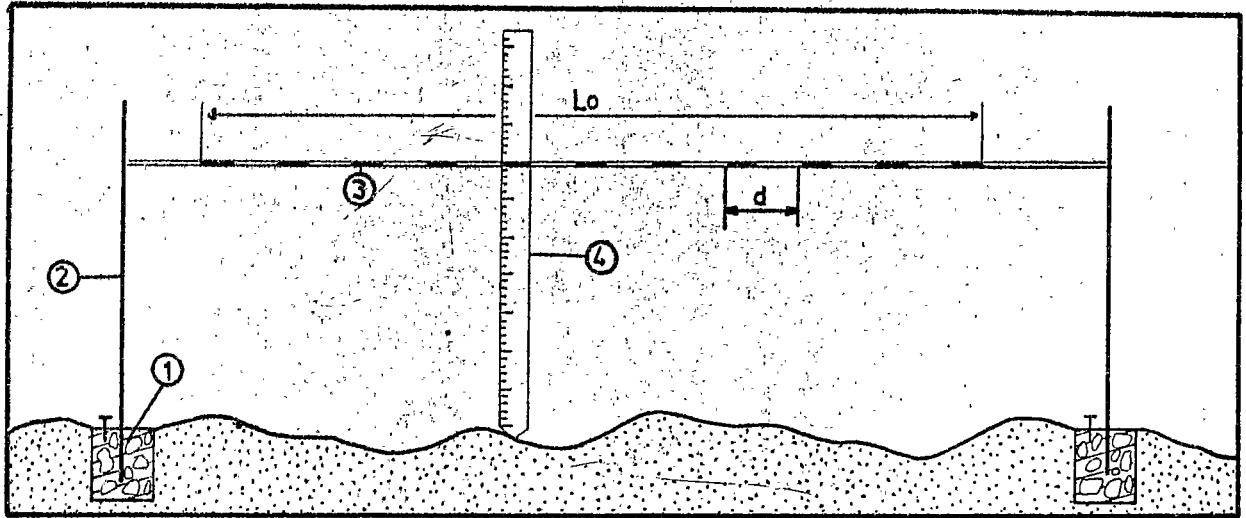
2-1-4-4 Mesure du microrelief

Comme tout relief, il peut être caractérisé par des méthodes topographiques. Un relevé de la côte du sol tous les 20 cm fait en utilisant un niveau et une petite mire graduée en millimètres permet de dresser la carte topographique de la parcelle étudiée.

Cette méthode est précise mais longue et délicate, il faut en effet utiliser une passerelle au-dessus de la parcelle étudiée pour ne pas la piétiner au cours des mesures.

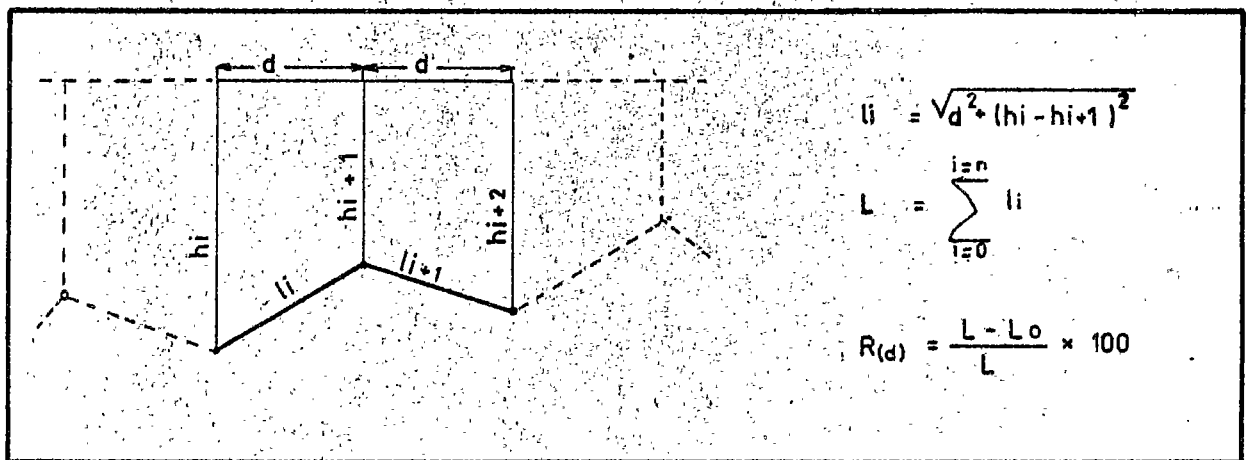
Les sols récemment travaillés, présentent un microrelief très accentué et les mesures doivent être nettement plus rapprochées pour en rendre compte ; comme ce travail du sol a un effet d'homogénéisation de la surface on peut se contenter d'en étudier une portion plus petite.

La méthode la plus simple consiste à mesurer la côte du sol par rapport à un fil métallique horizontal tendu entre deux piquets. (BOIFFIN et SEBILLOTTE, op. cité). En nous basant sur ce principe nous utilisons un fil de 4 m tendu en travers des parcelles-échantillon, perpendiculairement au sens du travail des instruments et gradué tous les 10 cm. La hauteur de quarante points successifs est lue sur une règle verticale que l'on déplace le long du fil. (cf. fig. 7).

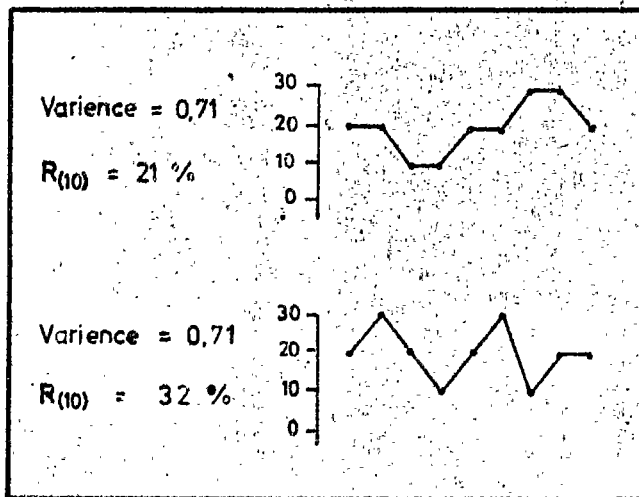


- 1 - Socle maçonné au repère de nivellement 3 - Fil de fer gradué horizontal
2 - Piquet métallique 4 - Règle graduée (lecture des h_i)

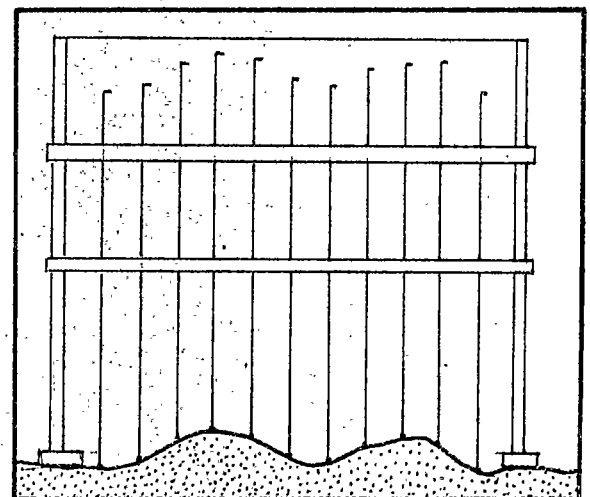
a) DISPOSITIF UTILISANT UN FIL HORIZONTAL



b) CALCUL DE L ET R(d), INDICE DE RUGOSITE (voir texte)



c) VARIANCE ET INDICE DE RUGOSITÉ



d) APPAREIL A AIGUILLES

Fig.7 Mesure du microrelief

A partir de ces données on peut calculer la hauteur moyenne et l'indice de rugosité ; en comparant les valeurs obtenues à des dates différentes on obtient des renseignements sur l'évolution de la couche travaillée (cf. 2-2-1-4).

* Indice de rugosité.

Les hauteurs mesurées (h_i) sont reportées sur un graphique, en joignant les points on obtient une ligne brisée dont la longueur (L) est une estimation de la rugosité du sol. Cette mesure sur graphique est cependant entachée d'une forte erreur ; il est préférable de calculer la longueur L en utilisant la relation : (cf. fig. 7 b).

$$L = \sum_{i=0}^{i=n} l_i \quad \text{ou} \quad l_i = \sqrt{d^2 + (h_i - h_{i+1})^2}$$

Une petite calculatrice programmable permettra de faire aisément ce calcul.

Pour comparer des mesures faites sur des longueurs (L_0) différentes on peut définir un Indice de rugosité $R(d) = \frac{L - L_0}{L} \times 100$ pour un espacement des mesures (d).

Exemple : $d = 10$ cm $n =$ nombre de mesures $= 40$

$$L_0 = (n - 1)d = 390 \text{ cm}$$

$$L = 480 \text{ cm}$$

$$R_{(10)} = \frac{L - L_0}{L} \times 100 = 25 \%$$

Cet indice permet de quantifier la rugosité de la surface du sol, qui, nous l'avons vu est un caractère très important (cf. chap. 1).

Des dispositifs plus élaborés ont été utilisés récemment par certains auteurs (BURWELL et al., 1963 ; SIMANTON et al., 1978 ; TROMBLE, op. cité). Ils sont constitués d'un cadre supportant une rangée d'aiguilles verticales qui sont abaissées jusqu'à toucher le sol. (fig. 7 d). La hauteur indiquée par chaque aiguille peut être lue, enregistrée photographiquement ou même reportée directement sur un papier fort placé contre le cadre support.

En déplaçant le cadre on mesure le microrelief d'une surface variable selon l'écartement des aiguilles mais n'excédant pas quelques mètres carrés. Pour les études sous pluie simulées, la surface étudiée est le plus souvent de un mètre carré. Les aiguilles étant espacées de 10 cm, le cadre est déplacé de 10 cm à chaque mesure, on obtient alors 100 points par mesure. La variance de la distribution des points obtenus par rapport à un plan parallèle à la surface du sol est utilisée comme mesure de la rugosité ; cette mesure paraît pourtant moins intéressante que l'indice de rugosité (cf. fig. 7 c).

2-2 Expérimentation sur la dynamique de la surface du sol

L'ensemble des techniques de description et de mesure décrit au paragraphe 2-1 permet de caractériser l'état de la surface d'un sol à un moment donné. Cependant cette vision ponctuelle ne permet pas d'appréhender le "fonctionnement" de cette surface et son évolution qui peut être très rapide dans le cas des sols travaillés. Il faut alors recourir à des observations répétées, si possible sur des sites expérimentaux.

2-2-1 Expérimentation en conditions naturelles

Pour suivre l'évolution de la surface du sol d'une zone d'étude, un ensemble de parcelles comprenant les différents types de traitements que l'on veut tester (parcours mis en défends, labour, scarifiage, ... par exemple) sont soumises à l'action du climat dont les principaux paramètres sont mesurés à l'aide d'une station météorologique. Ce type d'essais est en cours dans la région de Bir Lahmar au Sud de Médénine (ESCADAFAL et MTIMET, 1980).

2-2-1-1 Evolution de l'aspect de la surface du sol

On peut l'observer par une série de descriptions et de photographies des parcelles d'essai, complétées par les mesures et les prélèvements pour analyse. Cette suite d'observation faites au cours des saisons forme une séquence des principales étapes de l'évolution de la surface du sol, au cours du cycle de mesure.

Elles permettent de détecter les changements de nature et d'organisation des constituants de la surface : formation des zones battantes, déplacement des recouvrements sableux, graveleux ou organiques, modification de la porosité et variations saisonnières du couvert végétal.

On peut en tirer un diagnostic sur la vitesse et le sens d'évolution de cette surface (stabilité, tassement, ensablement, érosion, glaçage...)

2-2-1-2 Influence de l'état de la surface sur les germinations

Ce point très important (cf. 1-1-2) peut être cerné en effectuant des comptages des plantules sur des placettes de 50 x 50 cm dans chaque état de surface élémentaire de la parcelle-échantillon étudiée. On obtient une estimation de nombre de plantules au m^2 dans chaque état élémentaire ce qui traduit leur aptitude à permettre la croissance des plantes annuelles (cultivées ou spontanées). Pour interpréter ces résultats il est indispensable de suivre également l'évolution du profil hydrique et des propriétés mécaniques de la surface du sol.

2-2-1-3 Evolution de la teneur en eau et de la résistance mécanique

Des échantillons sont prélevés par tranche de 2 cm, de 0 à 20 cm, pour les mesures d'humidité pondérale auxquelles sont associées des mesures de scissométrie (cf. 2-1-4-3).

Les résultats de ces mesures s'interprètent en termes d'effet de la vitesse de dessèchement du sol.

2-2-1-4 Evolution du microrelief

Les différents systèmes de mesure de microrelief permettent de suivre son évolution avec plus ou moins de précision. Dans les parcours cette évolution paraît souvent très lente et il est probable que l'on ne pourra détecter de variations significatives qu'au bout de plusieurs mois.

Dans le cas des sols cultivés la variation est beaucoup plus importante et les mesures permettent de suivre l'évolution de la couche travaillée en estimant sa rugosité (cf. 2-1-4-4) et sa porosité moyenne (ALLMARAS et al., 1967). En effet, connaissant la hauteur moyenne du sol avant ($\overline{h_0}$) et après le travail des instruments ($\overline{h_T}$) à une profondeur moyenne (p), on peut en déduire la variation de volume apparent du sol ($\frac{\Delta V}{V_0} = x$), les variations latérales étant considérées comme négligeables.

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\overline{h_0} - \overline{h_T}}{p} = x$$

En mesurant par les méthodes classiques la densité apparente initiale du sol, D_0 on peut alors calculer la densité apparente moyenne de la couche travaillée, D_T .

$$D_0 = \frac{P_s}{V_0} \quad D_T = \frac{P_s}{V_0 + V_v} \quad P_s = \text{masse des solides} = \text{cste}$$

$$\frac{D_0}{D_T} = \frac{V_0 + V_v}{V_0} = 1 + x \quad \text{soit} \quad D_T = \frac{D_0}{1 + x}$$

de même, soient P_0 la porosité avant le travail du sol

et D_T la porosité moyenne après le travail

on obtient :

$$P_T = \frac{P_0 + x}{1 + x}$$

Ce calcul peut être appliqué à toute la série de mesures du micro-relief depuis le stade initial en passant par toutes les étapes de l'effondrement progressif de la structure jusqu'au stade relativement stable de la jachère. On obtient une mesure de la vitesse de tassement de la couche travaillée très utile pour interpréter l'évolution des friches post-culturales (cf. 1-1-2).

2-2-2 Expérimentations sous pluies simulées

La rareté et la grande variabilité des précipitations dans les régions arides rendent les observations difficiles et l'expérimentation aléatoire car chaque pluie est différente. De nombreux simulateurs de pluie ont été mis au point à travers le monde certains très grands et coûteux, d'autres plus modestes. En se limitant à cette catégorie, beaucoup de chercheurs, ont utilisé ces dernières années des appareils de type infiltromètre à aspersion ou "mini-simulateur" de pluie, arrosant à intensité constante une parcelle d'essai de 1 m^2 , avec des gouttes dont les caractères (vitesse, taille) sont comparables à ceux des pluies naturelles. Un appareil de ce type a été construit et utilisé par une équipe de chercheurs de l'ORSTOM à Abidjan (ASSELINE et VALENTIN, 1978). Sa mise en œuvre en Tunisie permettra de faire toute une série d'observations à l'échelle du m^2 sur l'effet d'averses d'intensité et de durée différente sur la surface du sol (apparition de la battance, évolution du microrelief, facteurs du ruissellement...).

Ces études permettront une analyse plus fine, complétant et quantifiant plus exactement les observations faites au niveau de la parcelle-échantillon.

2-3 Inventaire et cartographie des milieux

L'observation de certains caractères de la surface du sol a souvent aidé les naturalistes dans leur travaux de cartographie, mais sur des bases assez empiriques.

En systématisant les observations à l'aide de la méthode développée au 2-1, on peut améliorer la valeur de diagnostic de l'étude de la surface du sol en établissant une typologie des différents aspects de surface caractéristique des écosystèmes d'un paysage donné. Il sera ainsi possible de déterminer, par exemple, le stade d'évolution (dégradation ou régénération) des parcours ou bien d'estimer l'aptitude au ruissellement pour les calculs hydrologiques, à partir des relevés de la surface.

Nous avons vu, de plus, que les propriétés spectrales des milieux dépendent le plus souvent de la nature et de l'état de la surface du sol, comme cela a été démontré en *Tunisie du Sud* au cours de recherches sur la cartographie thématique à partir des données multispectrales des satellites LANDSAT. Les premiers résultats ont mis en évidence la nécessité impérieuse de concevoir des méthodes d'observation au sol tenant compte de cette caractéristique des régions arides. Ces observations au sol appelées aussi "vérité-terrain" servent d'étalonnage au système de cartographie et sont indispensables à l'interprétation des données de la télédétection (LONG et al., op. cité).

La méthode d'étude que nous avons mise au point est parfaitement adaptée à la réalisation d'opération "vérité-terrain" au niveau de perception le plus fin, c'est-à-dire de la station écologique ou de la parcelle cultivée.

Cependant, si ces observations sont indispensables, elles sont néanmoins à une échelle très différente de celle des enregistrements des capteurs des satellites LANDSAT dont le champ de vision instantané est de 79 x 79 m. De surcroît, l'analyse d'un enregistrement de télédétection ne peut se faire au niveau du point élémentaire de l'image, elle est faite au niveau de zones-test homogènes dont, en pratique, la taille doit être au moins d'une dizaine d'hectares. Pour faire le lien entre ces deux niveaux de perception, des observations à une échelle intermédiaire seront indispensables, par exemple sous la forme de photographies aériennes à basse altitude obtenues classiquement par avion, ou beaucoup plus économiquement à partir de ballons captifs ou de cerf-volants. Cette technique que l'on redécouvre actuellement (DUDON, 1980) a l'avantage de ne nécessiter qu'une infrastructure légère et elle peut être mise en oeuvre à la demande, contrairement aux missions aériennes classiques. Nous espérons pouvoir l'expérimenter dans la suite de ce travail.

3 - CONCLUSION - UNE APPROCHE NOUVELLE DES MILIEUX ARIDES

La méthode mise au point au cours de ce travail permet d'aborder l'étude du milieu naturel sous un angle nouveau. Grâce à l'utilisation d'une fiche et de techniques originales, elle réunit le maximum d'informations accessibles sur les différents composants et la structure de la surface du sol, sans se limiter au point de vue d'une discipline précise. Il est néanmoins clair que selon le but recherché, certains caractères seront privilégiés par rapport à d'autres. Son utilisation pourra s'orienter dans deux directions au moins.

L'étude expérimentale, d'une part, a pour but de diagnostiquer les comportements spécifiques de différents types de surfaces.

En phytoécologie, la détermination de l'effet de surfaces variées sur les germinations des plantes spontanées servira à caractériser la dynamique de différents parcours et à envisager le problème de leur régénération en termes pédologiques.

En agronomie, l'étude de la vitesse de tassement et de colmatage de la surface des sols pourra être une aide dans le choix des pratiques culturales.

En hydrologie, l'expérimentation sous pluies simulées permettra de caractériser le comportement hydrodynamique des sols sous des averses d'intensités variées, et de prévoir ainsi l'aptitude de ces sols à l'érosion et au ruissellement, d'après les caractères de leur surface.

En géomorphologie, par des observations répétées des mêmes sites, on obtiendra des mesures de la vitesse d'ablation ou au contraire d'accumulation des matériaux, ce qui peut également s'interpréter en termes de pédogénèse (calcul du temps de formation de certains horizons supérieurs, par ex.).

En biologie des sols, enfin, l'étude des différentes formes de matière organique, de la faune et de la flore en surface permettront d'estimer l'activité biologique des sols.

L'exploitation des données de télédétection, d'autre part, sera basée sur l'utilisation des mesures de réflectance de la surface des sols fournies régulièrement par les satellites.

L'analyse des travaux publiés à ce jour nous permet d'espérer établir assez facilement les relations existant entre la nature et l'état de la surface des sols et leurs propriétés spectrales, grâce à des enquêtes de type "vérité-terrain" basées sur notre méthode de description.

Il sera alors possible d'extrapoler les résultats de la phase d'expérimentation en utilisant les données de télédétection. Les traitements numériques combinant les canaux entre eux permettent d'obtenir des cartes radiométriques qui pourront être élaborées en fonction de certains thèmes précis : état de dégradation des parcours, sensibilité des sols à l'érosion, à la battance, aptitude au ruissellement de différents milieux, pour ne citer que les plus évidents.

Ces cartes, permettant, entre autres, le calcul de la charge des parcours, des paramètres hydrologiques des bassins versants ou des contraintes agronomiques des zones de cultures, constitueront de précieux outils pour la gestion du milieu naturel des régions arides.

ALLMARAS(R.R.), BURWELL (R.E.) et HOLT (R.F.), 1976 -

Plow layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time.

Soil sci. Soc. Amer. Proc., 31 (4), p. 550-556, bibl. (15 réf.).

° ALPEROVITCH (N.) et DAN (J.), 1973 -

Chemical and geomorphological comparison of two types of loessial crusts in the Central Negev (ISRAEL). *Israël J. Agric. Res.*, 23 (1), p. 13-19, (11 réf.).

ARNT (W.), 1965 a -

The nature of mechanical impedance to seedling by soil surface seals. *Austr. J. Soil. Res.*, 3, 45-54.

ARNT (W.), 1965 b -

The impedance of soil seals and the forces of emerging seedlings. *Austr. J. Soil. Res.* 3, 55-68.

ASSELIN (J.) et VALENTIN (C.), 1978 -

Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, 15 (4), p. 321-349.

BAKER (F.G.), 1977 -

Factors influencing the crust test for in situ measurement of hydraulic conductivity. *Journal of Soil Sci. Soc. Am.*, 41 (6) p. 1029-1032, bibl. (14 réf.).

BAVER (L.D.), GARDNER (W.H.) et GARDNER (W.R.), 1973 -

Soil physics. *Wiley*, 4e Edition, 520 p.

BEAUDOU (A.G.) et BLIC (Ph. De), 1978 -

Etude typologique du complexe sol-plante en cultures intensives semi-mécanisées dans le centre ivoirien. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 16 (4), p. 375-396, bibl. (11 réf.).

° référence relative aux régions arides

°° référence relative à la Tunisie

- ° BELJAEVA (I.P.), RACKULIK (V.I.) et SITNIKOVA (M.V.), 1965 -
Propriétés de réflexion de la surface réelle des pâturages dans les
déserts (traduit du russe par IFP en 1970). *Meteorologija i gidrologija*,
8, 49-59.
- BENNET (O.L.), ASHLEY (D.A.) et DOSS (B.D.), 1964 -
Methods of reducing soil crusting to increase cotton seedling
emergence. *Agronomy J.*, 56, p. 162-165, (12 réf.).
- BISHAY (B.G.), STOOPS (G.), 1975 -
Micromorphology of irrigation crusts formed on a calcareous soil
of the mechanized farm, north-west Egypt. *Pédologie*, 1975, 25 (2),
p. 143.
- BOIFFIN (J.), SEBILLOTTE (M.), 1976 -
Climat, stabilité structurale et battance, essai d'analyse du
comportement d'un sol au champs. *Annales Agronomiques*, 1976, 27 (3),
p. 295-325, (16 réf.).
- °° BONVALLOT (J.), 1980 -
Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de
Médénine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de
mars 1979. E.S. 161. *Division des Sols, Ministère de l'Agriculture*,
TUNIS.
- °° BOURGES (J.), FLORET (C.) et PONTANIER (R.), 1977
Etude d'un milieu représentatif du Sud-Tunisien. Citerne Telman.
DRES, Ministère de l'Agriculture, TUNIS. 143 p. + annexes, bibl.
(4 p.).
- BRESLER (E.), KEMPER (W.D.), 1970 -
Soil water evaporation as affected by wetting methods and crust
formation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34 (1), p. 3-8.
- BURWELL (R.E.), ALLMARAS (R.R.) et AMEMIYA (M.), 1963 -
A field measurement of total porosity and surface microrelief of
soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27, p. 697-700.

- BURWELL (R.E.) et LARSON (W.E.), 1969 -
Infiltration influenced by tillage induced random roughness and pore space. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 33, p. 449-452, bibl. (9 réf.).
- CELS-CEUSTERS (A.M.), 1980 -
Ground truth radiometry (exotech) on bare and overgrown belgian soils. *Pédologie*, 30 (1), p. 43-66.
- CIPRA (J.), FRANZMETER (D.P.), BAVER (M.E.) et BOYD (R.K.), 1980 -
Comparison of multispectral measurements from some non-vegetated soils using Landsat digital data and spectroradiometer. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 44, p. 80-84, Bibl. (1 réf.).
- COLLINET (J.) et VALENTIN (C.), 1979 -
Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives, applications agronomiques. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 17 (4), p. 283-328, bibl. (27 réf.).
- COMBEAU (A.), 1977 -
Erosion et conservation des sols. *ORSTOM*, Paris, 85 p.
- °° DRES-ORSTOM, 1980 -
Glossaire pour la description des sols de Tunisie et de leur environnement. Tunis, Ministère de l'Agriculture, Division des Sols, 107 p.
- ° DHIR (R.P.), KOLARKAR (A.S.), SHARMA (B.K.) et SHARMA (M.L.), 1974 -
A note on particule size distribution in surface crusts in an arid zone soil. (INDIA). *Journal of Indian Society of Soil Science*, 22, (4), p. 377-378.
- DIXON (R.M.), 1975 -
Infiltration control through soil surface management. *Proceedings Symposium on Watershed Management*, Irrigation and Drainage Division, ASCE, Logan (Utah), p. 543-567, bibl. (34 réf.).

° DREGNE et HAROLD (E.), 1967 -

Inventory of Research on surface materials of desert environments (1967). p. 287-377 in *Deserts of the World*, University of Arizona Press, Tucson.

DUDON (M.), 1980 -

Manuel de photographie aérienne par ballons et cerfs-volants.
C.R.M.A.A. Contrat n° 77.73.023.00.202.75.01, Nantes,
rapport multicopié 37 p. + annexes, 36 fig.

EHLERS (W.), 1976 -

Rapid determination of unsaturated hydraulic conductivity in tilled and untilled loess soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 40 (6), p. 837-840, bibl. (12 réf.).

EHLERS (W.), 1977 -

Physikalische Eigenschaften von Schluffdecken. *Zeitschrift für Pflanzernährung und Bodenkunde*, 140 (1) p. 79-80, (16 réf.).

EL SHAFEI (Y.Z.) et RAGAB (R.A.), 1976 -

Soil surface sealing caused by rain drop impact. *Egyptian Journal of Soil Science*, 16 (1), p. 47-68, (21 réf.).

ELLS (J.E.), 1965 -

Prevention of stand losses in tomato due to soil crust formation. *American Soc. Hort. Sci.*, 87, p. 433-437,

EPSTEIN (E.), GRANT (W.J.) et STRUCHTMEYER (R.A.), 1966 -

Effect of stones on run off erosion and soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30 (5), p. 638-640, bibl. (9 réf.).

EPSTEIN (E.) et GRANT (W.J.), 1967 -

Soil losses and crust formation as related to some soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 4, p. 547-550, (12 réf.).

°° ESCADAFAL (R.), 1979 -

Contribution à l'étude des ressources en sols de la plaine des Ababsas (Médénine). Etude n° 542, *DRES-Division des Sols*, TUNIS, 49 p. annexes (19 p.), bibl. (3 p.), 2 cartes.

ESCADAFAL (R.), 1980 -

Compte-rendu de stage au bureau de télédétection de l'ORSTOM.
ORSTOM, TUNIS, ronéo 21 p., (7 réf.).

°° ESCADAFAL (R.) et MTIMET (A.), 1981 -

Installation d'une station d'expérimentation sur la dynamique de la surface du sol (Bir Lahmar, Médénine) E.S. 178. *DRES-Division des Sols*, TUNIS, 10 p. 1 tabl., 2 fig., bibl. (8 réf.).

EVANS (D.O.) et BUOL (S.W.), 1968 -

Micromorphological study of soil crusts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, p. 19-22.

FARRES (P.), 1978 -

The role of time and aggregate size in the crusting process.
Earth Surface Processes, 1978, 3 (3), p. 243-254, bibl. (19 réf.).

° FAUCK (R.), 1978 -

Les sols des climats secs, leurs potentialités spécifiques pour la production alimentaire et les contraintes climatiques primordiales.
11th International Congress of Soil Science Plenary Session Papers, Vol. II, p. 201-269, bibl. (11 p.), Edmonton, Alberta, Canada, Juin 1978.

FERRY (D.M.) et OLSEN (R.A.), 1975 -

Orientation of clay particles as it relates to crusting of soil.
Soil Sci., 120 (5), p. 367-375, bibl. (17 réf.).

FILLERON (J.C.), 1978 -

La diagnose de la surface du sol, sa signification dynamique.
in : *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, n° 91, p. 31-41.

- ° FLETCHER (I.E.) et MARTIN (W.P.), 1948 -
Some effects of algae and molds in the rain crust of desert soils.
Ecology, 29, p. 95-100, bibl. (13 réf.).
- °° FLORET (Ch.), LE FLOC'H (E.) et PONTANIER (R.), 1976 -
Carte de sensibilité à la désertisation. Processus de dégradation
en cours des sols et de la végétation. Tunisie centrale et méridion-
nale. *Sols de Tunisie*, n° 8, p. 1-69, 1 carte coul., bibl. (5 p 1/2).
- °° FLORET (Ch.), LE FLOC'H (E.), PONTANIER (R.) et ROMANE (F.), 1978 -
Elaboration d'un modèle écologique régional en vue de la planifica-
tion et de l'aménagement des parcours des régions arides. Application
de la région de Zougrata. *Document Technique n° 2, IRA-DRES*, Tunis,
PNUD-CNRS-ORSTOM, Paris, 1 Vol. 74 p., nbr. ill, 1 carte, bibl.
(4 p. 1/2).
- °° FLORET (Ch.) et PONTANIER (R.), 1978 -
Relations climat-sol-végétation dans quelques formations végétales
spontanées du Sud Tunisien (production végétale et bilan hydrique
des sols). *Ministère de l'Agriculture, DRES*, Tunis et *IRA Médenine -*
CEPE, Montpellier - *PNUD-ORSTOM, Mission en Tunisie. Document Tech-*
nique n° 1, 96 p. multigr. + annexes, bibl. (7 p 1/2).
- FRELICH (J.R.), JENSEN (E.H.) et GIFFORD (R.O.), 1973 -
Effect of crust rigidity and osmotic potential on emergency of six
grasses species. *Agronomy Journal*, 65, p. 26-29, (8 réf.).
- GIRARD (C.M.) et GIRARD (M.C.), 1975 -
Applications de la télédétection à l'étude de la biosphère,
MASSON, Paris, 189 p.
- GIRARD (M.C.) et GIRARD (C.M.), 1977 -
Télédétection de la surface du sol. *AISS, 1er colloque "Pédologie et*
Télédétection", Rome. p. 55-64.
- GIRARD (M.C.), 1978 -
Emploi de la Télédétection pour l'étude de l'humidité
des sols. *La Houille Blanche*, n° 7/8, p. 533-540, bibl. (5 réf.).

GODRON (M.), DAGET (Ph.), EMBERGER (L.), LE FLOCH (E.), LONG (G.),
POISSONET (J.), SAUVAGE (Ch.) et WACQUANT (J.P.), 1978 -
Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu.
CNRS, Paris, 292 p.

GREGORY (J.M.), STEICHEN (J.M.) et NAIL (M.E.), 1979 -
Infiltration influenced by tillage. Part. II : Infiltration equation.
ASAE Paper, n° 79-2043, 18 p., bibl. (7 réf.).

HANKS (R.J.) et THORP (F.R.), 1957 -
Seedling emergence of wheat, grain sorghum and soybeans, as
influenced by soil crust strength and moisture content.
Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., 21, 357-359.

HANKS (R.J.), 1960 -
Soil crusting and seedling emergence. *7th Intern. Congress of Soil
Science*, Madison, Wisc. USA, 1 (34), p. 340-345, (9 réf.).

HEGARTY (T.W.) et ROYLE (S.M.), 1976 -
Independence of seedling emergence from light soils after rainfall.
Hort. Res. 16, p. 107-114.

HEGARTY (T.W.) et ROYLE (S.A.), 1977 -
Portable load transducer penetrometer for soil strength studies.
Laboratory Practice (UK), 26 (1), p. 29-30, (4 réf.).

HEGARTY (T.W.) et ROYLE (S.M.), 1978 a -
Soil impedance as a factor reducing crop seedling emergence, and
its relation to soil conditions at sowing, and to applied water.
Journal of Applied Ecology (UK), 15 (3), p. 897-904, (9 réf.).

HEGARTY (T.W.) et ROYLE (S.M.), 1978 b -
Combined effects of moisture content prior to compaction, compactive
effort and rainfall quantity on soil crust strength. *Journal of Soil
Science*. (UK), 29 (2), p. 167-173, (18 réf.).

HENIN (S.), MONNIER (G.) et COMBEAU (A.), 1958 -

Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols.

Ann. Agr., 9, p. 71-90.

HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.), 1969 -

Le profil cultural. *Masson et Cie*. Paris, 2ème édition, 332 p.

HENIN (S.) 1977 -

Cours de physique du sol. Tome 2. *ORSTOM*, Paris-*Editest*, Bruxelles, 222 p.

° HILLEL (D.), 1960 -

Crust formation in loessial soils. *Trans. 7th. Int. Congr. Soil Sci.* (Madison), 33, p. 330-339, bibl. (4 réf.).

HILLEL (D.), 1964 -

Infiltration and rainfall runoff as affected by surface crusts. *Trans. Int. Soil Sci. Congr. Bucharest, 8th, 2*, p.53-62.

HILLEL (D) et GARDNER (W.R.), 1969 -

Steady infiltration into crust topped profiles, *Soil Science*, 108, p. 137-142.

HILLEL (D.) et GARDNER (W.), 1970 -

Transient infiltration into crust topped profiles. *Soil Science*, 109, p. 69-76, (8 réf.).

HILLEL (D.), 1974 -

L'eau et le sol. *Vander editeur*, 288 p.

HOLDER (C.B.) et BROWN (K.W.), 1974 -

Evaluation of simulated seedling emergence through rainfall induced soil crusts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38, p. 705-710, (20 réf.).

- ° JACKSON (R.D.), IDSO (S.B.) et OTTERMAN (J.), 1975 -
Surface albedo and desertification. *Science*, 189 (4207), p. 1012-1015.
- °° JOFFRE (L.M.), 1978 -
Note sur une méthode d'estimation de la phytomasse aérienne de l'espèce dominante en milieu steppique. (Région de Bir Lahmar, Gouvernorat de Médenine). *IRA, Médenine-DGRST, Paris*. 16 p., bibl. (9 réf.).
- JOHNSON (C.B.), MANNERING (J.V.) et MOLDENHAUER (W.C.), 1979 -
Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43 (4), p. 772-777, bibl. (11 réf.), 13 ill.
- ° KOVDA (V.A.), SAMOILOVA (E.M.), CHARLEY (J.L.) et SKUJINS (J.J.), 1979 -
Soil processes in arid lands. in : *Arid Land Ecosystems*, IBP 16, Cambridge, p. 439-470.
- LAFFORGUE (A.) et NAAH (F.), 1976 -
Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies simulées. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, 13 (3).
- LAFFORGUE (A.), 1977 -
Inventaire des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, 14 (4), p. 299-344.
- LEMOS (P.) et LUTZ (J.F.), 1957 -
Soil crusting and some factors affecting it.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21, p. 485-491, (33 réf.).
- °° LONG (G.), DEBUSSCHE (G.), LACAZE (B.) LE FLOC'H (E.) et PONTANIER (R.), 1978 -
Contribution à l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide de données de la télédétection spatiale. Expérience ARZOTU, rapport final 1975-1978. *CEPE, Louis Emberger, INRA (Tunisie), ORSTOM, CNES*, 220 p., 19 fig. et tabl., bibl. (10 p.).

Mc INTYRE (D.S.), 1958 -

Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact.
Soil Science, 85 (4), p. 261-266.

MAIGNIEN (R.), 1969 -

Manuel de prospection pédologique. *Initiations - Documentations techniques*, n° 11, ORSTOM, Paris, 132 p.

MAIGNIEN (R.), 1980 -

Manuel pour la description des sols sur le terrain. *ORSTOM*, Paris.

MEYLAN (D.), MORZIER (C.) et MUSY (A.), 1977 -

Bases physiques de la télédétection. Application à l'hydrodynamique des sols. JGR. n° 132, *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*, 97 p. + annexes (22 p.), bibl. (14 réf.).

MONNIER (G.), STENGEL (P.) et FIES (J.C.), 1973 -

Une méthode de la mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol.
Annales Agronomiques, 24 (5), p. 533-545.

MOORE (I.D.) et LARSON (C.L.), 1979 -

Estimating microrelief surface storage from point data.
Transaction of the ASAE, 22 (5), p. 1073-1077, bibl. (11 réf.).

MORIN (J.) et BENYAMINI (Y.), 1977 -

Rainfall infiltration into bare soil. *Water Ressources Research*.
13 (5), p. 813-817.

MUZY (A.), MEYLAN (P.) et MORZIER (C.), 1978 -

Etude des composantes du bilan hydrique d'un sol par télédétection.
La Houille Blanche, n° 7/8, p. 541-547, bibl. (11 réf.).

NAHAL (I.), 1975 -

Principes de conservation du sol. *Collection de géographie applicable*, Masson, Paris, 144 p., 40 fig.

- ° OTTERMAN (J.) et FRASER (R.S.), 1976 -

Earth atmosphere system and surface reflectivities in arid regions from Landsat MSS data. *Rem. Sens. of Environmt.*, 5, 247-266.

- PAGE (E.R.), 1976 -

Rain simulator with uniform droplet size randomized impact pattern. *Laboratory Practice*, p. 524-525, (6 réf.).

- PAGE (E.R.) et HOLE (B.J.), 1977 -

Soil crust strength measurement. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 8 (2), p. 139-148.

- PAGE (E.R.), 1979 -

The effect of poly (vinyl alcohol) on the crust strength of silty soils *Journal of Soil Science*, 30 (4), p. 643-651, bibl. (23 réf.).

- PAGLIAI (M.) et LA MARCA (M.), 1979 -

Micromorphological study of soil crusts. *Agrochimica (Italie)*, 23 (1), p. 16-24.

- PAUWELL (J.M.), GABRIELS (D.) et EECKHOUT (G.), 1976 -

Evaluation of different criteria to assess stability of soil surface. *Med. Fac. Landbouwn. Rijksuniv. Gent*, 41 (1), p. 135-139.

- ° POUGET (M.), 1980 -

Les relations sols-végétation dans les steppes Sud Algéroises. *Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 116*, 555 p., bibl. (19 p.).

- ° POUQUET (J.), 1976 -

Techniques d'utilisation des enregistrements de télédétection "à la portée des débutants". *Apports de la télédétection à l'étude des régions arides et subarides, Journée d'étude du 9 avril 1976.* Comité National de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, p. 21-33.

- QUASHU (H.K.) et EVANS (D.D.), 1967 -

Effect of black granular mulch on soil temperature water content and crusting. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, p. 429-435.

RAO (M.R.) et BHARDWAJ (R.B.L.), 1976 -

Soil crust in relation to seedling emergence. *Science and culture*.
(INDIA), 42 (8), p. 404-409, (44 réf.).

RICHARDS (L.A.), 1953 -

Modulus of rupture as an index of crusting of soil.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 17, p. 321-323.

RICHARD (J.F.), KAHN (F.) et CHATELIN (Y.), 1977 -

Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 15 (1), p. 43-62, 3 fig., bibl. (8 réf.).

RIOU (Ch.) 1966 -

Quelques relations entre pluie, ruissellement et infiltration
obtenues en laboratoire sur des sols initialement secs.
Cahiers ORSTOM, sér. Hydrol., 5, p. 31-42, bibl. (1 p.).

°° RIOU (Ch.), LAGOUARDE (J.P.), CHARTIER (R.), 1979 -

Evaporation du sol nu en zone semi-aride et en conditions hivernales.
Relations avec l'albédo et la température de la surface du sol.
Annales agron., 30 (4), p. 347-361, bibl. (11 réf.).

ROGERS (R.W.), 1972 -

Soil surface lichens in arid and subarid southeastern Australia.
I. Introduction and floristics. *Australian Journal of Botany.*,
20, p. 197-213, bibl. (2 p.).

SEGINER (I.) et MORIN (J.), 1970 -

A model of surface crusting and infiltration of bare soils.
Water Resources Research, 6, p. 629.

SEROTA (S.) et JANGLE (A.), 1972 -

A direct reading pocket shear vane. *Civ. Ing. Easton*,
42, p. 73-74.

° SICOT (A.M.), 1978 -

Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).
DGRST-Ministère du Plan de la République de Haute-Volta,
76 p. + Annexes, bibl. (25 réf.).

SIMANTON (J.R.), DIXON (R.M.) et Mc GOWAN (I.), 1978 -

A microroughness meter for evaluating rainwater infiltration.
Hydrology and water resources in Arizona and the South West (USA),
8, p. 171-174, bibl. (8 réf.).

°° SKWINS (J.), 1975 -

Soil microbiological and biochemical investigations. III.
Tunisian Presaharian Project. Annual Report 1974, US/IBP, Desert
Biome. Utah State University Press. Logan.

SPRINGER (M.E.), 1958 -

Desert pavement and vesicular layer of some soils of the desert of
Lahontan Basin Nevada. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 22, p. 63-66,
bibl. (9 réf.).

STEICHEN (J.M.) et NAIL (M.E.), 1979 -

Infiltration influenced by tillage. Part I. Experimental results.
ASAE Paper, n° 79-2042, 29 p. 26 fig., 2 tabl., bibl. (11 réf.).

STONEMAN (T.C.), 1962 -

Loss of structure in wheat belt soils. *J. Agr. West. Aust. Ser.*,
3 (7), p. 493-498.

TACKETT (J.L.) et PEARSON (R.W.), 1965 -

Some characteristics of soil crusts formed by simulated rainfall.
Soil Science, 99 (6), p. 407-413, (10 réf.).

TAYLOR (H.W.), 1962 -

Seedling emergence of wheat grain, sorghum and guar as affected by
rigidity and thickness of surface crusts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*,
26, p. 431-433.

•• TELAHIGUE (T.), 1976 -

Contribution à l'étude phytoécologique de la zone de Bir Lahmar -
Médénine Tunisie. DEA - Fac. Sciences, Montpellier. ronéo, 84 p.

• TROMBLE (J.M.), 1976 -

Semi-arid rangeland treatment and surface run-off. *Journal of Range
Management (USA)*, 29 (3), p. 251-255.

WIMBUSH (D.J.), BARROW (M.D.) et COSTIN (A.B.), 1967 -

Color stereophotography for measurement of vegetation. *Ecology*,
48 (1), p. 140-152.

ANNEXES

DU SOL

DU SOL	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	

ELEMENTS GROSSEIRS EN SURFACE						
1	2	3	4	5	6	Abondance
30						1 2 3 4 5 6
1						4 5 6 7 8 9
2						Dimensions G/C/P/B
3						1 2 3 4 5 6
4						4 5 6 7 8 9
5						Conglomérat
6						Roche calcaire
7						Calcaire marneux
8						Calcaire dolomitique
9						Marne
20						Quartz
1						Grès
2						Grès calcaire
3						Roche gypseuse
4						Craie calcaire
5						Craie gypseuse XO.
6						Arandis
7						Allonges anguleux
8						Allonges émousses
9						Aplatis anguleux
30						Aplatis émousses
1						Iréguliers anguleux
2						Iréguliers émousses
3						De formes diverses XO.
4						Non altérés
5						Peu altérés
6						Altérés
7						Très altérés
8						patinés
9						altération non identifiée
40						Taux d'incrustation du 1er type (%)
1						1 2 3 4 5 6
2						4 5 6 7 8 9
3						du 2ème type
4						1 2 3 4 5 6
5						4 5 6 7 8 9
6						algues, lichens et mousses
7						1 2 3 4 5 6
8						4 5 6 7 8 9
9						pousses et germinations
30						1 2 3 4 5 6
1						4 5 6 7 8 9
2						autres végétaux prostrés
3						1 2 3 4 5 6
4						4 5 6 7 8 9
5						Végétaux non prostrés. Recouvert (%)
6						1 2 3 4 5 6
7						4 5 6 7 8 9
8						MATIERE ORGANIQUE en SURFACE
9						1 2 3 4 5 6
30						Nature
1						Fatras
2						litière
3						litière fragmentée
4						litière décomposée
5						humus
6						d'origine animale XO
7						non incorporée
8						incorporée à la surface
9						abondance du 1er type (%)
30						1 2 3 4 5 6
1						4 5 6 7 8 9
2						abondance du 2ème type (%)
3						1 2 3 4 5 6
4						4 5 6 7 8 9

1	2	3	4	5	6	ACTIVITÉS BIOLOGIQUES
						Pas de traces
						Traces peu nombreuses
						Traces nombreuses
						Traces très nombreuses
						Coquilles
						Luriales
						Fourmillières
						Débris de poterie
						Charbon de bois
						Siles
						Cendres
						ossements
						insectes
						lézards
						autres : x0
1	2	3	4	5	6	EFFLORESCENCES
						1 2 3 4 5 6 %
						Forme
						arrondies
						allongées
						diffuses
						quelconques
1	2	3	4	5	6	taille
						1 2 3 4 5 6 mm
						4 5 6 mm
1	2	3	4	5	6	MICRORELIEF
						nul ou très faible
						microbulle
						microdune
						micronulka
						microdépression
						microchenal
						
						bulle argileuse
						bulle émoussée
						bulle arrondie
						sillon en V
						sillon en U
						trace de roue
						
ORGANISATION SUPERFICIELLE						
1	2	3	4	5	6	Porosité de la surface
						Pas de pores
						< 5
						5-15/10 cm ²
						> 15
						< 1
						1-2 mm
						3-5 mm
						> 5 mm
1	2	3	4	5	6	Fentes à la surface de
						1 2 3 4 5 6 mm
						4 5 6 mm
1	2	3	4	5	6	écartées de
						1 2 3 4 5 6 cm
						4 5 6 cm
1	2	3	4	5	6	profondeur de
						1 2 3 4 5 6 cm
						4 5 6 cm
1	2	3	4	5	6	COULEUR de la SURFACE
						couleur du matériau
						couleur différente :
						Sèche
						1 2 3 4 5 6
						1 2 3 4 5 6
						2 3 4 5 6
						3 4 5 6
						4 5 6
						5 6
						6

1	2	3	4	5	6	Couleur humidifiée
						1 2 3 4 5 6
						2 3 4 5 6
						3 4 5 6
						4 5 6
						5 6
						6
1	2	3	4	5	6	BATTANCE
						pas de battance
						pellule de battance
						croûte de battance x0
						affectant le recouvrement
						affectant l'hy de surface x0
1	2	3	4	5	6	épaisseur du 1 ^{er} type (X)
						1 2 3 4 5 6 mm
						4 5 6 mm
1	2	3	4	5	6	texture du 1 ^{er} type (X)
						1 2 3 4 5 6
						4 5 6
1	2	3	4	5	6	épaisseur du 2 ^{em} type (o)
						1 2 3 4 5 6
						4 5 6
1	2	3	4	5	6	texture du 2 ^{em} type (o)
						1 2 3 4 5 6
						4 5 6
1	2	3	4	5	6	Phénomènes particuliers
						non squameux
						squameux
						en écailles
						en copeaux
1	2	3	4	5	6	NANORELIEF
						peu marqué
						lisse
						piqueté
						strié
						ondulé
						faiblement bosselé anguleux
						faiblement bosselé émoussé
						fortement bosselé anguleux
						fortement bosselé émoussé
						traces de piétinement
MESURES						
1	2	3	4	5	6	Suissométrie
						1 2 3 4 5 6
						2 3 4 5 6
						3 4 5 6
						4 5 6
						5 6
						6

[illegible]