

Vol. V  
Bd.

1937

No 4

**Soil Research**  
**Bodenkundliche Forschungen**  
**Recherches sur le Sol**

Supplements to the Proceedings of the  
International Society of Soil Science  
Beiheft zu den Mitteilungen der Interna-  
tionalen Bodenkundlichen Gesellschaft  
Suppléments aux Comptes Rendus de  
l'Association de la Science du Sol

Edited by the Executive Committee of the International Society of  
Soil Science — Herausgegeben vom Vorstand der Internationalen  
Bodenkundlichen Gesellschaft — Publiés par la Présidence de l'Asso-  
ciation Internationale de la Science du Sol — Editor in chief —  
Schriftleiter — Rédacteur en chef: F. Schucht, Berlin — Assistant  
Editors — Mitarbeiter — Collaborateurs: E. M. Crowther, Harpenden,  
A. J. Demolon, Versailles

Manuscripts, books etc. and all reports concerning the editorship and the publication are to  
be addressed to the editor: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin N 4, Invalidenstr. 42

Manuskripte, Bücher usw. und alle die Redaktion und den Verlag betreffenden Mitteilungen  
sind zu richten an den Schriftleiter: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin N 4, Invalidenstr. 42

Les manuscrits, les livres etc. et tous les communications concernant la rédaction et la  
rédacteur: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin N 4, Invalidenstr. 42

ERIC LIBRARY

R02 1928.02

The Executive Committee; Der Vorstand; La Présidence  
 President; Präsident; Premier Président: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin  
 Acting President; Stellvertretender Präsident; Premier Président adjoint:  
 Dr. D. J. Hissink, Groningen  
 Vice-Presidents; Vizepräsidenten; Vice-Présidents:  
 Prof. Dr. A. A. Jarilov, Moscou; Dr. A. Demolon, Versailles  
 Representative of the International Institute of Agriculture in Rome; Vertreter des  
 Internationalen Landwirtschafts-Instituts in Rom; Représentant de l'Institut Inter-  
 national d'Agriculture à Rome: The General Secretary of the Institute  
 Honorary General Secretary; Ehrenamtlicher Generalsekretär;  
 Secrétaire Général Honoraire: Dr. D. J. Hissink, Groningen  
 Editor of the Review; Redakteur d. Zeitschrift; Rédacteur de la publication périodique:  
 Prof. Dr. F. Schucht, Berlin  
 Members ex officio; Mitglieder ex officio; membres ex officio:  
 Prof. Dr. G. De Angelis d'Ossat, Roma; Prof. Dr. Jacob G. Lipman,  
 New Brunswick; Sir E. John Russell, Harpenden

Contents — Inhalt — Contenu

	pp. S
Miège, Em., Contribution à l'étude des sols du Maroc. — (Contribution to the research on the soils of Morocco. — Beitrag zur Kenntnis der Böden Marokkos) . . . . .	239
Reifenberg, A., and Brisk, L., Dispersion Agents in Mechanical Analysis. — (Substances disperseantes dans l'analyse mécanique du sol. — Dispergierende Stoffe bei der mechanischen Bodenanalyse) . . . . .	285
Coutts, J. R. H., The Measurement of Soil Colours. — (Messung von Bodensfarben. — Mesure des couleurs du sol) . . . . .	295
Richardson, H. L., The Examination of Soils by Screened Ultra-Violet Light. — (Examen des sols par la lumière ultra-violette filtrée. — Untersuchung von Böden mit filtriertem ultraviolettem Licht) . . . . .	308

**Soil Research**  
**Bodenkundliche Forschungen**  
**Recherches sur le Sol**

**Supplements to the Proceedings of the  
International Society of Soil Science  
Beiheft zu den Mitteilungen der Interna-  
tionalen Bodenkundlichen Gesellschaft  
Suppléments aux Comptes Rendus de  
l'Association de la Science du Sol**

*Edited by the Executive Committee of the International Society of  
Soil Science — Herausgegeben vom Vorstand der Internationalen  
Bodenkundlichen Gesellschaft — Publiés par la Présidence de l'Asso-  
ciation Internationale de la Science du Sol — Editor in chief —  
Schriftleiter — Rédacteur en chef: F. Schucht, Berlin — Assistant  
Editors — Mitarbeiter — Collaborateurs: E. M. Crowther, Harpenden,  
A. J. Demolon, Versailles*

*Manuscripts, books etc. and all reports concerning the editorship and the publication are to  
be addressed to the editor: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin N 4, Invalidenstr. 42*

*Manuskripte, Bücher usw. und alle die Redaktion und den Verlag betreffenden Mitteilungen  
sind zu richten an den Schriftleiter: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin N 4, Invalidenstr. 42*

*Les manuscrits, les livres etc. et tous les communications concernant la rédaction et la  
publication sont à adresser au rédacteur: Prof. Dr. F. Schucht, Berlin N 4, Invalidenstr. 42*



## Contents — Inhalt — Contenu

pp. S.

Hénin, S., Quelques résultats obtenus dans l'étude des sols à l'aide de la sonde dynamométrique de Demolon-Hénin. — (Some results obtained in soil investigations by means of the dynamometer borer of Demolon-Hénin.) — Einige Ergebnisse der Bodenuntersuchung mit dem Kraftmessungs-Bodenbohrer von Demolon-Hénin.) . . . . .	1
Hissink, D. J., Hooghoudt, S. B., van der Spek, Jac., Der mineralische Bodenkomplex. — (The mineral soil complex. — Le complexe minéral du sol.) . . . . .	21
Novák, Václav, Begriff und einige Probleme des Bodenklimas. — (L'idée et quelques problèmes du „climat du sol“. — The idea and some problems of the „Soil Climate“.) . . . . .	57
Matthai, Adolfo, Die Bodengeographie von Südamerika. — (Soil geography of South America. — Géographie des sols de l'Amérique du Sud.)	75
Nõmmik, A., Übersicht der Böden Estlands und ihrer Entstehungsbedingungen. — (The soils of Esthonia and their genetic conditions. — Les sols de l'Esthonie et les conditions de leur genèse.) . . . . .	99
Hissink, D. J., Vorwort . . . . .	163
von 'Sigmond, A. A. J., Die Entwicklungsgeschichte der Zeitschrift . . . . .	166
Russell, E. J., Professor Friedrich Schucht President of the International Society of Soil Science . . . . .	170
Stremme, H., Friedrich Schuchts wissenschaftliche Wirksamkeit . . . . .	172
Lipman, J. G., International Publications on Soil Science . . . . .	179
Demolon, A., L'oeuvre du Prof. Schucht et le problème actuel de la documentation . . . . .	181
Jarilov, A., A quarter of a century in the service of soil science and of propaganda amongst soil scientists . . . . .	184
Begemann, E., Die Zeitschrift der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft . . . . .	187
Setinski, V., Das Gesetz von Darcy und die Bestimmung der Dränentfernung. — (La Loi de Darcy et la Détermination de l'Espace des Lignes des Drains. — The Darcy Law and the Estimation of Drain Distance.) . . . . .	193
Besairie, H., Les Sols de Madagascar. — (The Soils of Madagascar. — Die Böden von Madagaskar.) . . . . .	200
Müller, H. J., Investigations into the Theoretical "Lime Requirement" of Surinam Soils. — (Recherches sur le Besoin en Chaux des Sols de Sourinam. — Untersuchungen über das theoretische Kalkbedürfnis der Böden von Surinam.) . . . . .	222
Kuron, H., Die Bedeutung der Bodenerosionsforschung für die allgemeine Bodenkunde. — (The Significance of Soil Erosion Investigation for General Soil Science. — L'Importance de Recherches sur l'Erosion du Sol pour la Science du Sol Générale.) . . . . .	229

	pp. S.
Miège, Em., Contribution à l'étude des sols du Maroc. — (Contribution to the research on the soils of Marocco. — Beitrag zur Kenntnis der Böden Marokkos) . . . . .	239
Reifenberg, A., and Brisk, L., Dispersion Agents in Mechanical Analysis. — (Substances disperseantes dans l'analyse mécanique du sol. — Dispergierende Stoffe bei der mechanischen Bodenanalyse) . . . . .	285
Coutts, J. R. H., The Measurement of Soil Colours. — (Messung von Bodenfarben. — Mesure des couleurs du sol) . . . . .	295
Richardson, H. L., The Examination of Soils by Screened Ultra-Violet Light. — (Examen des sols par la lumière ultra-violette filtrée. — Untersuchung von Böden mit filtriertem ultraviolettem Licht) . . . . .	308

---

# Soil Research — Bodenkundliche Forschungen Recherches sur le Sol

Supplements to the Proceedings of the International  
Society of Soil Science — Beiheft zu den Mitteilungen  
der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft —  
Suppléments aux Comptes Rendus de l'Association de  
la Science du Sol

---

Vol./Bd. V

1937

No 4

---

## Contribution à l'étude des sols du Maroc

(Contribution to the research on the soils of Morocco. —  
Beitrag zur Kenntnis der Böden Marokkos)

par

**Dr. Em. Miège**

Directeur du Centre de Recherches agronomiques du Maroc

En dehors de nombreux travaux géologiques (tels que ceux de Lecointre, Marçais, Bourcart, par exemple (1)), les sols du Maroc ont fait l'objet, depuis une vingtaine d'années, d'un certain nombre d'études, qui ont visé principalement leurs caractères et leur utilisation agricoles. Dès 1917, ils ont été classés par la mission Cosnier (2); depuis, le Laboratoire Officiel de Chimie de Casablanca a effectué de multiples analyses de terres de diverses régions du Protectorat, en vue de renseigner les agriculteurs sur leur composition et leurs besoins, ce qui a permis à son directeur M. Chauveau et à son collaborateur M. Valin, de présenter au Congrès de l'A. F. A. S en 1934, une esquisse de la carte agrologique du Maroc (3).

En 1912, le Prof. L. Gentil — dans son ouvrage classique "Le Maroc Physique" — avait déjà examiné et discuté l'origine et les caractères des types de sols marocains (4). Il avait montré, par exemple, que la nature géologique des terres fertiles du détroit Sud-Africain, que l'on rencontre depuis les confins algéro-marocains jusqu'à la côte atlantique, pouvait être rapprochée de celle du Tell Algérien, qu'il s'agisse des sols formés par les argiles et les marnes helvétiques ou de ceux provenant du toronien, que la plaine des Beni M'Tir rappelle à tous égards celle de la Mekkara, en Algérie, que les méandres de l'oued Sebou se développent dans des alluvions quaternaires très argileuses qui, dans les légères dépressions où les eaux s'accumulent,

forment des "merdjas" à sol nettement marécageux etc. . . Il avait indiqué également l'origine diverse des terres sableuses (sahels blancs, roux, ou noirs) des sables granitiques des Zaers, etc. . . mais avait surtout insisté sur celle des hamri et des tirs, terres rouges ou noires, généralement riches, qui couvrent au Maroc de vastes étendues et dont la formation a donné lieu à tant de controverses, non encore apaisées.

Toutefois, cette dernière question — sans être encore définitivement résolue — semble avoir reçu une solution satisfaisante, au moins pour ce qui concerne les hamri, après les travaux de M. Emberger et de Melle Malycheff. En effet, Emberger et Zaborski (5) en analysant l'évolution climatique des grès calcarifères de la région de Rabat et des produits qui en dérivent (terres argilo-sableuses rouges ou hamri et sables mobiles jaunes ou rougeâtres), ont montré que l'eau chargée d'acide carbonique provoquait la décalcification de la roche-mère (grès-calcaire), corrélative d'un enrichissement en silice et d'une décoagulation de l'argile, qui détermine ensuite l'agglutination des grains de silice insoluble et, de ce fait, la naissance du hamri, coloré par les sels de fer libérés et oxydés. Celui-ci, à son tour, est débarrassé peu à peu de son argile — entraînée en profondeur par les pluies — et transformé ainsi progressivement en sable plus ou moins rouge.

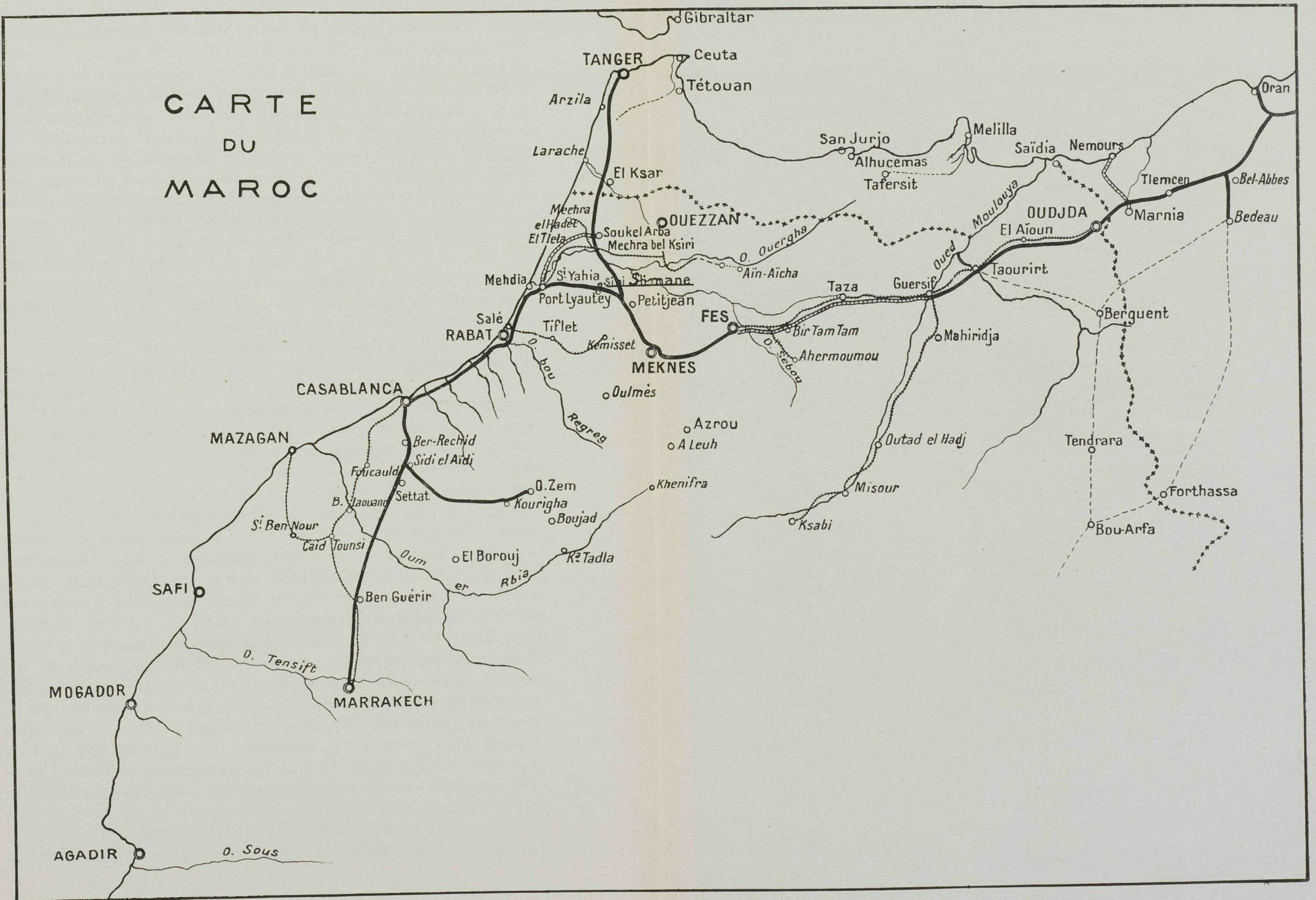
Cette évolution s'effectuerait sous l'influence du climat actuel, qui continuerait de s'exercer sur les sables — qui, dans la forêt (Mamora) seraient alors comparables aux podzols — grâce à l'abondance relative des précipitations de la région.

De son côté, Melle Malycheff — qui s'était déjà occupée des terres marocaines (6) — a donné récemment les résultats d'une intéressante étude de caractère nettement pédologique, sur les mêmes sols de Rabat, étude dans laquelle elle examine également les relations qui existent entre les roches quaternaires calcaires et gréseuses, les hamri qui reposent sur elles, et les terres brunes auxquelles ils donnent naissance (7). Elle conclut, comme les auteurs précédents, que les hamris représentent le produit d'évolution des calcaires gréseux et qu'ils se transforment, dans les conditions actuelles du climat et de la végétation, en sol brun, dont elle donne les caractéristiques chimiques, toutefois, elle considère que l'altération des grès calcaires sous-jacents a eu lieu sous un climat différent du climat actuel et favorable à la latérisation.

Nous sommes arrivé à des déductions très voisines pour les hamris de la région de Sidi-Slimane, que nous étudions dans la présente note.

G. Carle a consacré aussi plusieurs études aux sols marocains (8), qu'il classe en: terres arénacées, alluvionnaires sans sou-sol, et détritiques. Les premières couvrent de vastes espaces et forment un ensemble

CARTE  
DU  
MAROC



de plateaux depuis le pied du moyen Atlas jusqu'à la mer, avec des enclaves de merdjas; elles sont surtout formées de sables, avec de fréquentes formations d'altos ferrugineux et un plan d'eau superficiel (2 à 3 m); les secondes, formées par comblement des zones d'épangage, "très communes dans toute l'Afrique du Nord et même dans tout le bassin méditerranéen", sont constituées d'éléments très fins et, de ce fait, généralement très compactes; c'est le cas des grandes plaines du Sebou et de ses affluents, notamment l'Ouergha et le Beth; les troisièmes, enfin, les plus étendues, reposent sur un sous-sol très différent du sol par la couleur, la composition, la consistance et composé le plus souvent par des masses plus ou moins dures, plus ou moins concrétionnées, appelées habituellement „tuf“, telles sont les régions de la Chaouia, des Beni M'Tir et de Fes.

Le même auteur, en utilisant les résultats des analyses effectuées au Laboratoire de Mr. Erhart à Strasbourg, sur les sols alluvionnaires, arénacés, à oolithes ferrugineuses, et noirs à sous-sol tuffeux, de diverses régions, a tiré des conclusions pratiques sur leurs caractères respectifs, leurs rapports avec la végétation, l'importance du pH, etc. . . . (9)

Il a, de même, avec la collaboration du Prof. Bourcart (10), qui en a entrepris l'analyse mécanique et l'examen microscopique, essayé de préciser la constitution et l'origine des terres de la Chaouia, dont il a étendu les conclusions à la formation des sols en régions arides ou semi-arides. Les éléments de ces terres peuvent être ramenés à trois: une couche, formée d'éléments divers en général très fins, et d'épaisseur variable, (éléments minéraux très disparates-quartz, magnétite, hématite, calcite, débris de coquillages récents et de silex taillé), qui repose sur une croûte blanchâtre et dure, ayant l'aspect d'un travertin et que l'on retrouve, dit-il, dans presque tous les pays du monde et particulièrement dans tout le bassin méditerranéen; la troisième formation constitue le sous-sol proprement dit, formé de calcaires coquillers du pliocène (percés parfois par le primaire) et datant probablement de l'époque moustérienne. G. Carle insiste sur la dissemblance d'origine du sol et du sous-sol ainsi que sur la formation de la croûte qui les sépare; d'après lui, celle-ci s'est formée au moment où le tuf calcaire du sous-sol a été mis à nu (sans doute par déforestation), et le terrain qui la recouvre — et lui est bien postérieur — est dû à des apports d'alluvionnement, de ventilation, de dépôts, d'accumulation des résidus végétaux. Cette croûte protège les tufs relativement tendres, résultats des dépôts provoqués par les alternances d'humidité et de sécheresse; quant au sol proprement dit, il proviendrait d'une première végétation de lichens,

mousses, algues, formant, au bout d'un certain temps, des couches de quelques millimètres d'épaisseur sur les quelles se seraient implantées des espèces végétales plus importantes; le climat aurait donc eu, dans sa formation, une influence prédominante, ce qui explique qu'on le trouve dans tout le domaine mauritano-atlantique, partout où la pluviométrie a été suffisante (350 à 500 m/m).

Il en arrive à la signification du terme "tirs" qui désigne les terres noires, si abondantes au Maroc et qui, d'après lui, correspond à toutes les terres noires reposant sur une croûte tuffeuse calcaire, qui est intervenue par sa désagrégation, mais non par la décalcification; celle-ci n'aurait pas contribué à la formation de ces sols, qui sont constitués d'un mélange formé d'apports éoliens, de produits de décomposition de la flore arbustive et herbacée, quelque fois même de dépôts humains, et cette origine explique leur extrême variation.

Plus récemment, A. Mercier (11) a examiné les facteurs de l'évolution des sols dans la région de Casablanca, où la majeure partie repose sur la „dune consolidée“ — dont les aspects sont d'ailleurs variables — et, parfois, sur les schistes ou les quartz très anciens.

Il a classé ces Terres en :

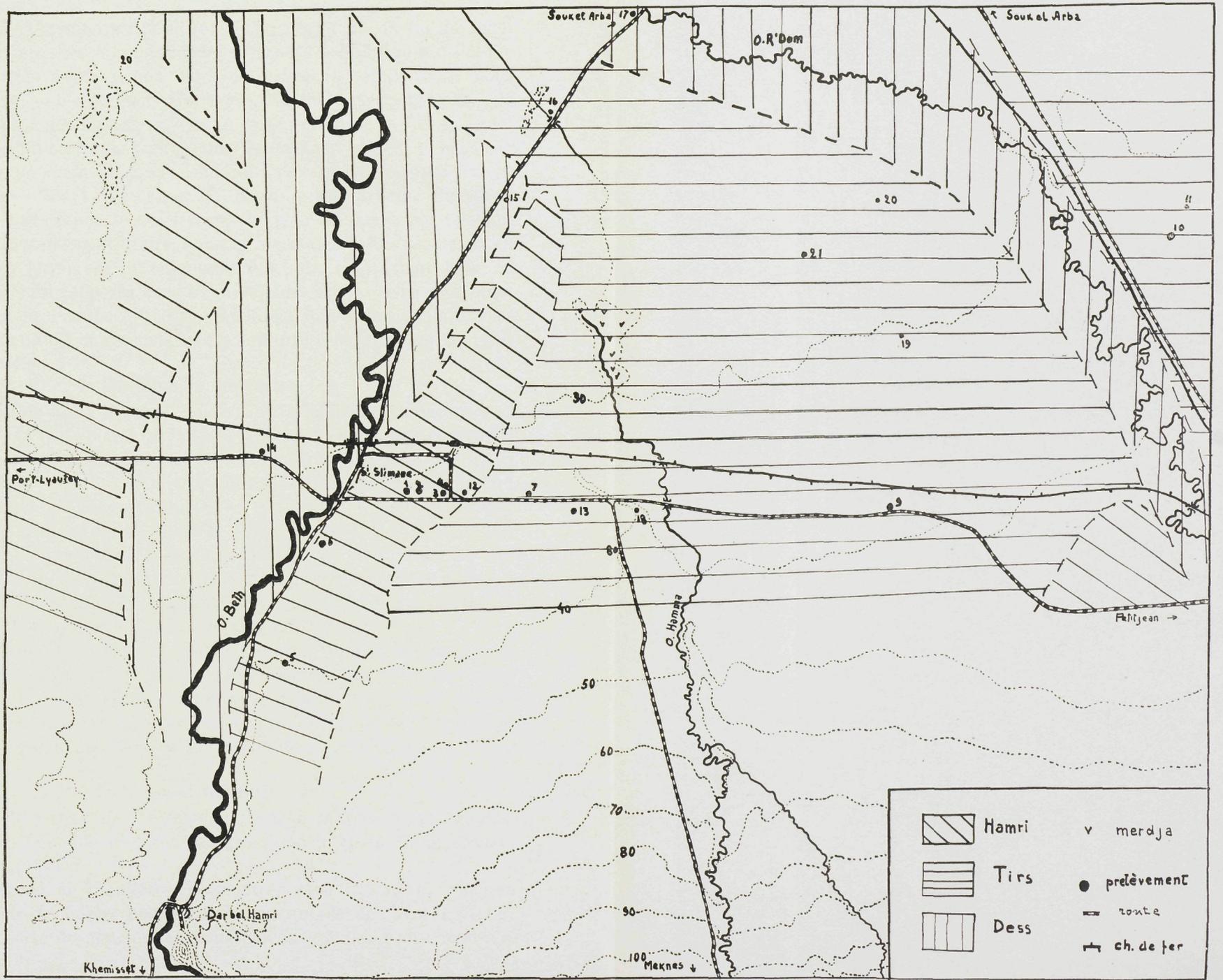
- a) pseudo-tirs, argilo-siliceux, marécageux,
- b) hamris rouges, silico-argileux ou argilo-siliceux, qu'il attribue à une formation steppique arbustive,
- c) en haarocho, sols gris en régression calcaire,
- d) en pseudo-hamris, ou terres rouges à nodules ferrugineux, qu'il considère comme des terres noires latérisées et, enfin,
- e) en tirs, ou terres noires, qu'il rapproche des tchernozioms.

Par ailleurs, nous avons nous-même essayé d'établir la relation existant entre les types de sols et la composition de certaines plantes cultivées, notamment du blé et de l'orge (12) et de rechercher les rapports qu'ils présentaient avec l'eau et les matières fertilisantes, originelles ou apportées (13).

Enfin, avec le concours des Inspecteurs Régionaux de l'agriculture, nous avons tenté de déterminer la répartition écologique des terres de ce pays dont nous avons dressé une carte approximative.

On doit également ajouter à cet aperçu sommaire et très incomplet l'ébauche manuscrite de la carte pédologique du Maroc, dressée par le Prof. Hug. del Villar.

Comme on le voit, les sols du Maroc ont déjà donné lieu à d'assez nombreux travaux, mais leur connaissance précise demande encore bien des recherches, qui devraient être entreprises avec le concours concerté des diverses disciplines s'intéressant à la pédologie. C'est précisément



La région de Sidi-Slimane

dans ce but qu'a été créée dernièrement "l'Association Marocaine pour l'étude des sols".

Mais, avant même qu'elle ne fût constituée et dès la fin de 1935, nous avons commencé d'appliquer les méthodes pédologiques à l'étude de quelques sols de la région de Sidi-Slimane, étude dont nous donnons cidessous les premiers résultats. Comme nous le verrons, elle n'a porté que sur une faible partie de ce vaste périmètre et plus spécialement sur celle qui correspond au premier lotissement officiel — mais elle doit s'étendre prochainement sur celui qui a été attribué en 1937 (no. 3) et sur celui Bou-Maiz, à 12 kilom. à l'Est du centre urbain. En raison même de la destination de ces terrains et pour donner à ces travaux un caractère nettement utilitaire, nous les avons complétés par l'examen des propriétés physiques et chimiques des sols, notamment pour ce qui concerne leurs rapports avec l'eau et leurs applications pratiques.

Comme nous l'avons dit, cette étude est loin d'être définitive et doit être poursuivie, mais nous avons crû utile de n'en pas retarder la communication.

#### **Situation (v. les cartes)**

La région de Sidi Slimane est située à la partie méridionale et aux confins de la vaste plaine du Rharb (qui couvre elle-même la presque totalité de la zone septentrionale du Maroc-Français) dans les Beni Ahssen et les O. Yahia à 30 mètres d'altitude. Elle est limitée: au Sud par les collines des Guerrouane (Djebel Nouillat — Djebel Outita), à l'Est par les Cherarda et l'Oued R'Dom, à l'Ouest par la Mamora et l'oued Beth, qui coulent tous deux du S.W. au N.E., dans des lits étroits et profonds; au Nord, ses limites sont imprécises et elle se prolonge sans solution de continuité, en direction de Mechra-Bel-Ksiri et Souk-El-Arba, vers le Sebou et les Oulad Moktar.

La ville de Sidi-Slimane, placée au bord W. de cette plaine, est traversée par la route de Fes — Port-Lyautey, à une cinquantaine de kilomètres de cette ville et de la côte Atlantique. Le barrage de l'oued Beth (El Kansera) situé à 20 km. en amont, permet l'irrigation de la majeure partie de cette région (30.000 hectares environ).

#### **Aspect Général**

Les sols de cette zone correspondent à trois formations géologiques principales: les alluvions récentes du Beth et du R'Dom, l'argile rouge, et les marnes grises.

A une dizaine de kilomètres en amont de Sidi-Slimane, la plaine est bordée par de faibles collines qui, aux abords de l'Oued Beth, forment une sorte de plateau constitué par du calcaire blanc, reposant

lui-même sur un banc de graviers (no. 5) et qui, en face de la station no. 6, affleure à 2 ms. environ du lit du fleuve; sa surface irrégulière est comblée par l'argile rouge qui, plus haut, constitue toute la masse de la falaise, en mélange avec des débris calcaires arrondis. Parfois, cette coupe est masquée par les alluvions de l'oued et la falaise apparaît alors constituée par une formation jaune-grise, uniforme dans toute sa masse.

En direction du centre urbain, le plateau s'atténue progressivement pour se confondre avec la plaine et ses pentes sont constituées par l'argile rouge-brun-jaune, qui forme une bande étroite de "hamri" alors, qu'en aval, les alluvions (dess) recouvrent cette argile, claire dans la partie inférieure et plus foncée dans la partie supérieure.

La plaine située à l'Est, entre les oueds Beth et R'Dom, est recouverte par des sols noirs (tirs) généralement formés sur des marnes gris-clair, qui reposent elles-mêmes sur une formation argileuse jaune, jaune-brune, contenant des débris de calcaire et que son aspect morphologique permet de rapprocher de celle qui supporte le hamri.

Les alluvions (dess) se trouvent sur les berges et à leur voisinage immédiat, et reposent parfois sur les sols précédents; c'est le cas, par exemple, de la station no. 15, où une masse d'alluvions d'un mètre d'épaisseur recouvre le sol noir (tirs).

### Conditions Climatériques

Les caractéristiques essentielles du climat de cette région sont les suivantes: température moyenne: 17° 8, minimum: 10° 2. maximum: 26°, pluviométrie annuelle: 495 m/m.

	Port Lyautey	Souk el Arba	Petitjean	Sidi Slimane	Sidi Slimane
Température moyenne	17.6	17.7	18.8	17.8	Max. moyen — 26.5
Température moyenne	13.6	16.0	15.9	15.2	Min. moyen — 10.2
Pluviométrie	583	582	462	494	Max. absolu — 49° 5 observé
Pluviométrie } Température }	33	33	25	28	Min. absolu — 4° observé



Vue générale de la plaine de Sidi-Slimane



Légère surélévation de la plaine de Sidi-Slimane (micro-relief) à 6 Km. E du Centre Urbain



Cours de l'Oued Beth, au niveau de Sidi-Slimane



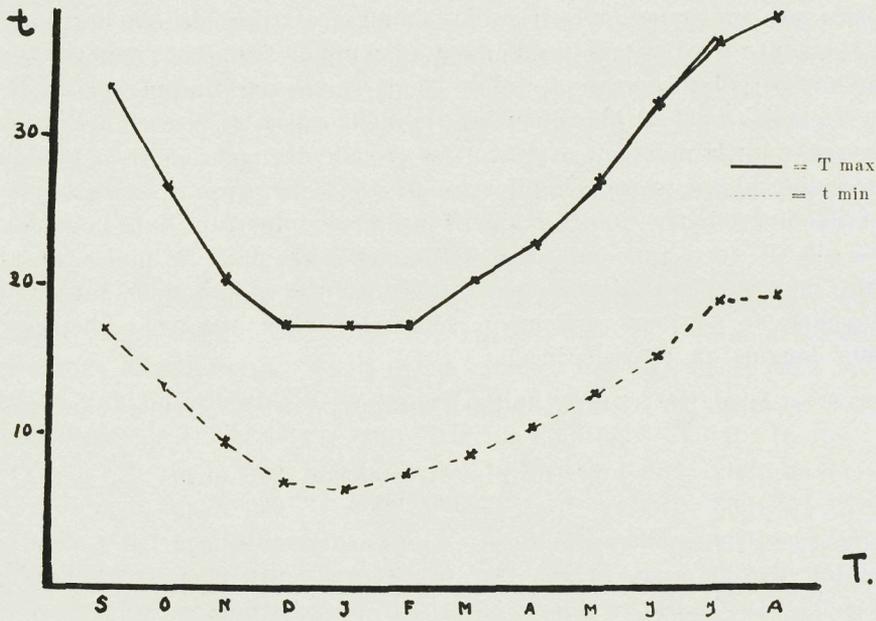
L'Oued R'Dom, au niveau de la route Fes Port-Lyautey



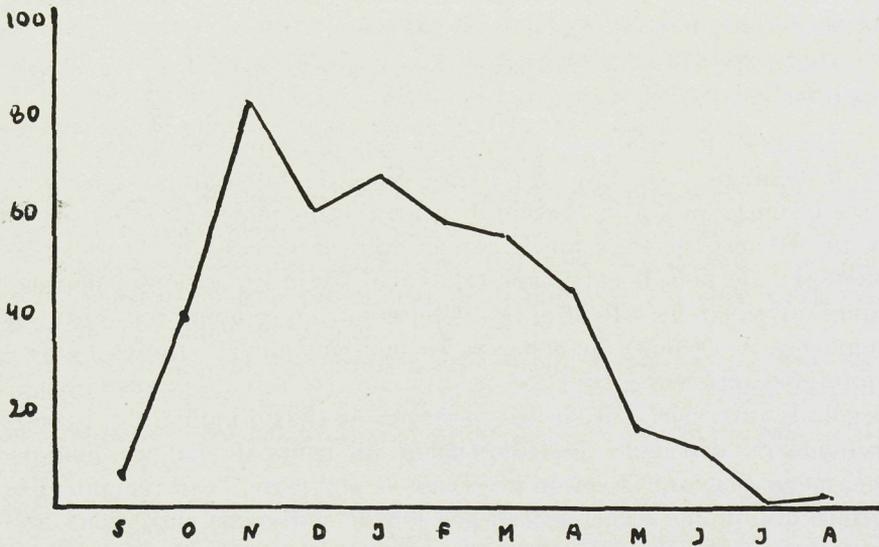
L'Oued R'Dom au voisinage de Petitjean



L'Oued Beth, vu du pont de Sidi-Slimane



Petitjéan—températures mensuelles



Petitjéan—pluviométrie mensuelle

Il convient, toutefois, de souligner que les précipitations atmosphériques moyennes, relativement abondantes (près de 500 m/m par an) — sont réparties très inégalement au cours de l'année, et concentrées sur une période hivernale (octobre—mai) suivie par une période sèche de six mois (mai—octobre), pendant laquelle sévissent des températures élevées, dont la moyenne atteint 24° 6 et celle des maxima 46° 5. Cette succession d'une saison humide-froide et d'une saison sèche-chaude à faible hygrométrie, joue certainement un rôle important dans la genèse des sols de cette zone mi-continentale. D'autre part, les pluies hivernales ne sont pas continues, mais intermittentes et obtenues dans une moyenne de 64 jours seulement, séparés, parfois, par des sécheresses assez longues (4 à 7 semaines).

C'est ainsi, par exemple, qu'on a compté pour les 5 dernières années :

en 1932 =	46	jours	de	pluies,	totalisant	358	m/m
1933 =	83	—	—	—	—	652	m/m
1934 =	66	—	—	—	—	494	m/m
1935 =	51	—	—	—	—	216	m/m
<u>1936 =</u>	<u>77</u>	—	—	—	—	<u>610</u>	<u>m/m</u>
Moyennes	64					466	m/m

avec des intervalles entre certaines périodes pluvieuses de 41 jours en 1932 (avril) de 32 jours en 1933 (janvier—février) de 26 jours (décembre, janvier) et 42 jours (avril—mai) en 1934, etc.

Ces alternatives ne sont pas non plus sans influences sur les mouvements de l'eau et, par suite, sur la structure des terres.

En effet, les études que nous poursuivons depuis plusieurs années sur le bilan de l'eau dans différents types de sols naturels placés en cases lysimétriques à la Station de Rabat, ont montré (13) que, dans un tirs reconstitué (de manière à reproduire la succession naturelle des horizons — et pour la campagne 1935/36 où les précipitations atmosphériques atteignirent 646 m/m et débutèrent en septembre), l'eau ne commença à s'écouler qu'à partir du mois de janvier, toutes les précipitations antérieures (soit 258 m/m) ayant été retenues dans la masse du sol. D'autre part, l'étude des variations du taux d'humidité à diverses profondeurs, déterminé périodiquement au cours de l'année, indique que, même pendant la saison hivernale et pluvieuse, l'eau remonte à la surface dès qu'une sécheresse un peu longue s'intercale entre deux précipitations et, qu'à partir de juillet généralement, le sol ne cède plus d'eau à la percolation.

Ces quelques considérations sont nécessaires pour comprendre l'évolution climatique et actuelle des sols de Sidi-Slimane, ainsi que leurs rapports avec l'eau; elles expliquent, notamment, que — malgré une quantité globale relativement élevée — la répartition particulière des pluies les rend insuffisantes pour pousser bien loin les processus de lessivage — qui ne sont qu'ébauchés — et, par suite, comme nous le verrons plus loin, pour déterminer une transformation profonde des sols.

### Végétation Spontanée

La flore principale est représentée par les espèces suivantes, dont aucune n'est endémique = *Cynara cardunculus* L., *Arum arisarum*, *Scolymus hispanicus* L., *Asphodelus microcarpus* Vir., *Scorzonera undalata* Vahl., *Euphorbia helioscopia* L., *Convolvulus tricolor* L., *Astragalus boeticus* L., *Lavatera trimestris* L., *Plantago psyllium* L. etc. . .

### Prélèvements

Les vingt et une stations étudiées jusqu'ici représentent une partie réduite du périmètre de Sidi-Slimane, dont l'ensemble fait l'objet de recherches en cours.

Les nos 1, 2, 3, 4 ont été prélevés à la Ferme Expérimentale — les nos 5 et 6 plus au Sud, parallèlement à route de Sidi-Slimane à Dar-Bel-Hamri, les nos 7, 8, 9, 12, 13, 18 le long de la route de Sidi-Slimane à Petitjean, les nos 15, 16, 19, 20, 21 au Nord de cette route, dans la plaine située entre les oueds Beth et R'Dom, le no. 14 sur la route de Sidi-Slimane à Port Lyautey, enfin les numéros 10 et 11 sur la rive droite de l'oued R'Dom. La situation de ces stations est indiquée sur le plan schématique ci-joint (v. p. 242).

On a opéré par tranchées de 2 ms. de profondeur, sur 1 m. 50 de longueur et 1 m. de largeur, de façon à obtenir des profils et, pour compléter cette prospection, nous avons demandé à Mr. Caspar, Ingénieur des Travaux Publics, de vouloir bien effectuer des sondages qui ont atteint généralement la profondeur de 5 mètres et, parfois même, le niveau de la nappe phréatique.

L'étude faite sur le terrain a été continuée au Laboratoire, par l'analyse pédologique des profils les plus caractéristiques et par celle de leurs rapports avec l'eau. Les analyses ont été effectuées par M. M. Brodskis et Bryssine.

### Méthodes employées

Pour l'analyse mécanique, nous avons adopté la méthode officielle de sédimentation dans les flacons d'Atterberg et l'échelle internationale

= argile 0,002, limon 0,002—0,02, sable fin 0,02—0,2, sable grossier 0,2—2 m/m (Loi de Stokes).

Pour l'analyse chimique, nous avons adopté l'attaque par HCl 50 % et, pour déterminer la teneur en bases échangeables, la méthode de Guedroit par attaque à HCl  $\frac{N}{20}$ , après élimination des carbonates; les résultats sont exprimés en % et en milliéquivalents. Nous avons, en outre, effectué le traitement de plusieurs échantillons pour KOH 5 %.

### Description de quelques profils

#### Station I. Ferme Expérimentale

- |           |   |  |
|-----------|---|--|
| Horizon A | { | 0—80 cm. terre brune à reflet rougeâtre. Grands agrégats de forme irrégulière. |
|           |   | 80—120 cm. terre jaune assez foncée.   |
| Horizon B | { | 120—220 cm. de couleur jaune pâle — formée d'agrégats de forme irrégulière.    |

#### Station 3. Ferme Expérimentale

- |           |   |  |
|-----------|---|--|
| Horizon A | { | 0—60 cm. terre grumeleuse de couleur brun foncé, s'éclaircissant en profondeur, dans la partie inférieure, les agrégats deviennent plus grands.  |
| Horizon B | { | 60—120 cm. = terre jaune, à nodules calcaires<br>160—130 cm. lit de garviers alternant avec des sables grossiers qui reposent à leur tour sur des (360—500 mm.) sables calcaires jaunes. |

#### Station 5. Ferme Braizat

- |           |   |  |
|-----------|---|--|
| Horizon A | { | 0—65 cm. terre brun-rouge granuleuse, contenant des débris de calcaire.    |
| Horizon B | { | 65—100 cm. plus clair, rose, avec débris de calcaire granuleux et altéré.  |
| Horizon C | { | 100—200 cm. calcaire rose très clair, reposant sur une couche de graviers. |

#### Station 6. Ferme Priou

- |           |   |   |
|-----------|---|---|
| Horizon A | { | 0—100 cm. terre brun-rougeâtre, dont les agrégats sont plus petits dans la partie supérieure et deviennent plus grands en profondeur. |
| Horizon B | { | 100—115 cm. couche de couleur claire, jaune rougeâtre qui passe à   |
| Horizon C | { | 115—240 cm. une terre argileuse, jaune pâle.<br>Dans toute la masse du sol, on rencontre des concrétions calcaires.                   |

Station 6. Lot Massenet

- Horizon A { 0—75 cm = sol de couleur gris noir. Dans la partie supérieure, les agrégats petits et de la dimensions d'une tête d'épingle, deviennent progressivement plus grands et jusqu'à 0,5 cm. de diamètre.
- Horizon C { 75—100 cm. couche de petits agrégats de la grosseur d'une tête d'épingle.  
 100—135 cm. couche de grands agrégats.  
 135—160 cm. = de nouveau, une petite couche de petits agrégats.  
 160—300 cm. une couche de grands agrégats.  
 La couleur des petits agrégats est plus claire que celle des gros.

Station 9. Lot Lestrade

- Horizon A { 0—20 cm. = terre noire grumeleuse, formée de petits agrégats.  
 20—40 cm. terre plus claire, grisâtre, petits agrégats en tête d'épingle.
- Horizon C { 40 cm. et au-dessous — sol de couleur grise, uniforme dans toute sa masse.

Constitution des sols

a) Matière organique — D'une façon générale, tous les sols étudiés sont pauvres en humus, ainsi que le montre le tableau suivant

Tableau No. 1

Stations no.	Profondeur cm	Teneur en humus %	pH
1	0—80	0.91	—
3	0—40	0.2	0—40 = 8.2
4			8.1
5	0—60	0.2	—
7	0—50	0.55	0—50 = 8.3
8			8.2
9		0.83	8.2
11			8.5

b) pH. — La réaction est toujours alcaline, le pH est toujours supérieur à 8, à savoir: Station 3 (0 à 40 cm.) = 8,2 — Station 4 = 8,1 — Station 7 (0 à 50 cm.) = 8,3 — Station 8 = 8,2 — Station 9 = 8,2 — Station 11 = 8,5.

Cette forte alcalinité — fréquente, sinon générale dans la plupart des terres marocaines — a déjà attiré l'attention de plusieurs auteurs, en particulier, et comme nous l'avons signalé, de G. Carle et de Bourcart (loc-cit).

Ce dernier, à propos de sols des Chaouia (propriété Duhez) disait "Ces sols, mais particulièrement les échantillons 7 et 8, sont tous faiblement alcalins, comme nous l'a montré l'étude colorimétrique de leur pH. Melle Malycheff pense que cette alcalinité (sol de surface) provient peut-être de l'action du gypse" et plus loin "la quantité de  $\text{CO}^3\text{Ca}$  paraît un peu supérieure à la moyenne, surtout sur le sol jaune. Les sols examinés se rangent dans la catégorie des tirs moyens, mais plus alcalins au point de vue du pH . . ."

Le même auteur écrit "l'étude du pH des sols du Maroc nous a donné les résultats suivants: plus de la moitié des échantillons (45 sur 88) approchent de la neutralité ou sont neutres, les sols légèrement alcalins sont nombreux aussi, les sols acides ne sont représentés que par 7 échantillons, les types extrêmes font totalement défaut. Ces résultats étaient à prévoir, les sols provenant d'une région qui appartient à la zone tempérée chaude du climat méditerranéen. La température est assez élevée et les précipitations atmosphériques insuffisantes pour favoriser la formation du type acide, qui exige un lessivage énergique des sols par les eaux d'infiltration. La décalcification des sols est peu avancée."

G. Carle avait déjà remarqué, à propos des alluvions du Sebou, que "leur très forte alcalinité doit également retenir l'attention", et insinué, par rapport à celles d'Egypte, qu'elles contenaient du carbonate de soude, ajoutant toutefois (p.12), par opposition à l'affirmation habituelle, que 80 % des sols du Maroc manquent de chaux, que "si nous considérons l'alcalinité des terres du Maroc, bien souvent en relation avec la teneur en chaux, on constate, au contraire, qu'en général, elles ont tendance à une forte alcalinité".

Pourtant, dans ces observations, le pH dépassait rarement 7.5 et jamais 8, alors que dans toutes les terres de Sidi-Slimane que nous avons examinées, il dépasse ce dernier chiffre. Cette haute valeur surprend par sa généralité et, aussi, par le fait qu'elle ne semble pas en accord avec la teneur ordinairement peu élevée en calcaire. Aussi, pour tenter de l'expliquer, avons-nous recherché l'alcalinité totale et celle imputable aux carbonates alcalins ou aux bicarbonates alcalins et alcalino-terreux. Les résultats sont les suivants:

Alcalinité	pour 100 gr. de terre	
	I	8
Alcalinité totale en $\text{HCO}^3$ . . . . .	0.0254	0.0394
Alcalinité dûe au carb. alc. en $\text{CO}^3$ . . . . .	—	0.0056
Alcalinité dûe bicarb. alc. . . . .	0.0086	0.0116
Alcalinité dûe bicarb. alc. ter . . . . .	0.0166	0.0198

Cette question mérite d'être étudiée.

c) Chlorures. — La teneur en sels solubles est faible et le taux des chlorures (déjà nuisible pour la plupart des espèces cultivées lorsqu'il dépasse 0,1 %) n'est pas très élevé, puisqu'il oscille dans les horizons supérieurs, entre 0,0528 % (Station 1 à 0—40 cm.) et 0,0736 % (Station 9 à 0—50 cm.) toutefois, il augmente habituellement en profondeur, pour atteindre = 0,0928 % à la Station 9 (330 à 380 cm.) 0,1035 à la Station 20 (250—300 cm.) et, à 1 m.—1 m.50 = 0,0582 % à la Station 1 (120—160 cm.) et 0,0983 à la Station 16 (v. tabl. II p. 252).

Il paraît donc y avoir concentration des sels dans les horizons inférieurs, mais il convient de noter que cette salure a été déterminée sur des échantillons prélevés au mois de Janvier, c'est à-dire pendant la saison humide, après qu'avait déjà eu lieu un lessivage partiel de la couche supérieure et accumulation des sels à la profondeur de 1 m.—1 m. 50.

Par contre, ils peuvent s'élever dans les horizons supérieurs, et cette montée est bien visible dans le cas de la Station 1, par exemple, où leur taux, de 0,0392 % à 160—200 cm. est passé à 0,0528 à 0,40 cm. Les sels tendent donc à gagner les couches supérieures pendant les périodes de sécheresse, alors que, dans la saison des pluies, ils sont entraînés par lessivage. C'est ainsi, qu'à la Ferme Expérimentale, la nappe phréatique, située à 7—8 m. contient de 0,9 à 1 gr. de chlorures par litre, taux qui, à la profondeur de 1 m. 60—2 m., s'est abaissé à 0,0392, pour s'élever à 0,0528 % à 0,40 m. Il existe donc des mouvements en sens inverse, selon que la période considérée est pluvieuse ou sèche.

d) Constitution physique. — Au point de vue de leur constitution physique, tous les sols de Sidi-Slimane peuvent être considérés comme très argileux puisqu'ils contiennent de 50 à 60 % d'argile. D'une façon générale, la teneur en cet élément diminue avec la profondeur, comme l'indiquent les tableaux suivants. C'est ainsi, par exemple, qu'à la Station 1, elle s'élève à 62 % à 0,40 cm. pour descendre à 23 % à 120—160 cm. et, qu'à la Station 7, elle atteint 51 % à 0,50 cm. et seulement 44 % à 150—200 cm.

Dans les premiers 50 cm., ce taux d'argile varie entre 44 % et 64 %, alors que celui du limon oscille entre 14 % et 19 % et la teneur en sable entre 12 % et 22 %, ces éléments, à l'inverse de l'argile, diminuant généralement avec la profondeur, c'est ainsi, par exemple, que les proportions respectives d'argile, de limon et de sable sont les suivantes:

à la Station 1 = 62 %, 16 %, 15 % à 0—40 cm. et 23 %, 28 %, 28 %  
à 120—160 cm.

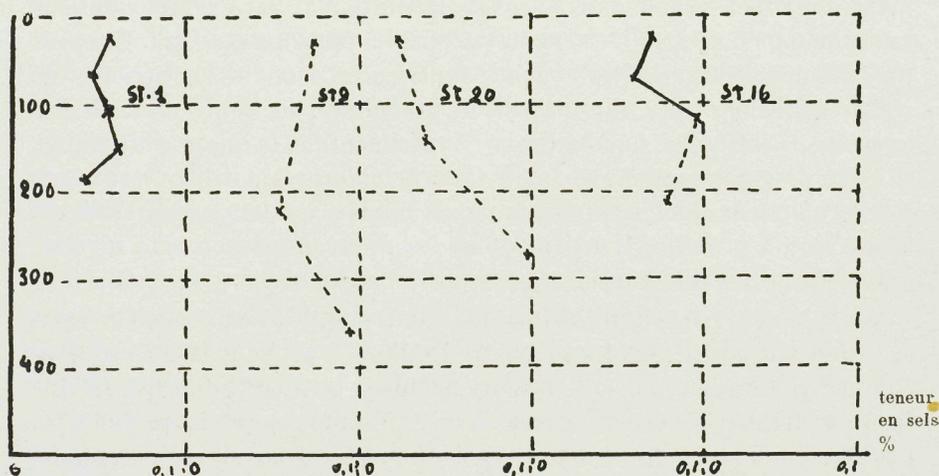
à la Station 7 = 51 %, 15 %, 12 % à 0—50 cm. et 44 %, 13 %, 12 %  
à 150—200 cm.

Tableau II. Teneur en Chlorures (%)

	Station No. 1					Station No. 9		
	0—40	40—80	80—120	120—160	160—200	0—50	200—250	330—380
Chl. en NaCl . .	0.0528	0.0424	0.0538	0.0582	0.0392	0.0737	0.0543	0.0928

	Station No. 20			Station No. 16			
	0—50	100—150	250—300	0—50	50—100	100—150	200—280
Chl. en NaCl . .	0.0224	0.0395	0.1035	0.0693	0.059	0.0983	0.0822

Prof.



Variation de la teneur en sels avec la profondeur

D'autre part, alors que les variations de l'argile sont faibles, le taux des autres éléments reste constant: on observe parfois une légère accumulation dans l'horizon à 40—80 cm.

Par ailleurs, si l'on considère les résultats de l'analyse mécanique des sols privés de carbonates (tableau III—VI) on constate qu'ils diffèrent, dans une certaine mesure des précédents. C'est ainsi, qu'à la Station 7 (tabl. IV) par exemple, l'analyse montre que l'argile diminue avec la profondeur, que le taux de limon et de sable reste constant, mais, qu'en réalité, la constitution de la matière minérale n'a pas changé, et que

Tableau III  
Analyse mécanique "Hamri"

	Station No. 1				Station No. 3					Station No. 5				
	Argile	Limon	Sable total	Calc.	Argile	Limon	S. fin	S. gros.	Calc.	Argile	Limon	S. fin	S. gros.	Calc.
0—40	62.1	15.6	14.9	1.00	56.5	16.3	<b>10.3</b>	<b>4.8</b>	3.9	56.0	13.2	15.5	8.9	5.0
48—80	66.2	16.3	17.1	0.4	58.6	13.2	<b>10.0</b>	<b>4.9</b>	13.3	23.6	5.0	5.2	3.4	59.8
80—120	39.1	20.1	15.9	24.9	52.1	12.0	<b>10.3</b>	<b>4.8</b>	20.8	24.2	5.3	5.2	3.6	56.1
120—160	23.5	28.0	27.9	21.8	46.9	12.8	12.3	6.8	15.1	—	—	—	—	—
160—200	22.2	19.3	39.2	16.9	31.8	11.3	15.7	14.2	26.4	—	—	—	—	—
Résultats rapportés à la matière sèche exempte des carbonates														
0—40	67.0	17.0	16.0	—	64.6	18.7	12.0	5.8	—	59.8	14.1	16.6	9.5	—
40—80	66.0	16.0	17.0	—	67.6	15.2	11.5	5.6	—	63.2	13.2	14.0	9.1	—
80—120	52.1	26.9	21.2	—	65.9	15.2	13.0	6.0	—	62.9	13.7	14.0	9.1	—
120—160	30.0	35.3	35.1	—	59.6	16.2	15.6	8.7	—	—	—	—	—	—
160—200	27.8	24.2	48.0	—	43.6	15.5	21.5	19.5	—	—	—	—	—	—

Calc. = Calcaire. S. fin = Sable fin. S. gros. = Sable grossier.

cette différence est due à la présence du calcaire, qui atteint 20,6% dans la couche supérieure (0—50 cm.) et 30,3% à 50—100 cm.

D'après les résultats analytiques et malgré les différences individuelles qui, parfois, les séparent — on peut réunir ces différents sols en un certain nombre de groupes d'après les affinités de leurs caractères physico-chimiques, et les ramener, notamment, à deux types principaux = les "hamris" et les "tirs".

Stations no. 1 et 3 (type hamri) — (v. tabl. III et VII). — Suivant la règle générale, la teneur en argile diminue, dans ces deux échantillons, avec la profondeur, par contre, le limon et le sable augmentent et le calcaire a disparu de l'horizon supérieur au profit des couches profondes. C'est ainsi, qu'à la Station 1, il atteint 1% à 0—40 cm. et 24,9% à 80—120 et, à la Station 3 = 3,9% à 0—40 cm. et 20,8% à 80—120.

D'autre part, l'analyse chimique (no. 1) révèle un enrichissement en  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  vers le haut, ainsi qu'une faible variation du fer (fait général pour tous les sols) le rapport  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  est passé, en effet, de 2,1 (partie supérieure) à 3,2 (partie inférieure), ce qui laisse supposer une transformation des aluminosilicates constituant l'argile, transformation qui a été précédée par un lessivage des carbonates (avec leur accumulation concomittante en profondeur), et suivie d'une fragmentation des grosses particules. Dans la masse du sol (80 cm. pour le no. 1, et 120 cm. pour le no. 3) la teneur en ces éléments reste constante, avec un faible enrichissement dans la couche de 40—80 cm.

N° 4 (voir tableau IV et VII).

Ici, on a affaire à un sol noir (type tirs) formé sur les marnes grises, qui reposent elles-mêmes sur l'argile jaune-brun. Ce fait est marqué par des changements brusques dans la constitution du sol à la profondeur de 1 m. 20, alors que, dans la partie supérieure, on observe également un lessivage des carbonates et une fragmentation des particules (la teneur en parties fines augmente vers le haut). L'attaque par HCl (à 50%) montre que le taux des sesquioxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) augmente à peu près parallèlement à la teneur en argile, ce qui indique qu'il n'y a pas eu de changement dans la constitution de la matière argileuse, dont les éléments restent toujours dans le même rapport, à savoir  $= \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 4,46$  dans la couche à 0—40 et 4,48 dans la couche à 80—120 cm.; toutefois, HCl peut attaquer plus facilement la matière argilo-ferrugineuse en raison de sa plus grande division.

Les no. 7 et 9 (v. tableau IV et tableau VII) ne présentent de changements ni dans leur constitution physique, ni dans leur composition chimique.

Par contre, l'examen des no. 8 et 21 (v. tableau IV) indique (comme dans les numéros 1, 3 et 4) d'une part un lessivage des carbonates et, d'autre part, un enrichissement des horizons supérieurs en argile.

Le no. 20 (tableau IV et VII) ne montre pas de changement du point de vue physique, il est seulement plus riche en argile par rapport aux autres sols et la teneur en cet élément reste très élevée dans tout le profil (60%), alors que l'analyse chimique révèle un enrichissement des horizons supérieurs en  $\text{SiO}_2$ .

Le no. 5 (tableau III) est un sol brun rougeâtre — formé sur le calcaire dans les conditions du climat actuel — on n'y observe que la disparition des carbonates des couches supérieures, sans que la nature physique de la matière argileuse soit modifiée, sauf peut-être, un faible enrichissement en argile à la profondeur de 40–80 cm.

Le tirs de merdja (tableau V et VII) est formé sur un sous-sol pauvre en calcaire et en argile, et riche en sable fin (40,3%) mais il devient très riche en argile dans la partie supérieure en même temps que le taux du calcaire augmente, ainsi que les éléments solubles dans HCl à 50%.

Dess (tableau VI et VII). Les dess se présentent comme une formation à teneur en argile moyenne (18,4–24,9%), et faible par rapport aux autres formations de la région (tirs et hamri); à cette pauvreté relative en argile correspond un taux assez faible des éléments extraits par HCl dans les couches supérieures, à savoir 21,2% (contre 33,3 et 37,1% pour les tirs et 51,7% pour le hamri). La teneur de ces sols en calcaire varie entre 10,9 et 27,6% et ils sont riches en limon et en sable.

En outre, il semble exister une différence sensible entre les alluvions de l'Oued Beth (no. 14 et 15) et celles de l'Oued R'Dom (no. 17 et no. 18); ces dernières sont, en effet, plus riches en calcaire (27,3% et 27,6% contre 10,9 et 13,6%) plus pauvres en limon et en sable et elles montrent un enrichissement en argile, surtout en profondeur (no. 18).

Ce fait explique la constitution du no. 15, où le sol repose sous une couche de 1 m. de dess.

Il semble résulter de ces observations que le processus de formation de tous ces sols a été partout le même. Il a dû commencer, d'abord par la disparition des carbonates des couches supérieures (lessivage), avec leur accumulation concomitante en profondeur, puis, au stade suivant, la matière minérale, après avoir subi une fragmentation sur place, a été à son tour entraînée dans les couches plus profondes.

Tableau IV. Analyse mécanique

	Station 4				Station 7				Station 8							
	Arg.	Lim.	S.tot.	Calc.		Arg.	Lim.	S.tot.	Calc.	Arg.	Lim.	S.fin	S.grs.	Calc.	Arg.	Lim.
0—50	63.8	14.1	18.4	3.7	0—50	50.6	15.1	12.0	20.6	44.2	14.7	10.5	1.8	14.4	48.0	13.0
50—100	47.5	12.6	24.4	15.4	50—100	44.1	14.1	11.8	30.3	27.3	11.3	21.6	6.0	28.6	47.8	12.0
100—150	34.5	10.1	25.4	30.0	100—150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150—200	48.5	11.1	17.1	22.8	150—200	43.7	13.4	12.3	30.0	47.9	12.0	11.6	1.8	26.4	—	—
Résultats rapportés à la matière sèche exempte de carbonates																
0—50	62.6	14.7	19.1	—	0—50	65.1	19.5	15.5	—	62.2	20.2	15.8	2.6	—	62.7	17.0
50—100	56.2	15.1	29.0	—	50—100	63.0	20.1	16.8	—	41.1	32.5	32.5	9.0	—	64.0	16.0
100—150	49.2	14.1	36.3	—	100—150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150—200	63.2	14.5	22.3	—	150—200	62.7	19.2	17.7	—	65.3	16.3	15.8	2.5	—	—	—

Arg. = Argile.  
 Calc. = Calcaire  
 Lim. = Limon.  
 S. fin = Sable fin.  
 S. grs. = Sable grossier.  
 S. tot. = Sable total.

Tableau V  
 Analyse mécanique "Tirs-Merdja"

	Station 16				
	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire
0—50	58.4	16.2	1.3	0.7	19.7
50—100	35.8	30.4	8.4	1.7	17.1
100—150	14.9	21.4	40.3	2.9	15.2
Résultats rapportés à la matière sèche exempte de carbonates					
0—50	76.2	21.1	2.5	—	—
50—100	46.9	40.0	13.2	—	—
100—150	18.8	27.1	53.1	—	—

Analyse mécanique "Tirs"

		Station 9					Station 20					Station 21				
rs.	Calc.	Arg.	Lim.	S.fin	S.grs.	Calc.	Arg.	Lim.	S.fin	S.grs.	Calc.	Arg.	Lim.	S.fin	S.grs.	Calc.
8	14.4	48.0	13.0	11.5	4.0	18.5	44.2	19.6	6.0	1.4	23.1	52.2	14.3	12.0	2.9	13.8
0	28.6	47.8	12.0	12.6	2.2	20.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	42.0	17.6	7.5	2.2	3.0	—	—	—	—	—
8	26.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22.6	6.6	15.4	2.0	54.0

matière sèche exempte des carbonates

6	—	62.7	17.0	15.0	5.2	—	61.5	27.9	8.5	1.9	—	62.9	17.6	14.7	3.6	—
0	—	64.0	16.0	17.0	3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	60.7	25.4	10.8	3.2	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48.5	14.2	33.0	4.3	—

Le complexe: sol brun-hamri est le plus évolué car, dans sa partie supérieure, il ne contient plus que peu de carbonates (1,3%) et l'état de fragmentation de la matière minérale y est plus avancé (la teneur en argile atteint 66%), de plus, cette argile s'accumule légèrement dans la partie moyennement profonde, pour diminuer ensuite, comme on l'a vu précédemment (page 240), c'est ainsi qu'elle atteint, à la Station 1 = 62% à 0-40 cm. et 66% à 40-80 cm. et, à la Station 3 = 56% à 0-40 cm. et 58% à 40-80 cm.

L'hygroscopicité du sol (v. tableau XVII) (c'est-à-dire son aptitude à condenser et absorber l'humidité de l'air) — qui est en liaison intime avec la surface des colloïdes — est très élevée, puisqu'elle atteint 9% à la Station 3 (hamri), montrant ainsi que l'état de dispersion de la matière est avancé; ce chiffre devient encore plus significatif si on le compare à ceux de la Station 7 (tirs), où il ne dépasse pas 2,5%.

D'autre part, cette hygroscopicité varie avec la profondeur dans le complexe sol brun-hamri (tableau III), tandis qu'elle reste constante

Tableau VI. Analyse mécanique

	Station No. 14					Station No. 15					Argile
	Argile	Limon	S. fin	S. gros.	Calc.	Argile	Limon	S. fin	S. gros.	Calc.	
0—50	22.7	33.6	27.2	1.3	10.9	22.6	35.2	21.0	2.8	13.6	18.4
50—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100—150	—	—	—	—	—	58.5	18.2	13.8	1.3	5.9	25.2
150—200	28.9	24.5	29.3	7.3	6.3	—	—	—	—	—	—
	Résultats rapportés à la matière sèche exem										
0—50	26.7	29.7	32.1	1.8	—	27.6	43.1	26.0	3.4	—	27.3
50—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100—150	—	—	—	—	—	63.7	20.0	15.0	1.4	—	37.7
150—200	31.9	27.2	31.9	8.2	—	—	—	—	—	—	—

Légende: S. fin = Sable fin.  
 S. gros. = Sable grossier.  
 Calc. = Calcaire.

dans le tirs, ce qui indique que la surface des colloïdes augmente, dans le hamri, quand on passe de la profondeur vers la partie supérieure, alors qu'elle reste constante dans le tirs. Mais, comme cette surface ne peut augmenter que par la division plus grande des particules, cette dernière est donc plus accusée dans le sol où l'hygroscopicité (fonction de la surface) est la plus grande. Cette forte fragmentation mécanique a été complétée, dans le hamri, par une transformation de la matière argileuse elle-même — car les rapports entre les différents éléments extraits par HCl ne sont pas les mêmes dans les différentes couches de ce sol (no. 1) c'est ainsi que le rapport  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  est passé de 2,1 (120—130 cm) à 3,2 (0—40 cm) ce qui prouve que la composition de la matière argilo-ferrugineuse a changé.

Dans le complexe tirs-marnes grises, il existe, au contraire, toute une gamme de passages entre les types extrêmes. Dans certains de ces sols, on ne constate qu'un lessivage partiel des carbonates (no. 9), tandis que dans les autres, où ce lessivage est déjà plus complet, on observe,

Analys mécanique " Dess "

Calc.	Station No. 17					Station No. 18				
	Argile	Limon	S. fin	S. gros.	Calc.	Argile	Limon	S. fin	S. gros.	Calc.
13.6	18.4	18.3	28.7	2.0	27.3	24.9	14.7	20.7	7.6	27.6
—	—	—	—	—	—	35.3	15.0	16.6	3.6	24.2
5.9	25.2	24.0	15.1	2.5	25.5	40.6	14.1	16.2	3.8	20.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

matière sèche exempte des carbonates

—	27.3	27.2	42.6	3.0	—	36.7	21.6	30.5	11.2	—
—	—	—	—	—	—	50.0	21.4	22.2	5.2	—
—	37.7	36.0	22.6	3.6	—	54.4	18.9	21.7	5.0	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

en outre, une fragmentation de la matière minérale qui, toutefois, reste toujours grossière, car le taux d'hygroscopicité demeure peu élevé et ne change pas avec la profondeur.

Les données de l'analyse mécanique (v. tableau III et IV) de ces deux types de terre (stations 3 et 7) représentatifs des hamri et des tirs, complètent ces observations. Dans les deux cas, en effet, le taux d'argile est peu différent (66 et 56%) et ses variations suivent à peu près la même marche mais, tandis que dans le no. 3 (hamri), le taux d'hygroscopicité est très grand et variable, dans le no. 7 (tirs) il reste faible et constant.

Or, si l'on admet, avec Mitscherlich, que le taux d'eau hygroscopique (hygroscopicité maximum) est de 0,3 par gramme de colloïdes, on trouve qu'il correspond, pour la Station 3 (hamri), à 30% de colloïdes et, pour la Station 7 (tirs), à 8,8 seulement, indications qui confirment les précédentes sur les différences de fragmentation dans ces deux types de sols et qui sont encore soulignées par les rapports que l'on peut établir entre la teneur en argile totale et en argile colloïdale calculée (tableau VIII).

Tableau II  
Extraits chlorhydriques (Méthode c)

			SiO <sup>2</sup>		Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>		%	
			%	mol.	%	mol.		
Hamri	n° 1	0—40	22.7	378	12.1	119	6.89	
		40—80	18.4	306	12.4	121	6.8	
		80—120	23.2	387	7.5	73	5.0	
		120—160	8.0	133	6.0	59	5.0	
		160—200	8.1	135	6.5	64	4.8	
Tirs	n° 4	0—40	21.5	358	8.4	81	7.2	
		40—80	17.9	298	7.0	69	6.0	
		80—120	13.5	225	5.1	50	4.5	
		120—160	19.5	325	6.5	63	5.8	
		160—200	18.1	301	6.8	66	6.8	
	n° 9	0—50	20.0	333	7.4	72	5.9	
		50—100	19.3	322	7.2	70	5.7	
		200—250	16.6	276	6.6	65	4.9	
		230—380	14.2	325	7.0	69	4.8	
	n° 20	0—50	37.1	616	10.6	104	5.2	
		100—150	15.5	258	10.6	104	4.3	
		250—300	8.8	147	5.9	58	4.1	
	n° 21	0—50	22.1	368	10.5	103	5.6	
	Tirs Merdja	n° 16	0—50	21.0	350	11.1	109	6.5
			50—100	15.2	253	10.4	101	5.9
			100—150	11.1	185	7.0	68	5.0
200—250			26.9	449	9.7	95	6.7	
Dess	n° 14	0—50	8.8	145	6.0	58	6.4	
		150—200	3.2	53	6.1	59	6.0	
		250—300	3.8	63	4.1	39	6.1	
		425—450	5.3	87	4.0	39	5.4	
	n° 15	0—50	8.3	139	6.6	64	5.4	
		120—150	15.8	264	8.7	85	8.7	

Tableau VII  
 Sédiments (Méthode de Sigmond)

No.	Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>		Somme des éléments	SiO <sup>2</sup> mol.	SiO <sup>2</sup> mol.	Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> mol.
	%	mol.		Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> mol.	Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> mol.	Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> mol.
19	6.89	43	41.7	3.18	8.8	0.36
21	6.8	42	37.6	2.54	7.2	0.35
73	5.0	32.0	35.7	5.25	12.5	0.43
59	5.0	31	19.0	2.26	4.3	0.53
64	4.8	29	19.4	2.12	4.5	0.49
31	7.2	45	37.1	4.46	8.04	0.546
39	6.0	37	30.9	4.33	8.05	0.538
50	4.5	28	23.1	4.48	8.05	0.557
33	5.8	36	31.8	5.13	8.95	0.572
36	6.8	36	30.7	4.52	8.34	0.543
72	5.9	37	33.3	4.61	9.11	0.506
70	5.7	35	32.2	4.56	9.05	0.504
35	4.9	30	27.1	4.25	9.05	0.469
39	4.8	30	33.3	4.73	10.09	0.434
44	5.2	32	52.9	5.95	22.05	0.269
44	4.3	27	30.4	2.48	9.60	0.259
8	4.1	26	18.9	2.50	5.70	0.443
3	5.6	35	38.2	3.58	10.5	0.341
9	6.5	40	38.6	3.20	8.750	0.370
1	5.9	37	31.5	2.51	6.85	0.366
8	5.0	31	23.1	2.70	5.93	0.456
5	6.7	41	36.3	4.72	10.80	0.438
8	6.4	34	21.2	2.91	4.30	0.675
9	6.0	37	15.3	0.86	1.43	0.628
9	6.1	38	14.0	1.59	1.65	0.960
9	5.4	33	14.9	2.20	2.60	0.850
4	5.4	33	20.5	2.17	4.18	0.520
5	8.7	54	32.2	3.09	4.88	0.635

Tableau VIII

	Station 3 (Hamri)				Station 7 (tirs)		
	0—40	40—80	80—120	120—160	0—50	50—100	150—200
$\frac{\text{Arg. totale}}{\text{Arg. colloïdale}}$	1.88	1.78	2.10	2.10	5.75	5.75	5.75

La faible fragmentation des particules dans le sol noir est également traduite par les résultats de l'analyse chimique, qui montrent qu'il n'existe pas de variations dans les rapports  $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ ,  $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Fe}^2\text{O}^3}$ ,  $\frac{\text{Fe}^2\text{O}^3}{\text{Al}^2\text{O}^3}$  et que la nature de la matière minérale reste, par conséquent, constante. L'ensemble des tirs examinés indique donc qu'il existe, entre-eux, différents stades d'évolution, vraisemblablement subordonnés à l'influence du microrelief.

En effet, ceux qui sont les plus évolués (fragmentation des particules, changement dans la nature des alumino-silicates, etc. . . .) sont situés: soit sur les pentes (station 8) soit sur le sommet de légers monticules (stations 11, 21), dont la hauteur ne dépasse pas quelques mètres, mais dont l'action se fait néanmoins sentir.

D'autre part, l'attaque par KOH à 5% (tableau X) extrait plus de  $\text{SiO}^2$  et de  $\text{Al}^2\text{O}^3$  dans le hamri que dans le tirs, ce qui indique que le complexe absorbant du premier est plus atteint. En outre, si l'on calcule la teneur en kaolin ( $\text{SiO}^2$ ,  $\text{Al}^2\text{O}^3$ ) dans les deux sols, on voit qu'il reste un excès de  $\text{Al}^2\text{O}^3$  dans le hamri et, au contraire, un excès de  $\text{SiO}^2$  dans le tirs.

Or, la présence de  $\text{Al}^2\text{O}^3$  libre dans le sol montre que celui-ci a subi une latéritisation<sup>1)</sup>, ce qui laisse supposer que le hamri s'est formé dans des conditions climatiques différentes de celles qui existent actuellement, à savoir une température plus élevée et des précipitations atmosphériques plus abondantes et continues.

Bases absorbées. Enfin, il convient de rappeler que toutes les terres examinées sont des sols saturés (tableaux IX); leur teneur en bases absorbées est, en effet, assez élevée, puisqu'elle atteint 0,840 et 1,324, alors que celle des tchernoziom (sols très riches en ces éléments) dépasse rarement 1,5%. C'est surtout l'ion Ca qui est absorbé, toutefois, dans le no. 1 (hamri), il existe une forte proportion de Mg qui atteint 30%

<sup>1)</sup> La latéritisation consiste dans la libération, puis l'accumulation, des sesquioxydes libres =  $\text{Al}^2\text{O}^3$ ,  $\text{Fe}^2\text{O}^3$ .

de la quantité totale des bases. Par ailleurs et comme on l'a vu, celle-ci est plus grande dans le hamri que dans le tirs.

Tableau IX  
Bases absorbées (Méthode Guedroitz)

	Ca		Mg		K		Na		Capacité d' a B	
	%	mol	%	mol	%	mol	%	mol	%	mol
1 (0—40)	0.820	41.0	0.300	25.0	0.0018	0.05	0.0032	0.14	1.324	66.2
5 (0—40)	1.04	52.0	tr	—	—	—	—	—	1.04	52.0
7 (0—50)	0.764	38.2	0.060	5	—	—	0.0056	0.2	0.868	43.4
8 (0—50)	0.928	46.2	0.072	6	—	—	0.0045	0.2	1.048	52.4
9 (0—50)	0.800	40.0	0.060	5	—	—	0.0017	—	0.860	43.0

Tableau X  
Attaque par KOH à 5% (Méthode Guedroitz)

	SiO <sup>2</sup>		Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>		SiO <sup>2</sup> mol Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> mol	2SiO <sup>2</sup> Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	SiO <sup>2</sup>
	%	mol	%	mol		+	+	+
3 (0—50)	1.253	20.9	1.843	18.1	1.15	2.322	0.772	—
1 (0—50)	1.407	23.4	0.913	8.9	2.62	1.987	—	0.332

Pédogénèse des sols de Sidi-Slimane. — De ces recherches au laboratoire et des observations faites sur le terrain, on peut tirer quelques conclusions d'ordre général sur la formation des sols étudiés.

Il semble qu'ils répondent à deux stades d'évolution: au premier stade, l'argile rouge, formée sous un climat différent de celui d'aujourd'hui et aux dépens des calcaires, a été enlevée et déposée au pied des collines: au second stade, les marnes grises sont venues à leur tour et ont recouvert la formation argileuse jaune que l'on trouve toujours sous elles (dans le no. 4, cette argile est à 1 m. de profondeur). Il semble que cette formation argileuse jaune soit le résultat de la transformation de l'argile venue du Sud, car dans la coupe de l'Oued Beth, on observe un passage progressif de l'argile rouge vers cette formation argileuse jaune.

Dans les conditions du climat actuel (température moyenne élevée et succession de périodes sèches-chaudes et humides-froides, avec pluies intermittentes) ces deux formations ont donné respectivement: les hamri — sol brun et les marnes grises — sol noir (tirs), dont la différence consiste surtout dans le degré différent d'évolution de la roche mère et dans la position topographique. Les processus pédologiques se tra-

duisent seulement par le lessivage des carbonates et la fragmentation des particules grossières, on n'observe pas le déplacement d'éléments ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dans le profil.

Ces considérations nous amènent à placer ces sols dans le cadre des sols steppiques à tendance désertique.

### **Propriétés physiques des terres et leurs rapports avec l'eau**

#### Considérations Générales

La nature et les dimensions des divers éléments qui constituent le sol (et qui proviennent généralement de la destruction de la roche-mère sous l'influence des facteurs climatiques et biologiques) en définissent la texture — qui est déterminée par l'analyse physique et mécanique — alors que leurs proportions relatives et leur mode d'arrangement conditionnent la structure.

Les particules grossières sont réunies et comme cimentées par les plus fines (colloïdes), pour former de petites masses irrégulières (agrégats) qui, selon leur grosseur et leur mode de répartition, laissent entre elles des interstices plus ou moins grands (pores — espace vide ou lacunaire) remplis par l'air et par l'eau.

Les conditions optima d'une terre arable sont réalisées lorsque les différents constituants (sable, limon, argile etc. . . .) existent dans des proportions déterminées et sont disposés les uns par rapport aux autres, de façon à laisser entre eux des espaces vides de dimensions et d'importance suffisantes. Cette répartition des particules peut être différente selon qu'elles sont régulièrement séparées et tangentées, ou que les plus fines sont logées dans les méats que laissent entre elles les plus grandes; on a ainsi, selon Garola, une disposition pyramidale (la moins compacte) ou cubique (la plus compacte) ou, d'après Prato-longo, une disposition hexagonale (compacte) ou lacunaire.

Mais cette structure est susceptible d'être modifiée à chaque instant sous l'influence de causes diverses (en particulier: l'humidité, la sécheresse, les engrais, le tassement, le travail du sol, etc. . .), elle est éminemment instable.

Or, la plupart des propriétés des sols sont sous sa dépendance, c'est ainsi que la perméabilité par exemple, qui joue un rôle si important dans leurs aptitudes et leur mode de culture, est subordonnée en grande partie à la porosité, conditionnée elle-même par l'espace lacunaire (fonction de la structure), qui peut être déterminé, comme le volume du sol, par la densité réelle et apparente (Demolon).

Il est superflu d'indiquer les méthodes adoptées pour ces différentes mesures, il suffit de rappeler quelques-unes des formules les plus employées :

Densité réelle  $d = \frac{P}{V}$  = celle des éléments constitutifs du sol (2,65).

Densité apparente  $D$  = celle de la terre, avec ses lacunes, ou de la terre en place.

Volume  $V = \frac{d}{D}$  ou  $\frac{d - h(\text{humidité})}{D}$ .

Espace lacunaire =  $100 \times (1 - v)$  ou  $100 \times (1 - \frac{d}{D})$ .

Porosité totale =  $E V$  en % du volume total de la terre ou =  $1.000 - V - E$  (eau correspondante à l'humidité du sol).

Nombre de particules par gramme de terre =  $\frac{6}{\pi d^2 D}$ .

Surface des particules par gramme =  $\pi d^2 D$ .

Si la porosité est déterminée par la quantité, ou la masse, des espaces vides, elle est également influencée par leur valeur qualitative, c'est-à-dire par les dimensions relatives de chacun d'eux; les plus petits, dont l'ensemble a été comparé à des tubes capillaires, déterminent la porosité capillaire — alors qu'aux plus grands méats correspond la porosité non capillaire, l'ensemble représentant la porosité totale.

Or, le régime hydrique du sol sera différent selon que dominera l'un ou l'autre de ces deux facteurs, dont le rapport est optimum lorsque la porosité capillaire atteint 40 à 50% de la porosité totale; ce rapport est déterminé en grande partie par la texture et par la nature physico-chimique des particules.

C'est ainsi, par exemple, que dans une terre pauvre en particules fines et riche en éléments sableux, la porosité non capillaire sera trop grande par rapport à la porosité capillaire, l'eau s'écoulera trop vite et ne sera retenue qu'en quantité insuffisante pour les plantes. Dans un sol riche en argile, il faudra tenir compte également, de la nature des ions absorbés; si c'est Ca, les agrégats seront stables et laisseront entre eux des espaces libres pour l'eau et la porosité sera suffisante, si c'est Na, les agrégats perdront leur stabilité et seront détruits, les particules élémentaires devenues libres obtureront rapidement les fins canaux qui les séparent, la porosité capillaire sera trop élevée et l'eau séjournera sans pouvoir s'écouler.

Ces éléments règlent tous les rapports du sol avec l'eau, qui sont si importants du point de vue cultural; aussi, n'est-il pas inutile d'indiquer sommairement le schéma des divers états que cette eau peut affecter dans la terre et qu'exprime le tableau ci joint:

Tableau XI

	Catégorie de l'eau	Etat physique	Action de la > 0°	températ
I	Eau de constitution chimique	Solide	Part au rouge en calcinant le sol absolument sec	Ne gèle
II	Vapeur d'eau <sup>1)</sup>	Gazeux	En desséchant le sol jusqu'à l'état absolument sec, la tension de vapeurs d'eau est égale au zéro	Se cond
III	Eau hygroscopique <sup>2)</sup>	Solide ou liquide	Part à la température > 103°	Ne gèle
IV	Eau pelliculaire <sup>3)</sup>	Liquide (pellicule d'une couche moléculaire)	Part à la température > 103°	Gèle à la de 1° :
V	Eau capillaire <sup>4)</sup>	Liquide	Part lorsqu'on desséche le sol	Gèle cor à - 1°
VI	Eau de gravité <sup>5)</sup>	Liquide	Part lorsqu'on desséche le sol	Gèle cor à - 1°

Remarques: 1) Ne retient pas les particules au sol. est déterminée par la tension des vapeurs d'eau à la même température.

2) Est retenue par les forces de 10.000 atmos.

3) Se déplace sous l'action des forces moléculaires des particules plus humides vers les particules plus sèches.

4) Se déplace sous l'action des forces capillaires des régions plus humides vers les régions plus sèches.

5) Se déplace exclusivement sous l'action de la pesanteur.

(d'apr

Tableau XI

température < 0°	Action de la force centrifuge	Action de la force de pesanteur	Utilisée ou non par les plantes
Ne gèle pas	Ne réagit pas	Ne réagit pas	Inutilisable
Se condense	Ne réagit pas	Ne réagit pas	Inutilisable
Ne gèle pas à — 78°	Ne réagit pas	Ne réagit pas	Inutilisable
Gèle à la température de 1° à — 78°	En général ne réagit pas, la teneur maxi- mum est retenue par une force centrifuge de 18.000 à 70.000 g	Ne réagit pas	Partiellement utilisable mais très difficilement
Gèle complètement à — 1°	Réagit	Ne réagit pas	Facilement utilisable
Gèle complètement à — 1°	Réagit	Réagit	Facilement utilisable pour la grande part de plantes cultivées et nuisibles

(d'après Poliakov): „Les éléments de la pédologie appliquée à l'amélioration des sols“ où  
sont également résumées leurs propriétés essentielles.

Tableau No. XI

- a) L'eau de constitution chimique est celle qui entre dans la composition même des minéraux constituants du sol, elle comprend l'eau d'imbition micellaire.
- b) La vapeur d'eau remplit les interstices qui séparent les particules du sol, sa présence est déterminée par la tension de la vapeur d'eau dans le sol et dans l'atmosphère et par la température.

L'eau hygroscopique est celle qui est retenue à la surface des colloïdes par la tension superficielle (d'autant plus forte que leur fragmentation est grande). Lorsque toute la surface des colloïdes est saturée, on atteint l'hygroscopicité maximum, au-dessus de laquelle le sol ne peut plus fixer d'eau sous cette forme, celle-ci ne peut être cédée qu'à l'état de vapeur et, de ce fait, est inutilisable pour les plantes, dont les racines n'absorbent l'eau qu'à l'état liquide.

Toutefois, elle joue un rôle important dans le bilan hydrique, car elle est en rapport étroit avec le coefficient de flétrissement, qui correspond à la quantité d'eau au-dessous de laquelle les plantes éprouvent déjà de la difficulté à s'en procurer et, de ce fait, commencent à se flétrir. Ce rapport est déterminé par la formule = W.C (coefficient de flétrissement) =  $1,5 - 2,00 \times G.C.$

- c) L'eau pelliculaire. Les particules solides qui constituent le sol retiennent l'eau à l'état liquide sous forme d'une pellicule, d'un voile, ou film, qui recouvre toute leur surface. La force d'attraction qui la maintient diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la particule solide, et à une certaine distance, elle devient inférieure au pouvoir absorbant des racines, qui peuvent ainsi l'utiliser. Par ailleurs, cette eau se déplace de l'endroit où la pellicule est plus épaisse vers ceux où elle est plus mince.
- d) D'autre part, les interstices qui séparent les plus fines particules terreuses constituent un réseau, qui a été comparé aux tubes capillaires et qui jouit de leurs propriétés, en particulier de celle de retenir contre leurs parois une certaine quantité d'eau qui, de ce fait, porte le nom d'eau capillaire, elle présente un grand intérêt agricole car elle est facilement utilisable par les plantes. La quantité maximum d'eau que le sol peut ainsi retenir porte le nom de capacité capillaire maximum, ou encore de capacité hydrique (Pratolongo). — Sa connaissance est particulièrement intéressante pour les sols irrigués, car elle représente, dans une certaine mesure, la limite supérieure de l'eau utilisable dans ceux où la porosité

capillaire est optimum; au-dessous ou au-dessus de cet optimum, cette limite varie, elle s'abaisse quand la porosité capillaire est élevée et augmente dans le cas inverse.

Les Américains ont, en outre, introduit la notion de capillarité ralentie, qui correspond à la limite entre l'état pelliculaire et l'état capillaire, limite au-dessous de laquelle l'eau est très difficilement absorbée par les plantes. Ce point de la capillarité ralentie est déterminé par la formule: P (point de la capillarité ralentie) =  $K \times W.C$  (coefficient de flétrissement), dans laquelle K. est un coefficient variable avec la nature du sol; dans la pratique, pour les sols à texture fine (et c'est le cas de ceux de Sidi-Slimane), on admet que:  $K = 1,3$ . Passé la limite de la capacité capillaire maximum, l'eau devient déjà nuisible pour les plantes, car elle chasse l'air des pores et provoque ainsi l'asphyxie des racines. Dans le cas d'une terre irriguée où la nappe phréatique est voisine de la surface, et surtout dans le cas où elle n'a pas d'écoulement, cette eau libre risque de provoquer la montée de la nappe et des sels solubles dans les horizons supérieurs du sol.

- e) L'eau qui n'est pas retenue par les forces capillaires se trouve dans le sol à l'état libre et porte le nom d'eau de gravité, car elle est entraînée de haut en bas sous l'action de la pesanteur. Son taux varie entre la capacité capillaire maximum et la capacité de rétention maximum (ou capacité hydrique maximum, selon Pratalongo), c'est à dire entre l'état de saturation du sol, où seuls les pores capillaires sont remplis d'eau, et celui où tous les pores le sont également.

Il existe, d'ailleurs, diverses corrélations entre ces diverses valeurs, c'est ainsi que: le coefficient de flétrissement, d'après Pratalongo, est égal au quintuple de l'eau d'imbibition micellaire, et d'après Briggs et Shantz, au coefficient hygroscopique divisé par 0,68, que l'équivalent d'humidité (teneur en eau d'un sol humide après centrifugation), selon les mêmes auteurs, est 2,5 fois plus grand que ce coefficient hygroscopique C. qui, lui-même, peut-être déterminé par la formule suivante:  $C = 0,01 s + 0,12 l + 0,57 a$ , dans laquelle s, l, a, représentent les teneurs respectives en sable, limon et argile.

Pour mieux comprendre les relations qui existent entre ces différentes catégories d'eau, il suffit de se placer schématiquement dans le cas concret d'une terre où le taux d'humidité, primitivement inférieur à l'hygroscopicité maximum, augmente progressivement. La vapeur d'eau sera, tout d'abord, absorbée par le sol jusqu'à

l'hygroscopicité maximum, puis les premières portions d'eau seront retenues et fixées sous forme d'une pellicule enveloppant les particules terreuses (eau pelliculaire) et, quand la limite de cette rétention moléculaire sera atteinte, l'eau commencera à glisser sur cette pellicule et à pénétrer dans les interstices interparticulaires, où elle sera retenue par la force capillaire, pour pénétrer ensuite dans les grands interstices ou méats. Si la quantité d'eau augmente encore, elle ne sera plus retenue et descendra sous l'action de la pesanteur (eau de gravité), au contraire, si la terre se dessèche, l'eau qu'elle contient passera par les mêmes stades, mais en sens inverse.

### Perméabilité

C'est l'aptitude du sol à laisser passer l'eau. On la mesure et on l'exprime par la vitesse d'écoulement d'une quantité d'eau déterminée pendant un temps donné. Bien que tout le monde soit d'accord sur sa définition, son appréciation et sa mesure diffèrent d'un auteur à l'autre.

Elle est sous la dépendance de divers facteurs, en particulier de la porosité, elle-même conditionnée par la structure.

Toutefois, elle est rarement constante, en raison précisément de l'instabilité de cette structure, qui peut être plus ou moins modifiée sous l'influence des agents extérieurs, notamment par l'eau et les actions mécaniques (Wolliam), qui peuvent la détruire ou la régénérer, ainsi que plusieurs auteurs, et en particulier Hénin, l'ont récemment montré.

L'action de l'eau peut, d'ailleurs, se manifester différemment, car il existe des sols qui perdent leur structure lorsqu'ils sont mis directement à son contact, alors qu'ils la conservent si on les imbibe par voie capillaire; dans le premier cas, il y aurait "explosion" des agrégats sous la pression de l'air comprimé dans les pores sous l'influence de l'eau, dans d'autres, les causes sont d'ordre physico-chimique (cations, pH, etc. . .). L'eau, en s'infiltrant dans le sol, dérange ou détruit les agrégats, principalement lorsque les colloïdes sont abondants, et modifié, ipso-facto, la valeur et l'allure de la perméabilité. Aussi, Pratalongo déclare-t-il que les corrélations évidentes qui existent entre la porosité (volume des espaces vides) et la perméabilité sont insuffisantes et qu'il est nécessaire de rechercher celle-ci expérimentalement (loc. cit. p. 65).

C'est pourquoi, et après essais au laboratoire, nous avons considéré séparément: l'imbibition, l'infiltration et la percolation, de façon à connaître, non seulement la vitesse de passage de l'eau, mais aussi ses variations.

L'imbibition correspond aux premières portions d'eau apportées au sol pour l'imbibir (comme son nom l'indique) et jusqu'à ce qu'elles

commencent à le traverser librement. Elle est conditionnée par la capacité capillaire maximum, par la nature des colloïdes et par le taux initial d'humidité.

L'Infiltration, ou pouvoir filtrant (Kozeny et Kostakov) est l'aptitude du sol à laisser passer un certain volume d'eau — en fonction de ses propriétés physiques et chimiques (c'est-à-dire à travers un sol parfaitement homogène) et elle est conditionnée par la capacité de rétention maximum, la porosité, et la stabilité des agrégats.

Enfin, la percolation est le passage réel de l'eau à travers le sol naturel en place, elle est sous la dépendance des deux phénomènes précédents.

D'autre part, il existe toujours, dans le sol, des cavités, des fissures (creusées par les racines, par les animaux fousseurs etc. . . .) qui constituent un passage facile pour l'eau, même lorsque le pouvoir filtrant est faible, la terre, dans ce cas, sera plus perméable en fait que ne le laisserait supposer la vitesse d'infiltration. D'autres se fendent, se craquent pendant la saison sèche et chaude (surtout celles dont le complexe absorbant est saturé par Na et où la matière organique est absente) et cette fissuration, cette craquelure, facilitera également le passage de l'eau.

Cette aptitude à se fissurer (scrépolabilité des italiens) joue un rôle important dans la dynamique du sol. Lorsque celui-ci est peu perméable, elle constitue un moyen appréciable d'évacuation de l'eau et favorise ainsi l'aération des horizons profonds, mais elle peut constituer un danger lorsque, les précipitations n'étant pas abondantes, l'eau est entraînée sans que les couches supérieures du sol en profitent. De plus, ces crevasses provoquent la rupture des racines et présentent une surface plus grande à l'évaporation. Cette propriété, en relation avec la texture et la nature physico-chimique, se manifeste toujours dans les sols argileux, dans une structure instable, et dans les pays chauds et secs.

Pour toutes ces raisons, on peut donc dire que le pouvoir filtrant ne constitue, dans une certaine mesure, qu'une partie de la perméabilité. De plus, et comme on l'a vu, celle-ci n'est pas invariable pour une même terre, car elle dépend aussi de la stabilité de la structure. Si celle-ci reste stable, les valeurs de la perméabilité sont constantes, alors que, dans le cas contraire, elles peuvent diminuer au fur et à mesure que l'eau dérange ou détruit les agrégats au cours de son passage.

Cette eau réagit, en outre, sur la matière alumino-silicatée et dissout une partie des sels, leur permettant d'entrer en relation d'échanges avec les cations absorbés, de sorte que, lorsque les précipitations sont abondantes et dans une terre pauvre en sels, ceux-ci sont entraînés par

lessivage, les colloïdes passent alors à l'état dispersé et sont entraînés à leur tour, c'est le processus de la podzolisation.

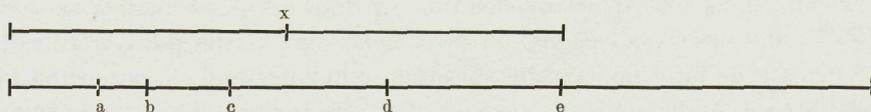
Au contraire, si les pluies sont faibles et que la terre contienne du calcaire, les colloïdes restent coagulés et le sol conserve sa structure, on a alors affaire, dans les régions humides, aux sols humiques—carbonatés, ou rendzinas.

Il faut donc, pour que l'eau puisse traverser la masse d'un sol, qu'un certain nombre de conditions soient réalisées, à savoir porosité: suffisante, c'est-à-dire une certaine quantité d'espaces libres dont les dimensions soient, en outre, assez grandes, une structure stable, une vitesse . . . de filtration pas trop élevée, etc. . . conditions qui sont déterminées par la texture élémentaire et la nature physico-chimique des particules terreuses.

Humidité. — L'humidité de la terre, telle qu'on la dose habituellement dans les analyses, est un terme imprécis et sans valeur réelle, car on ne sait pas à quelle catégorie d'eau elle se rapporte, alors que chacune d'elles possède, comme on vient de le voir, des propriétés particulières qui méritent leur détermination individuelle par des dosages périodiques.

C'est ainsi, par exemple, que dans le cas où ce taux descendrait au-dessous du point de capillarité ralentie, on devrait faire un apport d'eau, de façon à ne pas le laisser s'abaisser jusqu'au coefficient de flétrissement, mortel pour la végétation, et que, connaissant d'autre part le pouvoir de rétention capillaire maximum, on devrait limiter cet apport, afin de ne pas dépasser le point au-delà duquel il devient déjà nuisible.

Pour mieux expliquer ces possibilités, supposons que l'analyse ait révélé, dans le sol examiné, un taux d'humidité  $x$ , dont on reporte, sur une droite, les teneurs croissantes correspondant aux limites des différents états que l'eau peut affecter, telles que = (Fig. suivante).



- a) représente le taux d'hygroscopicité maximum,
- b) le coefficient de flétrissement,
- c) le point de capillarité ralentie,
- d) le taux maximum d'eau capillaire,
- e) le taux maximum d'eau de gravité.

Les valeurs d'humidité correspondant à l'eau hygroscopique seront comprises entre 0 et a, celles de l'eau pelliculaire (dans une certaine

mesure) entre a et c, l'eau capillaire entre c et d, et l'eau de gravité entre d et e. Le taux X d'humidité, trouvé à l'analyse, peut indiquer l'une quelconque de ces valeurs:

soit celles comprises entre o et a, soit entre a et c, ou entre c et d, soit enfin entre d et e. Dans le premier cas, ce sera de l'eau inutilisable pour les plantes, dans le 2<sup>ème</sup> l'eau difficilement utilisable, dans le 3<sup>ème</sup> l'eau utile, et dans le 4<sup>ème</sup> l'eau nuisible à partir d'une certaine valeur, compte-tenu des réserves précédentes.

### Propriétés physiques des sols de Sidi Slimane

Densité. — Les analyses précédentes ont montré que les sols de la région de Sidi-Slimane, sont dans l'ensemble, très argileux et entrent dans la catégorie des sols compacts et lourds.

Les caractéristiques de leurs densités et de leur porosité sont représentées dans le tableau ci-joint; à titre de comparaison, la densité réelle varie généralement autour de 2,60—2,65 et la densité apparente autour de 1,30—1,40 pour les sols sableux, de 1,00—1,25 pour les sols sablo-humifères, et de 1,80 pour les sols sableux des marais.

Tableau XII

	No. 3	No. 5	No. 4	No. 7	No. 8
Densité réelle . . . . .	2.83	2.50	2.66	2.83	2.68
Densité apparente . . . . .	1.94	1.85	1.99	1.96	1.98
Porosité. . . . .	38.3	26.0	22.3	26.2	32.8

La densité réelle des sols de Sidi-Slimane est donc très élevée (2,5 à 2,83) et peut être expliquée par leur extrême pauvreté en matières organiques (inférieure à 1%) et leur grande richesse en fer (10%). Leur densité apparente est également forte (1,85 à 1,99)<sup>1)</sup>.

Porosité. — La porosité est, comme on l'a vu, conditionnée par la constitution physique du sol, c'est-à-dire par la nature, la répartition et le mode d'arrangement des particules.

Les résultats analytiques (tableaux III, IV) ont déjà indiqué quelle était la texture des sols de Sidi-Slimane, nous les avons complétés par

<sup>1)</sup> La densité apparente a été déterminée par la méthode de Sideri (détermination du volume d'un agrégat du sol dont le poids est connu). Pour les détails de l'opération v. Poliakov — La pédologie appliquée à l'Amélioration des sols de Sibérie — Nouvelle méthode de la détermination de la densité apparente des sols Ped. No. 1—1933.

le calcul du nombre et de la surface des grains contenus dans un gramme de terre (d'après Garola), selon les formules suivantes :

$$N - \text{nombre de grains dans 1 gr. de terre} = \frac{6}{\pi d^2 - D};$$

$$S - \text{surface des grains dans 1 gr.} = \pi d^2 N;$$

d — le diamètre moyen de chaque fraction et D = la densité réelle du sol considéré.

Tableau XIII

Stations	Nombre des particules	Surface en dm <sup>2</sup>		
		Argile	Limons	Total
No. 3 . . . . .	25.421.000.000	51.75	1.23	52.98
No. 5 . . . . .	25.992.000.000	52.71	1.13	53.84
No. 4 . . . . .	28.159.000.000	56.61	1.15	57.76
No. 7 . . . . .	20.911.000.000	42.50	1.15	43.64
No. 8 . . . . .	19.215.000.000	38.63	1.22	39.35

Comme on le voit — et en raison même de la nature très argileuse de ces terres — le nombre de leurs particules est considérable, surtout dans les numéros 3, 4 et 5; dans tous les cas, il est de l'ordre des milliards par gramme (il a été volontairement fait abstraction du constituant sableux qui, par le fait de la grosseur de ses éléments, ne joue, qu'un rôle insignifiant dans ces déterminations).

Pour les mêmes raisons, leur surface est très grande.

La porosité totale des sols étudiés varie de 22,3 à 38,3 %, elle est plus grande dans le type hamri (no. 3) que dans le tirs (no. 4 et 7).

Perméabilité. — Pour étudier la perméabilité des diverses terres de Sidi-Slimane, et eu égard aux modifications qu'elle peut subir du fait même de l'infiltration (v. page 270) nous avons préalablement essayé de déterminer la résistance de la structure des différents échantillons à l'action de l'eau, en recherchant la vitesse de filtration de celle-ci au travers d'une couche de terre placée dans un cylindre métallique de 30 cm. de longueur<sup>1)</sup>. Les résultats sont traduits par les graphiques schématiques ci-joints, pour les stations no. 3, 4, 7, 9 déjà étudiées et, en outre, pour les no. 14 (dess) et no. 11 (tirs). L'infiltration peut-être divisée en trois étapes: l'une correspondant au tronçon a b, parallèle à l'axe des X, les deux autres correspondant aux parties b c et c d. Le premier a b représente le temps nécessaire pour que l'eau traverse et sature les 30 cm. d'épaisseur de terre depuis le début de l'opération

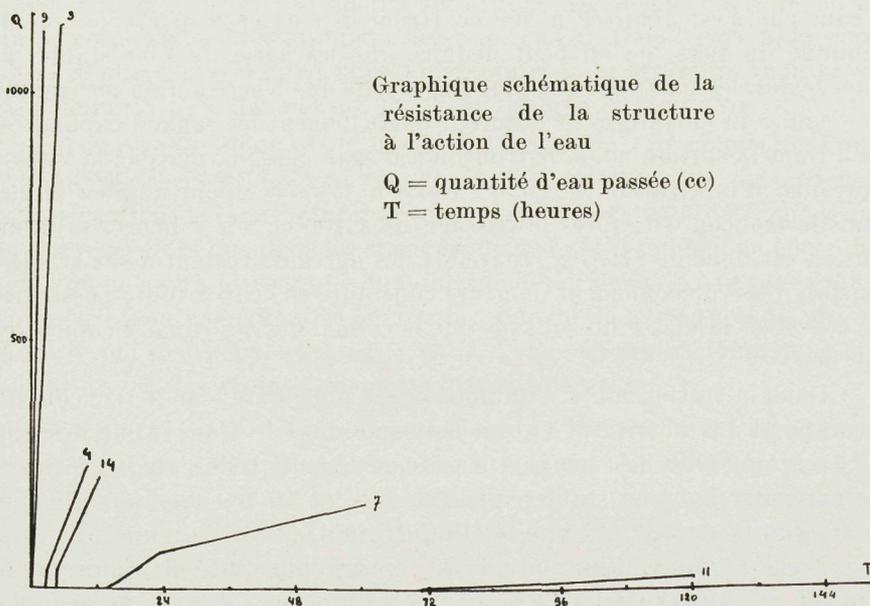
<sup>1)</sup> Nous avons adopté la méthode de Williams et employé l'appareil décrit par Garola (Contribution à l'étude physique des sols).

jusqu'à l'apparition des premières portions d'eau libre — ou, en d'autres termes, la vitesse d'imbibition du sol (qui est d'autant plus faible que la vitesse de filtration et cette partie de la droite sont plus petites). Le tronçon bc représente les variations de cette vitesse de filtration, dues à la destruction des agrégats, et la portion cd représente la vitesse constante de filtration, lorsque l'état d'équilibre de stabilité des agrégats est atteint.

Pour traduire cette vitesse en chiffres, nous avons mesuré les trois tronçons constituant les courbes, (tracées automatiquement par l'appareil) et, pour uniformiser les résultats, nous les avons ramenés à la quantité d'eau écoulée pendant une heure. Dans ces courbes, la ligne des abscisses représente le temps, et celle des ordonnées les quantités d'eau écoulées pendant la durée de l'essai, les graphiques qui en ont été tirés ont été schématisés.

On constate ainsi que la vitesse d'imbibition est différente pour chaque terre; c'est ainsi qu'elle est très grande pour les no. 3 et 9, où le temps nécessaire à l'imbibition est pratiquement égal à zéro, alors que, pour les autres sols, il est égal aux durées suivantes:

- no. 4 — 2 heures
- no. 7 — 14 heures
- no. 14 — 4 heures
- no. 11 — 84 heures



Quant à la vitesse d'infiltration, elle est calculée par la formule :

$$K = \frac{\text{quantité d'eau écoulée}}{\text{temps}}$$

et ses variations (tronçon b c des courbes) sont indiquées dans le tableau suivant, qui donne également les valeurs de cette même vitesse lorsqu'elle est devenue constante (tronçon c d).

Tableau XIV

		No. 3	No. 4	No. 7	No. 9	No. 14
		cc.	cc.	cc.	cc.	cc.
Tronç. b c . . . .	K moyen	312	74	8	1.300	169
Tronç. c d . . . .	K moyen	208 <sup>1)</sup>	40 <sup>2)</sup>	3 <sup>3)</sup> 1 <sup>4)</sup>	290 <sup>5)</sup>	31 <sup>6)</sup>

1) Après 4 h. 30 et 1.200 cc. d'eau.

2) „ 1 h. „ 50 „ „

3) „ 9 h. „ 70 „ „

4) „ 36 h. „ 150 „ „

5) „ 1 h. „ 1.100 „ „

6) „ 30 „ 40 „ „

On voit que dans la station no. 3 — où le tronçon a b = 0 (c'est-à-dire où l'imbibition est très rapide) la vitesse moyenne de filtration (tronçon b c) = 312 cm.<sup>3</sup> — mais qu'après 4 h. 30 et le passage de 1,200 cc. d'eau, elle s'est abaissée à 208 cc. (tronçon c d) et a, par conséquent, diminué du tiers, on en peut déduire que les agrégats sont stables et que, seules, les particules les plus fines, sous une légère action mécanique de l'eau, sont entraînées et obturent partiellement les canaux capillaires.

Dans la station no. 9, le tronçon a b égale aussi 0, mais ici la vitesse moyenne d'infiltration — (b c) s'élève à 1,300 cc. pour tomber à 290 dans le tronçon c d, après le passage de 1,100 cc. en 1 heure, sa diminution est donc de 77,70 %; toutefois, les agrégats restent assez stables, car la vitesse d'écoulement demeure constante et l'eau a toute possibilité de traverser la masse du sol sans que le colmatage des canaux capillaires ait lieu.

Dans la station no. 4, l'imbibition est plus lente, car le tronçon a b correspond à 2 heures, la vitesse moyenne dans le tronçon b c descend à 74 cc. et, au bout de 1 heure et le passage de 50 cc., elle s'abaisse à 40 cc., les agrégats sont peu stables, puisque 1 h. et 50 cc. ont été suffisants pour réduire de 46% la vitesse d'infiltration.

Dans le no. 7, l'imbibition est encore plus difficile, puisque le tronçon a b correspond à 14 h., la vitesse moyenne dans le tronçon b c

se réduit à 8 cc. et, au bout de 9 h. et 70 cc. d'eau passés, elle descend jusqu'à 3 cc., soit une diminution de 62,5%; après 36 heures et 150 cc. d'eau passés, elle est égale à 1 cc., soit une diminution de 87,5%. La structure est donc ici encore plus instable et la seule présence de l'eau suffit à la détruire.

Dans le no. 14, le tronçon a b correspond à 4 h., la vitesse moyenne dans le tronçon b c est de 169 cc. et, au bout de 30 h. et 40 cc. d'eau passés, elle s'abaisse à 31 cc.; la structure est donc peu stable et il semble que l'eau agit dans le sol comme agent mécanique, en raison de la faible teneur en argile (22% contre 56—62 dans le tirs et le hamri).

Dans le no. 11, la grande longueur du tronçon a b montre que la vitesse de pénétration de l'eau et l'imbibition sont faibles (84 h.) ainsi que la vitesse d'infiltration, qui a été complètement arrêtée au bout de 56 h.; le colmatage est complet, en raison du peu de stabilité des agrégats.

Ces chiffres, qui indiquent les variations de la vitesse d'infiltration, permettent de tirer quelques conclusions pratiques sur la perméabilité des sols examinés. C'est ainsi qu'on en peut déduire que les no. 3 et 9 restent pratiquement perméables et que leur pouvoir filtrant ne dépend que de la porosité et de la nature physico-chimique des particules. Dans le cas du no. 3, la porosité est moyenne (38%) alors qu'elle est plus faible (22%) dans le no. 4, où il y a destruction des agrégats et colmatage des canalicules, le sol est moins perméable. De même dans le no. 14, où la perméabilité doit diminuer avec le temps. Dans le no. 7, la porosité est plus élevée (26%) mais l'instabilité de la structure rend ce sol peu perméable et, dans le no. 11, il est presque imperméable.

Il en résulte, qu'au point de vue de l'irrigation, l'on pourra appliquer des quantités d'eau assez abondantes dans les no. 3 et 9 sans craindre la destruction de la structure, l'évacuation de l'eau sera déterminée par la porosité, alors que dans les stations no. 4, 7, 14 il semble, au contraire, que l'on ne devra utiliser que de faibles modules d'eau et une plus grande fréquence; on pourra ainsi conserver intacte la structure du no. 14, dans le no. 4, et surtout dans le no. 7, l'eau séjournera longtemps à la surface avec des risques de pertes par évaporation.

Capillarité. — Le tableau ci-joint (XV) résume les résultats de la mesure de la capillarité de deux sols de Sidi-Slimane (couches supérieures des no. 3 et 7) mesure effectuée selon les méthodes classiques entre 15 minutes et 36 heures. Les chiffres, qui représentent l'épaisseur de terre mouillée à un moment déterminé, semblent indiquer que la capillarité est plus grande dans le tirs que dans le hamri.

Tableau XV

Stations	15'	30'	60'	2 h.	5 h.	8 h.	22 h.	46 h.
	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
No. 3 10—40 cm . . .	37	55	74	96	132	162	276	315
No. 10 en (0—10) . . .	44	66	93	120	180	274	370	395

Fissuration. — Le retrait des sols, ou propriété de contraction et de fissuration, est aussi en relation avec la stabilité des agrégats. Pour en déterminer la valeur et la nature, nous avons appliqué, d'abord la méthode adoptée à la Station Expérimentale Agricole de Modène, et qui consiste à triturer 40 gr. de terre dans 40 cm<sup>3</sup> d'eau distillée bouillante, jusqu'au moment où la masse devient fluide et homogène, puis à la verser dans des boîtes de Pétri où on la laisse sécher à l'air et à mesurer ensuite le volume des fissures. En outre, et pour nous rapprocher davantage des conditions naturelles, nous avons placé directement dans les boîtes de Pétri un échantillon de terre que nous avons arrosé ensuite avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'il n'en absorbe plus, puis nous avons ajouté un excès d'eau tel que le rapport entre les quantités de sol et d'eau soit le même que dans la méthode italienne. Enfin, nous avons répété les mêmes essais avec des échantillons privés de leur matière organique par un traitement préalable à l'eau oxygénée.

Les échantillons traités par la méthode italienne ont un aspect uniforme et forment des blocs de forme anguleuse; les chiffres qu'ils ont fournis ont une valeur plus conventionnelle que réelle, mais ils conservent cependant un intérêt comparatif (tableau no. XVI).

Tableau XVI

Stations	Profondeur	Volume des vides
	cm.	(en %)
No. 11. . . . .	0—50	26.3
	50—100	26.3
	150—200	33.7
	380—400	37.9
No. 1 . . . . .	0—40	27.4
	40—80	38.4
No. 9 . . . . .	0—50	39.5
	50—100	31.6

h.	22 h.	46 h.
m.	m/m	m/m
2	276	315
4	370	395

le contraction  
des agrégats.  
liqué, d'abord  
e de Modène,  
l'eau distillée  
et homogène,  
cher à l'air et  
our nous rap-  
placé directe-  
e nous avons  
absorbe plus,  
re les quanti-  
enne. Enfin,  
rivrés de leur  
végénée.

me des vides  
(en %)

26.3
26.3
33.7
37.9
27.4
38.4
39.5
31.6



Fig. 1



Fig. 2

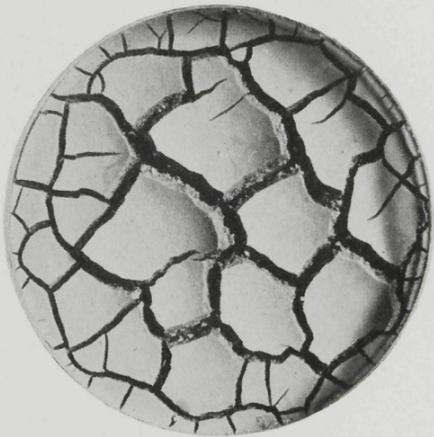


Fig. 3

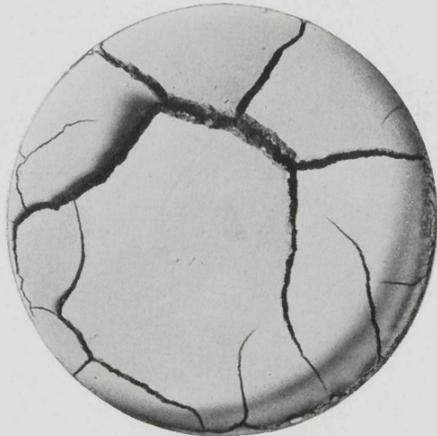


Fig. 4

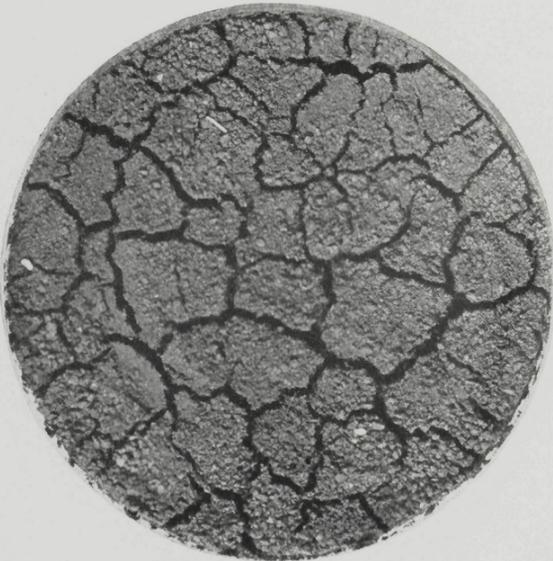


Fig. 5

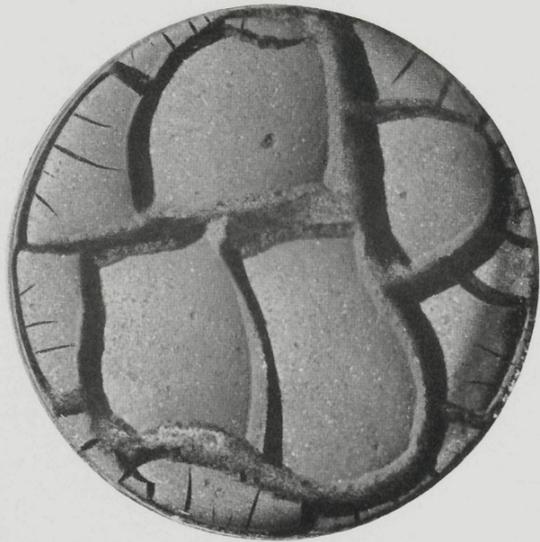


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

**Légende**

- Fig. 1. St. n° I (0-40)
  - Fig. 2. St. n° I (40-80)
  - Fig. 3. St. n° I (80-120)
  - Fig. 4. St. n° I (120-160)
  - Fig. 5. St. n° I (0-40)
  - Fig. 6. St. n° I (0-40)
  - Fig. 7. St. n° II (0-50)
  - Fig. 8. St. n° II (0-50)
- Soil traité par la méthode Italienne.
- Soil traité par la méthode élaboré au Centre de Recherches Agronomiques (voir le texte).
- La même méthode mais traité préalablement par H<sup>2</sup>O<sup>2</sup> donc dépourvu de la matière organique.
- Soil traité par la méthode de la Station.
- Soil traité par la méthode Italienne.

La méthode modifiée semble donner des résultats plus suggestifs. C'est ainsi que deux échantillons de sol prélevés, l'un à 0,40 et l'autre à 80—120 cm., forment, après traitement, de petites plaques irrégulières, séparées par des fentes étroites dans lesquelles on distingue nettement les petits agrégats primitifs ayant résisté à l'action de l'eau, le sol a repris sa structure et ces résultats concordent parfaitement avec ceux que nous avons rappelés précédemment et qu'indiquent les graphiques ci-joints: d'autre part, si l'on compare les agrégats „synthétiques“ ainsi obtenus, avec les agrégats naturels, on voit que les premiers reproduisent les seconds.

Les essais effectués sur les mêmes sols dépourvus de leur matière organique ont donné des résultats différents, on a obtenu alors de grandes plaques, séparées les unes des autres par de larges espaces, et dans lesquelles on ne distingue plus les agrégats primitifs, ce qui montre bien l'action bienfaisante qu'exerce l'humus — même peu abondant — sur la structure, en diminuant la contraction des terres.

Dans le no. 11 (à 0 m. 50) le sol, sous l'action de l'eau, a perdu sa structure et l'on ne distingue plus les petits agrégats primitifs, qui ont été comme fondus, ceux qui ont été obtenus sont aussi compacts et anguleux et ont de plus grandes dimensions que ceux du hamri, les fentes qui les séparent sont plus grandes<sup>1)</sup>.

La mesure des fissures indique que le no. 3 possède une force de contraction plus grande que le no. 11, et plus petite que le no. 9, mais la stabilité de sa structure intervient également et puissamment (v. photog. jointes).

Eau du Sol. — Le tableau no. XVII groupe quelques données concernant l'eau du sol, notamment celles relatives à l'humidité rapportée à la matière humide et à la matière sèche, l'hygroscopicité maximum, le coefficient de flétrissement et la capillarité ralentie (p.m).

Nous avons cherché surtout à déterminer les limites inférieures de l'eau utilisable par la végétation, limite qui est indiquée par la valeur de l'eau hygroscopique.

Le taux l'humidité — rapporté à la matière humide ou sèche — est plus élevé dans la Station 3 que dans toutes les autres, où il est d'ailleurs peu variable; en outre, il diminue généralement au fur et à mesure que la profondeur s'accroît, mais cette réduction est irrégulière dans son importance et dans son allure, selon les stations considérées, progressive et relativement forte dans le no. 3 (11,6% à 0—40 cm. et

<sup>1)</sup> Dans les deux cas, les grands blocs naturels ont été légèrement broyés avant de les placer dans les boîtes de Pétri.

Tableau XVII

			h	H	C.F.	C.R.
Hamri	Station 3	0—40	11.6	9.0	13.5	17.6
		40—60	11.2	9.9	14.8	19.2
		80—120	9.8	7.4	11.1	14.1
		120—160	8.2	6.7	10.1	13.4
		160—200	4.8	3.9	5.8	7.5
	Station 5	0—60	7.5	8.1	12.1	15.1
		60—100	12.0	4.2	6.3	8.2
		100—150	3.9	4.4	6.6	8.6
		200—220	5.2	3.8	5.7	7.4
		340—360	2.3	2.6	3.9	5.1
Tirs	Station 7	0—50	9.2	2.6	4.0	5.2
		50—100	8.3	2.2	3.3	4.3
		150—200	8.6	2.1	3.2	4.2
		250—300	8.3	2.6	3.8	4.9
	Station 8	0—50	8.8	2.5	3.7	4.8
		50—100	6.2	1.5	2.3	3.0
		150—200	7.4	2.1	3.2	4.2
		200—240	8.0	2.1	3.2	4.2
	Station 9	0—50	8.7	2.6	4.0	5.2
		50—100	8.9	2.6	3.9	5.1
		200—250	6.4	2.1	3.2	4.2
		370—380	8.2	2.3	3.5	4.5

h = humidité.

H = hygroscopicité.

C.F. = coef. de flétrissement.

C.R. = point de la capillarité ralentie.

4,8% à 160—200 cm.) elle reste élevée mais plus désordonnée dans le no. 5 (7,5% à 0—60, 12,0% à 80—100 cm. et 2,3% seulement à 240 à 260 cm) faible et régulière dans le no. 4 (8,7% à 0—60 cm., 5,5% à 80—120 cm. et 7,5% à 120—200 cm.) insignifiante dans le no. 8 (8,8 à 0,60 et 8% à 200—240 cm.).

L'hygroscopicité maximum est encore plus différente d'un sol à l'autre très élevée et très stable dans les no. 7, 8 et 9 (2,6 et 2,5% à 0—60 cm. contre 2,6, 2,2 et 2,3% à 200—340 ou 250—300 cm.) elle est

beaucoup plus importante et variable dans le no. 5 et le no. 3, où elle passe de 8,1 ou de 9% en surface, à 2,6 ou 3,9% en profondeur.

Le coefficient de flétrissement affecte évidemment une allure parallèle, c'est-à-dire qu'il est généralement moins élevé en profondeur, plus faible et plus uniforme dans les stations 7, 8 et 9, beaucoup plus fort et irrégulier dans les no. 3 et 5, où il atteint respectivement 12,2 et 13,5% à 0—60 cm., pour descendre à 6,6 et 10,5 à 100—150 cm., puis à 3,9 et 5,8% au-dessous de 2 mètres.

Quant au point de capillarité ralentie (p. m) il subit des variations de même ordre.

Ainsi, l'eau hygroscopique présente de grandes différences entre les tirs et les hamri, son taux, élevé dans ces derniers, a pour conséquence un coefficient de flétrissement très important (jusqu'à 15) qui, d'autre part, varie avec la profondeur, puisqu'à 2 m. il descend jusqu'à 6. Dans les tirs, au contraire, ce coefficient de flétrissement est peu élevé (4) et reste constant dans tout le profil.

On observe des variations de même nature dans les valeurs du point de capillarité ralentie (p. m) qui représente, comme on le sait, le taux d'humidité au-dessous duquel les plantes éprouvent déjà de la difficulté à assurer leur approvisionnement en eau.

D'autre part, dans le hamri, l'humidité trouvée par les mesures directes se rapproche de l'hygroscopicité maximum, toute l'eau capillaire a disparu, alors que, dans les tirs, elle est supérieure (9,6—10%) à la teneur en eau correspondant au point de capillarité ralentie.

Il en résulte que les premiers (hamri) contiennent moins d'eau disponible pour les plantes et que, toutes conditions égales, celles-ci ont plus de facilité pour trouver l'eau en profondeur que dans les couches supérieures. Dans les tirs au contraire, l'eau disponible est répartie uniformément dans tout le profil et est plus aisément utilisable par la végétation.

En résumé, du point de vue des propriétés physiques des différents sols étudiés, on peut dire que le hamri est plus argileux que le tirs, qu'il garde mieux sa structure sous l'action de l'eau, et que sa porosité est plus grande que celle des tirs, qui, par contre, conservent mieux l'eau disponible.

### Propriétés chimiques

L'analyse chimique n'a pu, faute de temps, porter sur les divers horizons de tous les profils, mais seulement sur quelques-uns d'entre eux; les résultats en sont résumés dans le tableau ci-joint:

Tableau XVIII

	Station No. 7		Station expérimentale de Sidi-Slimane			
	1	2	B	B 1		
Terre fine . . . . .	100.00	100.00	100.00	100.00	Sol	
Analyse physique (Résultats % de terre fine sèche)						
Sable grossier . . . . .	Calcaire . . . . .	—	—	2.10	2.12	1.63
	Siliceux . . . . .	27.95	28.75			5.87
	Total . . . . .	—	—			7.50
Sable fin . . . . .	Calcaire . . . . .	—	—			18.87
	Siliceux . . . . .	52.40	53.10	16.80	16.44	11.18
	Total . . . . .	—	—			30.05
Limon . . . . .	6.55	6.04	12.28	12.44	11.06	
Colloïdes . . . . .	argileux . . . . .	12.16	11.11	60.08	58.96	50.64
	humiques . . . . .	0.94	0.52	0.79	0.29	0
Matières organiques totales . . . . .	traces	0.48	1.35	1.35	0.75	
Calcaire total . . . . .	traces	traces	traces	traces	20.50	
Eau % de terre fine normale . . . . .	1.60	0.60	6.60	8.40	6.60	

## Analyse chimique (Résultats ‰ de terre fine sèche)

Réaction pH . . . . .	7.5	7.5	6.75	6.75	8.1
Besoin en chaux (en CaO) . . . . .	—	—	0.157		
Azote . . . . .	0.890	0.740	1.23		0.750
Acide phosphorique assimilable (P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> ) . . . . .	0.284	0.250	0.171		0.067
Potasse assimilable (K <sup>2</sup> O) . . . . .	0.485	0.855	0.306		0.545
Chlore (NaCl) . . . . .	0.119	0.118	0.175	0.117	0.125

Matière organique. — Comme on l'avait déjà vu précédemment, ces sols sont très pauvres en humus et exigent, de ce fait, un rapport abondant de matière organique, sous forme de fumier ou d'engrais vert, qui améliorera, en outre, leurs propriétés physiques.

Chaux. — La teneur en calcaire est le plus souvent insignifiante et imposera des chaulages successifs, indispensables au maintien de la structure comme à l'activité biologique de ces terres.

Azote. — Le taux d'azote atteint rarement l'unité et doit donc être considéré comme généralement insuffisant. Il devra être relevé, à la fois par une fumure organique de fond et par l'apport d'engrais azoté, de préférence le nitrate de chaux, qui ne risquera guère d'être entraîné dans ces sols relativement peu perméables, où, par ailleurs, la nitrification doit être peu active, et qui augmentera légèrement la teneur en chaux assimilable.

Acide phosphorique. — La teneur en acide phosphorique est également faible, d'où la nécessité certaine des engrais phosphatés, soit sous forme de superphosphate, soit de scories de déphosphoration, le premier tendant à diminuer la forte alcalinité de ces terres, les secondes apportant la chaux insuffisante.

Potasse. — Le taux de potasse assimilable est élevé et rend superflu l'apport de cet élément.

Chlorures. — Tous ces sols sont caractérisés par une faible proportion de chlorures, mais il ne faut pas oublier qu'elle est susceptible de subir de fortes variations saisonnières et, qu'à la Station Expérimentale notamment, on a trouvé une teneur de 0,05%. De plus, l'eau d'irrigation contient elle-même 0,04% de sel et il ne sera peut-être pas inutile de prévoir un plâtrage, à effectuer de préférence sur les cultures de légumineuses.

#### Bibliographie sommaire

1. Lecointre, Thèse de doctorat. Rech. Geolog. dans le Meseta Maroc. Bourcart, Note sur les sols marocains. Bull. Soc. Sc. Nat. Maroc., Mars 1932 etc. . . — 2. Cosnier, L'Afrique du Nord. Paris 1922. — 3. Chauveau, Contribution à l'étude de la nature des sols Marocains. Congrès A. F. A. S., Rabat 1934. — 4. L. Gentil, Maroc Physique. Paris 1912. — 5. L. Emberger et Zaborski, La transformation des grès de Rabat en sol Climatique. Bull. Soc. Sc. Nat. Maroc Rabat Tome TVIII, no. 7—9, 1928. — 6. Melle Malycheff et Gros, Recherches sur les sols du Maroc. Publ. Inst. Scientif. Chérif. — Melle Malycheff, Contribution à l'étude des sols du Maroc Occidental. Sol brun formé aux dépens des hamri. C. R. A. S., no. 26—28, XII, 36. — 8. G. Carle, Etude sur les sols marocains, leur classement, leur histoire et leur mise en valeur 1927. Edition de la Terre Marocaine. — 9. G. Carle, Etude sur les sols morocains. Revue de Bot. Appliquée

et d'Agriculture Tropicale. Paris, vol. 10, 1930, no. 101—102. — 10. G. Carle, Troisième étude sur les sols marocains. Considération sur la formation des sols en régions arides et semi-arides. Bull. de la Société des Sc. Naturelles du Maroc, Tome XII, no. 1—3. 31. III. 1932. — 11. A. Mercier, Remarques sur l'évolution des sols dans la région de Casablanca. Géographie Marocaine ? XVIII<sup>e</sup> année, no. 1, I ? 1934. — 12. E. Miège, Influence de la nature du sol dans la composition et la valeur boulangr. du Blé. C. R. Congrès inter. Fédérat. des Sélectionneurs, Bruxelles, Août 1935. — 13. E. Miège, Etude du bilan de l'eau et des éléments fertilisants dans quelques sols types du Maroc. Ann. Agron., no. 3, Paris 1937. — 14. Demolon, Les colloïdes et la fertilisation du sol. Ann. Agronom., Paris, Janvier 1929. — 15. Demolon, La Dynamique du sol. Dunod, Paris 1932. — 16. Garola, Contribution à l'étude physique des terres. Chartres 1903. — 17. Protalongo, Idrologia della Bonifica integrale Idrologia Vegetale e agrari (en italien). Firenze 1936. — 18. Draghetti, Annali della R. Stazione sperimentale agraria di Modena, VIII 1932/34 (en italien). — 19. S. Hénin, Idées actuelles sur l'eau du sol et ses rapports avec les plantes. Ann. Agron. Paris no. 5, 1936 ? — 20. Guedroitz, Le complexe absorbant du sol et son importance agronomique. Ann. Agron., Paris 1933, no. 2. — 21. Poliakov, Les éléments de pédologie appliquée à l'amélioration des sols. Moscou 1933 (en russe). — 22. Russel, Soil conditions and Plant growth. London 7<sup>e</sup>, ed. 1934 (en anglais). — 23. Marshall, Colloids in agriculture. London 1931 (en anglais).

## **Dispersion Agents in Mechanical Analysis**

(Substances dispergeantes dans l'analyse mécanique du sol. — Dispergierende Stoffe bei der mechanischen Bodenanalyse)

by

**A. Reifenberg and L. Brisk**

(Soil Science Laboratory, Hebrew University, Jerusalem)

The aim of all preliminary treatments in the mechanical analysis is the maximum dispersion of the soil. To this end, in addition to different mechanical and chemical treatments, e. g. mechanical shaking, and destruction of carbonates and organic matter, (A method), or boiling the soil (B method), the I. Commission of the International Society of Soil Science has recommended the use of stabilisers in the A method. In the first place, ammonia was recommended as a suitable stabiliser, but recently Robinson (1, 2) has pointed out the strong dispersive action of NaOH.

At the basis of the present investigation rests the assumption that the differences between stabilisers cannot be studied in a system which is subject to complication by factors (e. g. H-clay), formed during the decomposition of carbonates and organic matter. Therefore, in our experiments Bolus alba pulv. subt., Fa. Riedel, which is practically free of carbonates and organic matter, and constitutes an easily accessible material for experimental work, was used.

Numerous papers deal empirically with the different dispersive effect of ammonia and NaOH, but do not consider the theoretical basis of the dispersion process. The present investigation seeks to fill this lack. Adsorption experiments, mechanical analysis by the pipette method and the cataphoretic method, viscosimetric and extinciometric methods, are all utilized to support the theoretical considerations presented. It may be anticipated at this point that in our opinion the differences in behaviour between ammonia and caustic soda solutions find an easy explanation on the basis of Wiegner's concepts, when the significant differences in the degree of dissociation of ammonia and sodium-hydroxide are kept in mind.

I. Theoretical

It has been shown by the investigations of Wiegner's School that the stability of a system is in general dependent:

1. upon the quantity of the adsorbed inner ions, and
2. upon the distance between the ions in the inner and outer layers, i. e. upon their degree of hydration.

The larger the number of adsorbed inner ions and the greater the distance between the inner and outer layers, the higher is the potential and the greater is the stability. (In our case, special factors such as the influence of solution products and valence may be disregarded.)

The quantity of adsorbed inner ions from equimolar solutions of NaOH and NH<sub>4</sub>OH will first be considered. The number of these adsorbed ions will naturally depend in the first instance upon the number of OH-ions in the solution from which they are adsorbed. Whereas NaOH is practically completely dissociated, the relationship in the case of ammonia is different. The basic nature of NH<sub>3</sub> can most easily be explained on the assumption that NH<sub>4</sub>OH is always formed in a minimum quantity which subsequently dissociates. But since only minimum quantities of NH<sub>4</sub>OH are formed, ammonia belongs to the weaker bases, and evinces a very slight apparent dissociation constant ( $1.75 \cdot 10^{-5}$  at 18°). Consequently, equimolar solutions of NaOH and NH<sub>4</sub>OH show considerable difference in respect to the quantity of their free OH-ions. The following table may elucidate this point.

Dissociation of Sodium Hydroxide and Ammonia  
Concentration

	$\frac{n}{1}$	$\frac{n}{10}$	$\frac{n}{100}$	$\frac{n}{1000}$	
NaOH . . . .	770	89	9.5	0.98	mg OH-ion equ. per litre
NH <sub>4</sub> OH . . . .	4.2	1.3	0.42	0.13	mg OH-ion equ. per litre.

It is apparent that a n-NaOH solution contains 180 times more OH-ion equivalents than a normal NH<sub>4</sub>OH solution. A n/10 NH<sub>4</sub>OH solution contains slightly more OH-ion equivalents than a n/1000 NaOH solution.

Since, as will be seen later, the adsorption of OH-ions is practically complete to a certain optimal concentration, it is clear, why equimolar solutions of NaOH are stronger stabilisers. On the other hand, the resistance to coagulation in the case of ammonium hydroxide is consi-

derably stronger, and here much greater additions are necessary in order to load the inner layer to full capacity with OH-ions.

We may now consider the second stabilising factor, i. e. the distance between the inner and outer layer, which is conditioned by the hydration of the adsorbed ions. It may be noted that following the Wiegner School we emphasize hydration differences between ions rather than their degree of polarisation, which latter is stressed by Bär and Tendeloo (3). In our opinion, as will be shown below, the former view constitutes a better working hypothesis.

Wiegner and collaborators have shown that the adsorption of inner ions is larger, the smaller their hydration. Strong hydration of inner ions tends to lessen their adsorption, to lower the potential, and in this way to decrease the stability. On the other hand, the hydration of the ions leads to an increase in the distance between the inner and the outer layers, which tends to increase the potential and also the stability.

Physico-chemical Constants of some Monovalent Ions

	H	Li	Na	K	NH <sub>4</sub>	Rb	Cs	OH
Hydration (in mols) . . . . .	0	120	66	16	17	14	13	1
Radius of water molecules (in Å units) . . . . .		2.6	1.9	1.0	1.1—1	0.9	0.8	0.16

We see therefore that OH-ions generally constitute an ideal stabilising agent for negatively charged systems, since, as a result of their low degree of hydration, they are adsorbed into the inner layer, thereby enhancing the potential. On the other hand, Na-ions which possess a large hydrodynamic radius, must in the outer layer be strongly stabilising and as such more effective than NH<sub>4</sub>. As a result of the specific characteristics of anion and cation, therefore, NaOH should be an ideal dispersion agent (Li, which is not utilized in practice, is not considered here).

The coagulating influence of NaOH, and NH<sub>4</sub>OH at a higher concentration can be explained on the assumption that after the complete loading of the inner layer with OH-ions, a further accumulation occurs in the outer ion layer, whereby the potential of the particles is lessened, since the centre of gravity of the outer swarm approaches more closely that of the inner swarm. On the other hand, Fodor's enhydron theory may constitute, here as well, a fruitful hypothesis. According to this theory (4), coagulation depends not only on the electric charge and consequent electrokinetic potential of the dispersed

particles, but also to a large extent upon the hydration layer which envelops them. According to Fodor, the adsorption of such substances is favoured which loosens the adherence of the hydration layer, thereby implementing desolvation. Since the hydration layer in coarse disperse systems, such as soil, is thin and easily loosened, the adsorbed electrolytes rapidly destroy the hydration layers, and correlatively with desolvation, gradually influence the aggregation. In general, it is inadvisable to depend exclusively upon electric factors for an explanation of coagulation. Wo. Ostwald (5), for example, has repeatedly emphasised that charge differences and dehydration as correlative processes, together condition this process.

## II. Experimental

### 1. The Adsorption of OH-ions.

According to Wiegner (6), the disappearance of NaOH,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , etc. may usually be explained by assuming that H-ion is neutralized by OH-ion in the exchange gel, and that the cation of the hydroxide replaces the H-ion. Where ion layers have formed around the ultra-microns, and a maximum electrokinetic potential has developed, the loading of the inner swarm is complete, and the OH-ion adsorption occurs only to a very small though demonstrable degree. The OH-ions of the inner swarm are not exchangeable, since not only Coulomb forces, but also secondary valencies, lattice forces, etc., hold these ions in place after adsorption.

The degree of H-ion adsorption was determined by measuring the H-ion concentration of the centrifugate after adsorption. In each case, 5 g of Bolus were shaken with 125 cc of solution, and allowed to stand 24 hours. As a result of the contaminating influence of  $\text{NH}_4\text{OH}$ -ions, electrometric measurements were impossible, and colorimetric methods had to suffice. These, however, give results which are sufficiently accurate in practice, if the observations, particularly those in the strongly alkaline zone, (Phenolphthalein, Alizarin yellow and Tropäolin), are carried out immediately after the preparation of the comparison solutions. The  $n/10000$  solutions give the least reliable results, since the influence of atmospheric carbon dioxide cannot be altogether eliminated.

The adjoining table shows, that at slight concentrations of hydroxide ions, the adsorption of this ion is almost complete. In the case of NaOH, we see clearly that maximum adsorption, i. e. the maximum loading of the inner layer with OH-ions, occurs at  $n/10$ . It is noteworthy that

Table 1  
The Adsorption of OH-Ions by Bolus

1. Adsorption experiments with NaOH

Measurement of solution				Measurement of centrifugate after adsorption			
Normality of solution	pH	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup> · 10 <sup>-4</sup>	pH	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup> · 10 <sup>-4</sup>	adsorbed OH <sup>-</sup> · 10 <sup>-4</sup>
0.0001	8.7	2.10 · 10 <sup>-9</sup>	0.04	8.5	3.16 · 10 <sup>-9</sup>	0.02	0.02
0.001	10.8	1.59 · 10 <sup>-11</sup>	4.65	9.3	5.02 · 10 <sup>-10</sup>	0.15	4.50
0.002	11.1	7.94 · 10 <sup>-12</sup>	9.32	9.6	2.51 · 10 <sup>-10</sup>	0.29	9.03
0.004	11.6	2.51 · 10 <sup>-12</sup>	29.48	10.8	1.59 · 10 <sup>-11</sup>	4.65	24.83
0.01	11.95	1.12 · 10 <sup>-12</sup>	66.07	11.0	1.00 · 10 <sup>-11</sup>	7.40	58.67
0.1	12.9	1.26 · 10 <sup>-13</sup>	587.20	12.85	1.41 · 10 <sup>-13</sup>	524.80	62.40

2. Adsorption experiments= with NH<sub>4</sub>OH

Measurement of solution				Measurement of centrifugate after adsorption			
Normality of solution	pH	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup> · 10 <sup>-4</sup>	pH	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup> · 10 <sup>-4</sup>	adsorbed OH <sup>-</sup> · 10 <sup>-4</sup>
0.0001	8.7	2.00 · 10 <sup>-9</sup>	0.04	6.9	1.26 · 10 <sup>-7</sup>	0.0006	0.04
0.001	9.6	2.51 · 10 <sup>-10</sup>	0.29	8.8	1.59 · 10 <sup>-9</sup>	0.047	0.24
0.002	9.75	1.78 · 10 <sup>-10</sup>	0.41	9.3	5.02 · 10 <sup>-10</sup>	0.147	0.26
0.004	10.0	1.00 · 10 <sup>-10</sup>	0.74	9.6	2.51 · 10 <sup>-10</sup>	0.298	0.44
0.01	10.3	5.02 · 10 <sup>-11</sup>	1.47	9.75	1.78 · 10 <sup>-10</sup>	0.41	1.06
0.1	10.9	1.26 · 10 <sup>-11</sup>	5.87	10.8	1.59 · 10 <sup>-11</sup>	4.65	1.22
1	11.6	2.51 · 10 <sup>-12</sup>	29.48	11.4	3.98 · 10 <sup>-12</sup>	18.95	10.53

at this concentration, also, complete coagulation occurs, as will be shown. Beyond this concentration, practically no further adsorption occurs.

Because NaOH is practically completely dissociated, as has already been pointed out in the theoretical part, many more OH-ions are adsorbed from NaOH than from NH<sub>4</sub>OH solutions of equal concentration. It has already been indicated that this relationship not only explains the greater "tolerance" of clay suspension to ammonia, but also shows why NaOH exerts a peptising action in much lower concentrations.

2. The Peptisation of Bolus by NaOH and NH<sub>4</sub>OH.

The adjoining table presents the different values for particle size between 1 μ and 2 μ obtained by the pipette analysis and by the cataphoretic method after use of various concentrations of NaOH and NH<sub>4</sub>OH

Table II  
Effect of NaOH and NH<sub>4</sub>OH on Bolus, measured by Pipette-analysis, cataphoretic and viscosimetric methods

1. Effect of NaOH

Concentration of NaOH added n	Particles < 1 μ (Pipette analysis)	Particles < 2 μ (Pipette analysis)	Particles < 1 μ (Cataphoretic method)	Migration Velocity v in μ/sec per 1 Volt/cm	Zeta-Potential	Viscosity I	Viscosity II	Equiv.OH · 10 <sup>-4</sup> adsorbed
0						31.2	33.0	
0.0001	15.86	42.18	0.83	2.30	44.1	31.4	33.0	0.02
0.001	30.84	44.05	40.98	3.28	62.9	31.0	30.6	4.50
0.002	37.05	47.80	40.98	4.13	79.3	31.4	31.0	9.03
0.004	38.35	47.10	41.86	4.60	88.3	31.4	32.0	24.83
0.01	0	5.00	3.10	Coag.	Coag.	34.0	37.0	58.67
0.1	0	0	0	„	„	34.8	36.4	62.40

2. Effect of NH<sub>4</sub>OH

Concentration of NH <sub>4</sub> OH added n	Particles < 1 μ (Pipette analysis)	Particles < 2 μ (Pipette analysis)	Migration Velocity v in μ/sec per 1 Volt/cm	Zetapotential	Viscosity I	Viscosity II	Equiv.OH · 10 <sup>-4</sup> adsorbed
0					31.2	33.0	
0.0001	33.75	45.37	2.29	43.9	30.8	30.8	0.04
0.001	34.50	46.01	3.28	62.9	30.6	30.2	0.24
0.002	35.00	46.25	3.28	62.9	31.0	32.4	0.26
0.004	36.00	47.50	3.28	62.9	30.8	30.4	0.44
0.01	36.62	48.30	3.83	73.5	30.6	30.0	1.06
0.1	36.00	49.30	3.28	62.9	30.6	30.6	1.22
1	33.00	48.75	2.29	43.9	34.8	36.4	
2	3.50	26.94	0.15	2.9			
4	3.37	26.25	Coag	Coag			

for dispersion. This table also gives the migration velocities, i. e. the zeta potential (for comparative use), observed. In addition, the initial viscosity (visc. I) obtained immediately after the preparation of the mixture, and the viscosity value after 30 mins, (visc. II) are submitted.

a) Peptisation measurements using the pipette apparatus. The values were obtained by boiling a 4% suspension (10 g Bolus and 250 cc electrolyte solution) for half an hour under the reflux condenser, and subsequent measurement according to the pipette analysis

method. (The results are corrected for the amount of NaOH added.) It is seen that a stronger peptisation is the rule with sodium hydroxide than with ammonia. The peptisation maximum in the case of sodium hydroxide for particles under  $1 \mu$  is at 0.004 n. In the case of ammonia much higher concentrations are necessary to bring about coagulation. Even at a concentration of 4 n, coagulation is not yet complete. This is the above mentioned "tolerance" of the particles against coagulation by ammonia. The peptisation maximum here lies at a concentration of about 0.01 n.

It is clear, on the one hand, that NaOH causes the strongest peptisation, but also on the other hand, that using this reagent, the threshold value of coagulation is attained very rapidly even in 0.01 n solutions. Though Bolus is by no means comparable to soil, it may be pointed out in this connection that according to the suggestion of Robinson (1, 2), 10 g of soil should be treated with 500 cc of 0.008 n sodium hydroxide solution.

b) Cataphoretic experiments. The cataphoretic experiments were conducted according to the method described by us (7). In this case, however, boiling under the reflux condenser was only continued for half an hour. This occasion may be taken also to correct an error that crept into our former paper. The mass (M) of the migrating substance depends 1. upon the concentration of the colloid in the suspension under investigation ( $C_B$ ); 2. upon the migration time (t), and 3. upon the electrokinetic potential, which corresponds to the migration velocity. The following mathematical relationship for the colloidal quantity which moves out of an unknown suspension, may be formulated:

$$M = \frac{1}{f} \cdot C_B \cdot t \cdot v.$$
 If t (2 hours) and v (which depends upon the charge, i. e. upon the concentration of NaOH) are constant,  $M = \frac{1}{f} \cdot C_B$ . Since  $C_B$  depends upon the colloid content (K) of the soil and inversely upon the dilution (x) of the soil suspension,  $C_B = \frac{1}{x} \cdot K$  or  $K = f \cdot x \cdot M$ , i. e. the quantity of migrating colloid is directly dependent upon the colloid content of the soil. Although in earlier experiments (7), the optimum NaOH solution was found to be n/500, this time the optimum was found at n/250.

In the case of sodium hydroxide, a strict parallelism was shown between maximum peptization, colloidal content as measured by the cataphoretic method, and the migration velocity, i. e. the electrokinetic potential (as measured in Michaelis' [8] apparatus). The values

obtained for particles of less than  $1 \mu$  in the cataphoretic experiments, however, are higher than those obtained by the pipette method. This fact has already been attributed by us to the circumstance that the particles are subject to an electric field which prevents their perikinetic coagulation (7).

In the case of ammonia, as well, it was found by us, as was to be expected, that the strongest peptisation (particles less than  $1 \mu$ ) was concomitant with the highest electrokinetic potential.

c) Coagulation experiments. In order to study the influence of time upon the coagulation brought about by concentrations above the threshold value, use was made of the extincitometric (nephelometric) method, previously described by us (7). This method largely eliminates subjective errors. The figures given in the tables represent percentages of light transmission, which steadily increases with the progress of the coagulation. It may be noted in this connection that a light transmission of 90% corresponds to practically complete coagulation. Visually such a solution differs but little from that of a clear solution.

Table III  
Nephelometric Coagulation Experiments (Light Transmission in %)

Time in hours	NaOH		NH <sub>4</sub> OH		
	0.01 n	0.1 n	0.01 n	0.1 n	0.5 n
0	1	1	2	1	2
2	1	38	2	1	2
4	1	68	2	2	3
18	2	80	6	5	—
24	5	90	8	5	51

Here again, we see that, once the threshold value is reached, NaOH causes coagulation more quickly and more completely than NH<sub>4</sub>OH. Even after 24 hours, the Bolus suspension in 0.5 NH<sub>4</sub>OH showed a 51% light transmission, whereas in 0.10 n NaOH, coagulation was already practically complete. 0.1 n ammonia solution, however, by no means led to anywhere near complete coagulation. The endpoints for the n/100 solutions confirm other methods in showing that coagulation is still incomplete.

### III. Viscosity Measurements

We made use of an Ostwald viscosimeter which had an efflux time for water of 28 seconds at 13°. The suspensions for investigation were prepared by boiling 10 g of Bolus for half an hour with 250 cc of water. In order to separate the coarser particles, the solution was

then allowed to settle for half an hour. The supernatant suspension used for the measurements had a concentration of 3.92%. To each 9 cc of suspension, 1 cc of electrolyte solution was added in order to attain the desired normality. The viscosity was measured at intervals of 5 mins. at a temperature of 13°. It was found that after half an hour, a maximum viscosity was obtained.

Table IV  
Viscosity Values of Bolus suspended in NaOH. (Efflux Time in seconds)

Time in mins	Normality of NaOH solutions							
	0	0.0001	0.001	0.002	0.004	0.01	0.1	1
0	31.2	31.4	31.0	31.4	31.4	30.8	34.0	34.8
5	31.2	32.8	31.0	31.4	31.4	30.8	36.0	36.4
10	31.8	32.8	31.0	31.4	31.6	30.8	36.0	36.4
15	32.0	33.0	30.6	31.0	32.0	30.6	36.0	36.4
30	33.0	33.0	30.6	31.0	32.0	30.6	37.0	36.4

Viscosity Values of Bolus suspended in NH<sub>4</sub>OH (Efflux Time in sec.)

Time in mins	Normality of NH <sub>4</sub> OH solutions						
	0.0001	0.001	0.002	0.004	0.01	0.1	1
0	30.8	30.6	31.0	30.8	30.6	30.6	34.8
5	30.4	30.4	30.8	30.6	30.6	30.6	36.4
10	30.4	30.4	30.6	30.6	30.4	30.6	36.4
15	30.4	30.4	30.6	30.6	30.6	30.6	36.4
30	30.8	30.2	30.4	30.4	30.0	30.6	36.4

The viscosity values for caustic soda correspond to the curve slopes given among others by Bayer (9), and Jenny (10). For purposes of simplicity, we will consider only the end values. When no electrolyte or so little electrolyte as could not inhibit the spontaneous aggregation of the system was added, a high viscosity value was found. This is due we think, to the fact that the formation of large aggregates interferes with the flow through the capillary. At larger concentrations of electrolyte (0.001 n), spontaneous aggregation is inhibited. From 0.002 n onwards a strong peptisation of particles, accompanied by a strong hydration, occurs. At 0.01 n, the hydration layer is done away with, but no aggregation sets in as yet. At larger concentrations, coagulation results, coarser particles form, and consequently maximum viscosity values are obtained. We may point out, however, that Bayer (9), departing from this point of view, is of the opinion that

the high viscosity after coagulation is due to the "enmeshed water" present in the particles.

The viscosity relations in the case of ammonia, are in principle similar, though here only the large increase of viscosity at the beginning of coagulation is characteristic. At other points, the viscosity values are too near the range of error to allow of final conclusions.

#### Summary

The different effectiveness of NaOH and  $\text{NH}_4\text{OH}$  in the stabilisation and coagulation of Bolus-suspensions are attributed primarily to the great differences in the dissociation of these two substances. At the same time, the high charging and dispersing effects of NaOH in optimal concentration as compared with  $\text{NH}_4\text{OH}$  are considered in relation to the large hydrodynamic radius of sodium ion. In correspondence to this relationship, demanded by theoretical considerations, NaOH shows a stronger adsorption of OH-ions. Both pipette analysis and cataphoretic measurements confirm the view of Robinson and others that NaOH has a stronger dispersive effect than  $\text{NH}_4\text{OH}$ . In correspondence with these measurements, NaOH also showed a higher electrokinetic potential. Viscosity relations are discussed, and in the case of NaOH it is shown that maximum peptisation is concomitant with maximum charge and hydration. The steep rise in the viscosity value after coagulation is attributed to the interfering influence of the large particles formed.

Further investigations should serve to elucidate these relationships in actual soil suspensions.

#### References

1. Imperial Bureau of Soil Science, Techn. Commun., No. 26 (London 1933).
- 2. G. W. Robinson, Trans. I. Comm. of the Int. Soc. of Soil Science, p. 13 and sq. Paris 1934.
- 3. A. L. S. Bär and H. J. C. Tendeloo, Koll. Beih., 44, p. 97 and sq., 1936.
- 4. A. Fodor, Die Grundlagen der Dispersoidchemie (Dresden and Leipzig 1925).
- 5. Wo. Ostwald, K. Z., 26, p. 79 and sq., 1919; 32, p. 10 and sq., 1923; 40, p. 201 and sq., 1926.
- 6. G. Wiegner, Mitt. a. d. Gebiete d. Lebensmitteluntersuchung und Hygiene, 22, 327 and sq., 1931.
- 7. A. Reifenberg, Zeitschr. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk., A, 21, p. 138 and sq., 1931.
- 8. L. Michaelis and A. Domboviceanu, K. Z., 34, p. 322 and sq., 1924.
- 9. L. D. Bayer, Univ. of Missouri, Agric. Exp. St. Research Bull., 129 (Columbia 1929).
- 10. H. Jenny, Journ. of Phys. Chem., vol. 36, p. 2217 and sq., 1932.

## The Measurement of Soil Colours

(Messung von Bodenfarben — Mesure des couleurs du sol)

by

**J. R. H. Coutts**

Natal University College, Pietermaritzburg and Rothamsted  
Experimental Station, Harpenden, Herts

The quantitative measurement of colours in general is a problem involving difficulties of two kinds: it requires spectrophotometric apparatus of considerable complexity, and the interpretation of the results involves psychological and physiological considerations dependent upon the variable response of observers to a given stimulus and upon the well known fact that different stimuli give rise to the same sensation. The analysis of the subjective colour sensation has been a matter of controversy from the time of the Young-Helmholtz theory to the recent publications of Ostwald (8).

The particular problem of soil colours is restricted to a small region of the whole colour field, and the relatively small range of hues, tones,

Table I  
Wave Lengths of Dominant Hues of some Natal Soils  
(K. J. Proud)

Sample . .	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\lambda$ (A. U.).	5876	5903	5938	5898	5888	5868	5900	5900	5925	5904
Sample . .	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\lambda$ . . . .	5843	5839	5861	5919	5924	5881	5930	5914	5929	5936

These samples were obtained from four complete profiles, the uppermost horizons being Nos. 11, 16, 21, and 26. Details of the first three profiles (20/150, 20/153, and 20/181) with field descriptions of their colours have been published elsewhere (3). In determining the dominant hue a match with the soil "painted" on to paper and spun on the rotating disc (see below) was obtained by mixing homogeneous light from a wavelength spectrometer with white light from a Siemen's daylight electric bulb.

and tints involved has been pointed out by Bushnell (1). This narrow range of hues is illustrated by the data in Table I, in which  $\lambda$  represents the wave-lengths obtained with a Nutting spectrophotometer by K. J. Proud, at the Natal University College, for the dominant hues reflected by a series of Natal soils of which the field descriptions varied from dark grey to red and reddish yellow: the range of wave-lengths agrees closely with that found by workers on American soils.

Although absolute spectrophotometric measurements of soil colours have been undertaken by several workers (2, 9, 12) comparatively little progress has so far been made by this procedure, and most of the published work has dealt with comparative methods more suitable for routine measurements. These simpler methods may be divided broadly into two groups: those in which the soil colour is matched against standard colour atlases, and those based upon the Maxwell spinning top colour mixer.

Colour atlases have been prepared by Ridgway (10), Ostwald (8) and Tiuremnov (7), of which the second is the most readily obtainable<sup>1</sup>). The colour top recommended by the Americans who have been the chief contributors to this work (5, 11) is based upon the Munsell colour discs standardised by the United States Bureau of Standards, making use of four colour discs, Black Neutral (1/-), White Neutral (1/-), Red (4/9), Yellow (8/8).

Natal soils exhibit a particularly wide range of colours, and a small number of samples was selected with the object of determining the accuracy attainable by the above mentioned methods, and also with the tintometer. It may be mentioned that part of the work was done in Natal, and the remainder at the Rothamsted Experimental Station: but throughout the work the illumination was by 'daylight' electric lamps in an otherwise darkened room.

The Ostwald Colour Atlas. The design of Ostwald's colour standards is fully described in his "Colour Science". His scheme is based upon the admixture of neutral greys (or 'achromatic colours') with the 24 hues into which he divides the colour circle: the intervals between the tints being arranged as 'equivalent' in terms of Fechner's law. Thus, a series of 672 colours is provided, and the samples can be matched against these, with interpolation if necessary. In the notation used by Ostwald, a number denotes the hue in the colour circle, and two letters denote the proportions of white and black with which it

<sup>1</sup>) An accurate copy of Ostwald's colour plates is published by Messrs. Winsor & Newton, and sold for 25 s.

is mixed: over the range of hues with which we are concerned in soil measurements, the numbers (from about 2 to 7) represent a transition from yellow to red. Ostwald also provides data giving the numerical values of the white and black constituents. For example, a colour represented by the symbol 3 ng is a yellow hue mixed with 5.6 per cent. white and 78 per cent. black, and 4 pi is an orange hue mixed with 3.5 per cent. white and 86 per cent. black. In general, the lower in the alphabet is the first letter, the smaller is the proportion of white, and the lower the second letter, the greater is the proportion of black: in all cases,  $C + W + B = 100$  per cent. where W and B represent the amount of white and black mixed with the full colour C.

The matching of the soil colours against the colours of the atlas was carried out by bringing a smoothed surface of the soil as near as possible to the chart, upon which a grey card was placed to cover the colours adjacent to the one under examination. The matching process is not easy, on account of the differences in matt or gloss between the surfaces of the chart and the soil, and results appear to be subject to considerable personal errors. This is illustrated by the data in Table II, which shows the results obtained by thirteen independent observers, together with their comments: it is seldom that an exact match is attainable, and the validity of the interpolation is often doubtful. The Ridgway colours are also recorded.

The differences between individual observers are fairly small in assessing the tone (blackness) of the sample, but are serious in the assessment of tint (whiteness) and hue. To quote an extreme case for sample 11, observer C returned the values: Hue 6.5 (orange-red), White 8.9 per cent., Black 86 per cent., while for the same sample Observer D found: Hue 3 (yellow), White 3.5 per cent., Black 86 per cent. An approximate analysis of the errors can be made by examining the figures in the last three columns of Table II. The figures in the column headed C give the totals of the hues obtained for the 18 samples by each observer, their mean value being arbitrarily adjusted to 100, and corresponding figures for white and black are given in the columns W and B. To interpret these figures it should be remembered that if the errors were wholly randomised, each total would be 100, while large divergences from this value represent consistent differences in the observer's response to the stimuli.

On this basis, it will be seen that of the 13 observers, two (C and F) showed large consistent deviations, their judgement of the hues tending farther towards the red than the average; one (I) returned results with a fairly consistent tendency towards the yellow. One observer (C)

Table  
Colours of Natal Soils 11—30; Ridgway Colours (Observer M),

Ridgway Colour	11 Snuff Brown	12 Tawny Olive	13 Ochraceous Tawny	15 Light Buff	16 Dusky Drab	17 Vandyke Brown	18 Verona Brown	19 Tawny	21 Clove Brown	22 Natal Brown
A	3 ni	3 mf	3 le <sup>1)</sup>	2 fb	4 mk	4.5 ni	4 ni	4 le <sup>2)</sup>	4 nl	4 li
B	4 pi	3 mf <sup>4)</sup>	4 le	2.5 gc	4 nl	4 ok	4.5 ng	5 ng <sup>5)</sup>	4.5 kd	3 ok <sup>5)</sup>
C	6.5 li	4 kf	4 mf	3 fd	4 pl	4 ni	5 ni	6.5 ie	6 nl	3.5 pl
D	3 pi	3 ng	4 ke	2 fc	4 ol	4.5 oi	4.5 oi	4 mf	4 nl <sup>8)</sup>	4 pl
E	4 li	3 lg	3 mf	3 fd	4 nl	4 ni	4 pi	4 mf	3 nl	4 li
F	6 li	4 lg	4.5 mf	2 he	5.5 om	5.5 ok	5 oh	5 mf	6.5 om	7 ok
G	3 pi	3 ng	3.5 le	3 ie <sup>8)</sup>	3.5 pl	3 pl	4 pi	4 le <sup>9)</sup>	3 pl	3 ni
H	4.5 pl	3 pi <sup>12)</sup>	3 ng <sup>13)</sup>	2.5 ie	5.5 ol	5 ok	5.5 ni	4 ng	6 om	5.5 ne <sup>14)</sup>
I	3 pi <sup>17)</sup>	3 ng <sup>18)</sup>	3 le <sup>8)</sup>	3 ie <sup>8)</sup>	3.5 pl	3.5 ni	4 pi <sup>18)</sup>	4 mf	3 pl	3 ok
J	3 pi	3 kf	3 hd	2 ec	3.5 pl	3 pl	4 pi	4 mf	3 pl	4 pl
K	3 oi	3 ng	3.5 le	3 fd	4 pl	4 pk	4.5 ni	4 ng	3 pl	3 ni
L	3 pi	3 lg	3.5 ng	3 ie <sup>8)</sup>	4 pl	4 oi	4 pi	4 ng	4 nl	3.5 pl
M	4 ok	3 ng	3.5 le	2 hd	5 nl	4 pi	5 oh	4.5 le	4 nl	3 ok

- 1) Nearer to 3 le than to 3 ng  
 2) " " 4 le " " 4 ng  
 3) " " 4 pl " " 4 nl  
 6) " " 4 le " " 4 kd  
 7) " " 5 ng " " 5 le  
 9) " " 4 le " " 5 le  
 11) " " 5 ng " " 4 ng  
 12) " " 3 pi " " 3 ng  
 13) " " 3 ng " " 3 le  
 14) " " 5.5 ne " " 5.5 li  
 15) " " 4 ng " " 4 le  
 16) " " 5 pi " " 5 ng  
 18) " " 4 pi " " 4 ng  
 20) " " 4 ng " " 5 ng

II  
and Ost

23  
Snuff  
Brown

3.5 lg  
4 ni  
4 mh  
4 mh<sup>8)</sup>  
3 pi  
5 mh  
3 ng  
4 ni  
3 pi  
4 oh  
3 ng  
3 oh  
3.5 pi

II  
and Ostwald Colours Recorded by 13 Independent Observers (A to M)

	23 Snuff Brown	24 Tawny	25 Cinna- mon Rufous	26 Warm Sepia	27 Carob Brown	28 Kaiser Brown	29 Ferrug- inous	30 Vinac- eous Rufous	C	W	B
3.5 lg	4 le <sup>8)</sup>	4 ne	4 pl <sup>3)</sup>	5 pl	5 lg	5 ng	5 ng	95.8	112.7	96.3	
4 ni	4 ng	4 le <sup>6)</sup>	5 kd	5 ni	5.5 ni	6 ng	5 ng <sup>7)</sup>	104.7	111.9	94.0	
4 mh	5 kf	5 mf	5.5 pl	7 ni	5 lg	5.5 ng	5.5 ng	121.3	123.2	100.3	
4 mh <sup>8)</sup>	4 le	4.5 le	4 pl	5 ni	5 pi	5 ng	6 ng	99.6	104.6	99.5	
3 pi	4 mf	4 mf	4 pl	5 pl	4 pi	5 oh	5 ng	94.5	108.2	102.0	
5 mh	4.5 nl	5 of	4.5 mf	7.5 mh	5.5 pi	5.5 mf	6 mf	128.3	104.8	101.3	
3 ng	4 le	4 mf <sup>10)</sup>	4 ni	4 ni	4 pi	5 ng <sup>11)</sup>	5 ng	88.4	89.4	100.1	
4 ni	4 ng <sup>15)</sup>	4 ng <sup>15)</sup>	6 pl	5 pl	5 pi	5 pi <sup>16)</sup>	5 oh	110.5	79.3	105.2	
3 pi	4 ng	4 ng	3 pi <sup>8)</sup>	4 ni <sup>19)</sup>	4 oh	4 ng <sup>20)</sup>	4.5 ng	85.2	82.0	102.4	
4 oh	4 kd	3 kd	4 pl	4 pi	5 oh	5 pg	5 of	88.7	114.4	96.7	
3 ng	4 le	4 mf	5 pl	5 mk	5 pi	5 ng	5 ng	94.5	101.2	99.4	
3 oh	4 pg	4 pg	4 ni	4 pi <sup>8)</sup>	4.5 ng	4.5 pg	5 pg	91.9	75.3	103.0	
3.5 pi	4 mf	4.5 le	4 pl	4 pi	4.5 ng	5 ng	5 ng	96.4	92.7	99.7	

<sup>4)</sup> Difficult

<sup>5)</sup> Heterogeneous

<sup>8)</sup> Uncertain

<sup>10)</sup> Approaching 4 le

<sup>17)</sup> Nearest; fairly close to 3 ni

<sup>19)</sup> Fairly close to 4 pi

obtained very high values for the whiteness, and one (L) found very low values, and there is little evidence of constancy for the other results. There are no striking deviations in the measurements of blackness. In general terms these results seem to show that the Ostwald figures obtained give a fairly reliable measure of the darkness of the soil, but that widely different estimates are obtained for the smaller terms which measure the whiteness and the hue in Ostwald's fundamental equation. If the method is to be used for soil colour measurements, further work should be undertaken to test whether variations in the technique<sup>1)</sup>, or practice by the observers, can lead to more consistent results. The colour atlas method has the advantages of simplicity and of cheapness in the apparatus required, but will need careful standardisation before it can be of general utility.

The Maxwell Colour Mixer. The data quoted below for the soil colours in terms of the Munsell colour discs were obtained by the method suggested by Shaw (11), the sample being 'painted' on to filter paper, and spinning with the colour cards. In a preliminary trial, with about 12 previously untrained observers, very large differences were found between the results for the same sample by the different observers, but better agreement was obtained in a more detailed experiment in which a considerable number of replicate measurements were made by each of three observers with previous experience. Nevertheless, there remained some consistent differences between the results for each pair of observers. A typical series of comparisons is shown in Table III.

From these figures it is seen that, with a few exceptions, the differences between the two observers are not serious, although they are nearly all in the same sense, Observer M returning lower values for red and white and higher values for yellow and black as compared with Observer N; in the exceptional cases where this is not so, the differences are not significant when tested by Fisher's *t* test (4). Somewhat similar relationships were found in comparing results obtained by observers M and P, although the differences were rather larger in this case, particularly in that P returned higher values for white and lower values for black. In general, the largest discrepancies occur in the red soils, and where the amounts of white were small, Observer P sometimes gave values for this factor approaching double those found by M or N. But a serious defect in the method has been found in that no true

---

<sup>1)</sup> It was suggested by Dr. M. A. Watson to the writer that the matching might be simplified by placing the samples in small cellophane bags which could be laid on the colour cards.

Table III  
Results of Replicated Measurements of Natal Soil Colours by Colour Top, by Observers M and N

	M		N		M		N		M		N	
	Red	S.E.	Red	S.E.	Yellow	S.E.	White	S.E.	Black	S.E.	White	S.E.
11	11.8	0.27	12.8	0.40	11.6	0.23	5.6	0.18	70.9	0.61	6.1	0.31
12	21.2	0.43	20.9	0.64	16.8	0.42	7.7	0.24	54.4	0.87	8.4	0.39
13	35.4	0.97	38.3	1.06	23.3	0.55	4.8	0.24	36.5	0.60	6.2	0.56
14 <sup>1)</sup>	35.8	0.37	39.3	0.83	30.1	0.53	15.6	0.44	18.5	0.58	16.9	0.71
15	23.2	0.36	24.3	0.88	25.5	0.26	29.4	0.28	22.0	0.54	30.7	0.92
16	8.3	0.40	10.2	0.37	7.5	0.15	3.5	0.31	80.7	0.79	4.4	0.44
17	14.7	0.42	16.2	0.51	10.1	0.23	2.8	0.39	72.4	0.91	3.7	0.31
18	19.1	0.42	21.8	0.54	11.3	0.24	2.8	0.30	66.7	0.79	4.3	0.21
19	32.4	0.91	39.8	2.24	15.6	0.65	5.2	0.24	46.7	1.77	6.7	0.28
20 <sup>1)</sup>	44.6	0.76	48.1	1.26	24.1	0.30	7.4	0.22	23.9	0.78	8.5	0.70
21	6.9	0.22	7.7	0.46	6.5	0.10	4.7	0.34	81.8	0.40	5.3	0.69
22	11.4	1.46	11.4	0.63	10.7	0.30	5.5	0.38	72.3	1.82	6.3	0.43
23	19.8	0.86	19.9	0.36	15.8	1.31	5.3	0.33	59.1	1.24	5.8	0.28
24	45.2	1.45	47.2	1.19	23.4	0.48	3.8	0.34	27.6	1.77	6.4	0.55
25	46.4	0.71	50.6	0.82	23.8	0.30	3.7	0.27	26.2	0.78	5.4	0.33

<sup>1)</sup> No true match.

It is considered that the tintometer is capable of giving results at least as accurate as those given by the colour discs, and is less tiring to the observer. More important, it appears to deal successfully with the cases in which the colour top, with the four standard colour discs, fails. Two 'bad' soils, Nos. 14 and 20, have been omitted from Table IV — the latter sample was not available, but No. 14 and nine 'bad' soils which had proved unmatchable when examined by van der Merwe with the colour discs have now been tested by the writer by the tintometer method, and were successfully matched; the results are given in Table V, and it will be seen that these cases of failure include a considerable variety of soil colours.

Table V  
Results for Colours recorded with the Tintometer for South African  
Soils with which the Standard Colour Cards failed (Observer M)

	Red	S.E.	Yellow	S.E.	Blue	S.E.
14 . . . . .	3.4	0.02	4.4	0.03	1.0	0.02
A. 8297 . . . . .	8.9	0.02	11.2	0.04	5.0	0.03
A. 8312 . . . . .	9.7	0.08	11.1	0.04	4.3	0.04
A. 8485 . . . . .	6.1	0.01	8.5	0.07	2.0	0.01
A. 8667 . . . . .	8.4	0.03	10.4	0.10	4.7	0.11
A. 9622 . . . . .	9.2	0.03	11.3	0.09	4.9	0.05
A. 9770 . . . . .	6.1	0.01	11.1	0.04	3.3	0.04
B. 9 . . . . .	10.1	0.03	10.8	0.10	4.3	0.04
B. 17 . . . . .	10.1	0.03	11.1	0.03	4.9	0.05
B. 26 . . . . .	10.2	0.04	10.5	0.04	4.8	0.06

Although the number of soils examined with the tintometer is still relatively small, it is encouraging to note that no cases of failure have so far been found. Results are quoted in Table VI for a few soils taken from widely different regions.

For the specification of the colour measured by the tintometer, it is, of course, sufficient to record the readings for red, yellow, and blue, as has been done in Tables IV and V. But it may be helpful in visualising the soil colour if the amount of grey, dominant hue, and further colour constituent are stated. In nearly every case the hues are compounded of yellow and orange. For example the results for typical samples are shown in Table VII.

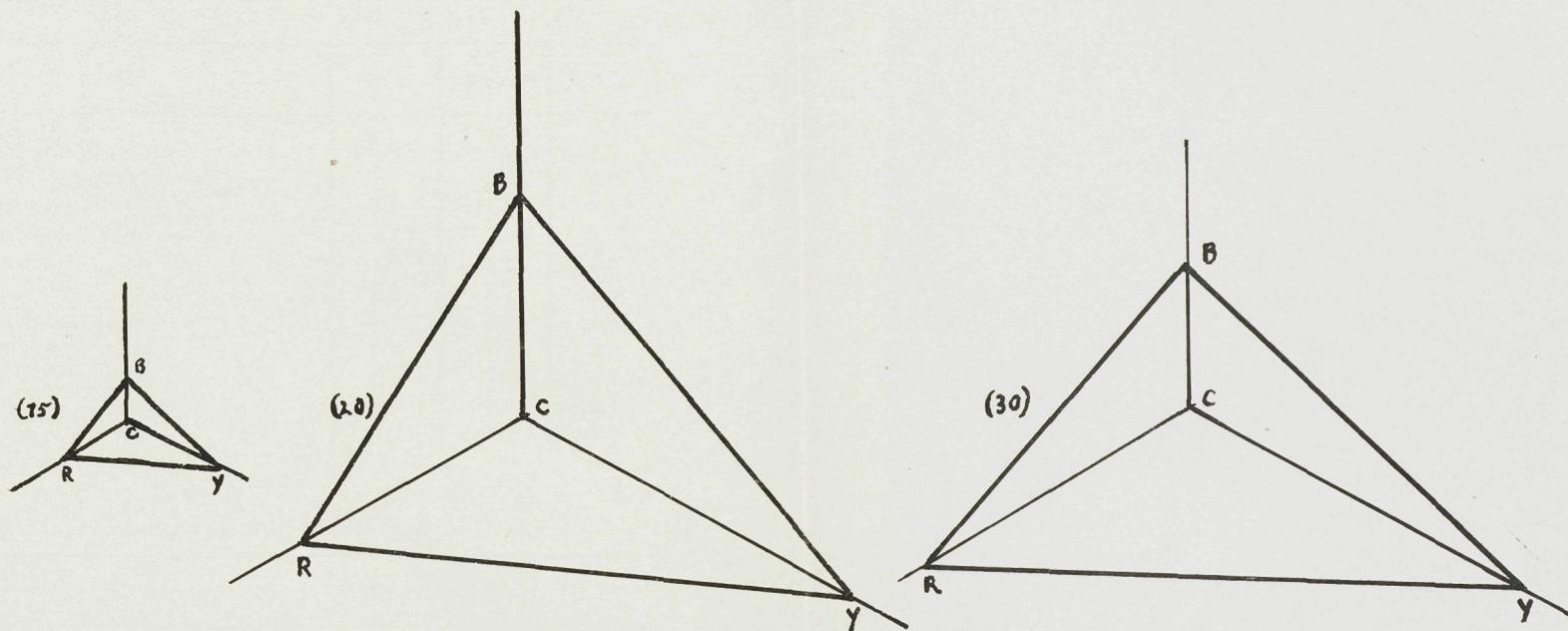


Fig. 1. Representation of tintometer readings for typical soils on triangular axes

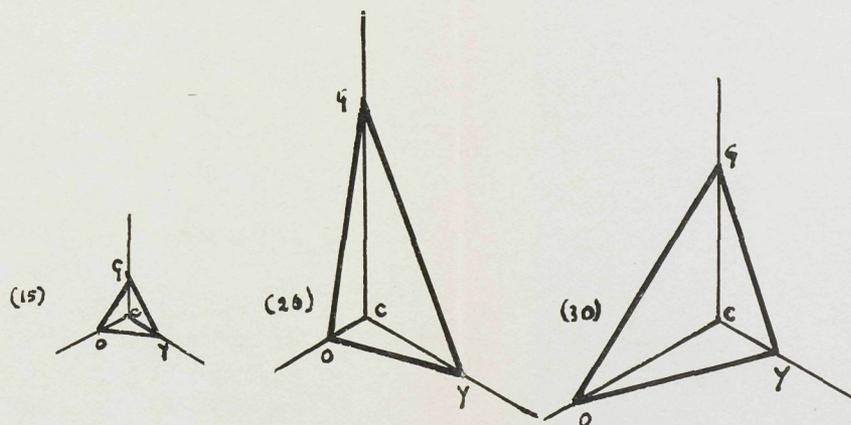


Fig. 2. Representation of analysed tintometer readings for typical soils on triangular axes

be  
No  
da  
or  
ob  
wi  
or  
Ta  
  
di  
an  
th  
dr  
tin  
re

Table VI  
Results for Colours recorded with the Tintometer for  
Miscellaneous Soils

	Red	Yellow	Blue
Ledbury, England (old red sandstone) . . . . .	5.9	6.0	3.0
Mlanji, Nyasaland NM 5 (good coffee soil) . . . . .	7.0	10.6	6.3
Mlanji, Nyasaland NM 4 (poor tea soil) . . . . .	8.1	11.0	7.5
Zomba, Nyasaland NZ 8 (5,000 ft. plateau) . . . . .	6.1	9.2	4.0
Grenada Cacao soil No. 9 . . . . .	4.1	6.5	3.2
Trinidad soil No. 11 . . . . .	3.0	4.1	2.0
Yuma sand (Colorado River alluvial soil) . . . . .	2.5	2.6	1.3
San Joaquin, Cal. loam (oven-dried) . . . . .	5.7	7.5	2.0
Sierra (Cal.) sandy loam (oven-dried) . . . . .	5.2	7.0	3.3
Ceylon sandy soil No. 1 . . . . .	4.0	6.6	2.1
Cochin Harbour soil No. 1 . . . . .	4.0	6.1	4.9

Table VII  
Analysis of Tintometer Results in three Typical Cases

Grey	Orange	Yellow
15    1.1	1.0 (= 2.1—1.1)	1.1 (= 3.2—2.1)
26    6.4	1.2 (= 7.6—6.4)	3.5 (= 11.1—7.6)
30    4.1	5.0 (= 9.1—4.1)	2.0 (= 11.1—9.1)

If one wishes to give a verbal description of these results, it may be stated that No. 15 is a light coloured soil with a yellow-orange hue; No. 26 is a dark toned soil with yellowish hue; and No. 30 is of fairly dark tone, of orange hue — 'redder' than No. 26. High values for the orange term are typical of soils which are usually described from field observation as 'red'. In this respect the tintometer specification agrees with that of Ostwald, who describes hues 1 to 3 as yellow, and 4 to 6 as orange; and it will be remembered that the average hues recorded in Table II do not pass beyond the orange into the red region.

It is not easy to represent three quantities on a two dimensional diagram, but one possible method is suggested by the diagrams on triangular axes (Figs. 1 and 2). Supposing that it is desired to represent the red, yellow, and blue constituents, three lines CR, CY, CB are drawn at 120° to each other, their lengths representing the corresponding tintometer reading. Then the triangle BRY may be considered as a representation of the soil colour. It will be seen that a series of equi-

lateral triangles, similarly placed, with their centroids at C, represent a series of neutral greys, the lightest tones being represented by the smallest triangles, and in the limit, full white by a point at C. Deviations of the actual triangles from the simple equilateral form can be correlated with the visual descriptions given above. If preferred, the figures given in Table VII can be used to construct triangles such as GOY (Fig. 2). In this case, a neutral grey is represented by a straight line CG, while the limiting case of full white is, as before, represented by a point at C.

### Summary and Conclusions

To sum up the discussion of the three different methods examined above, the least accurate results were obtained in the attempts to match the soil colours with colour atlases. The notes appended to Table II show that this is partly due to the relatively large intervals between the reference colours; Ostwald has already made provision for a more finely divided atlas, and smaller divisions have also been designed by Negovelov, so that this objection is not a serious one<sup>1</sup>). But there remains the difficulty that different observers do not agree in their judgements of the hues and tints when these are diluted with large proportions of black; and it is very desirable that further experiments should be made to discover whether these differences can be minimised by the adoption of an improved technique, or by the gaining of experience by the observers.

The Maxwell colour top and the Lovibond tintometer are both fairly simple for routine application, but of these the former suffers from the defect that certain soils cannot be matched without introducing supplementary standards. It is suggested that, prior to the adoption of definite recommendations by the International Society of Soil Science Committee on Soil Colours, the suitability of the tintometer should receive further consideration. It is perhaps worth while to recall that none of these methods is suitable for the specification of heterogeneous samples, which frequently arise in the description of soil profiles. It would, of course, be possible to isolate small amounts of the characteristic constituents and to determine the colour of each separately. It may be noted that the tintometer and the colour atlas are more suitable than the disc method for studying the variation of colour with moisture content.

---

<sup>1</sup>) If the use of the charts became general amongst pedologists, it should also be possible to arrange for their publication in a form omitting the large range of hues which are unnecessary for purposes of soil colorimetry.

### Acknowledgements

The writer wishes to express his thanks for the facilities given to him for carrying out most of this work during a period of leave at the Rothamsted Experimental Station, and for the assistance derived from discussions with his colleagues there.

### References

- (1) Bushnell, T. M. (1927): *Trans. First Cong. Internat. Soc. Soil Sci.*, Vol. 4, 429—434.
- (2) Carter, W. T. (1931): *Amer. Soil Survey Assoc. Bull.* 12, 169—170.
- (3) Coutts, J. R. H. (1934): *Trans. First Comm. Internat. Soil Sci. Versailles Conference*, 41—46.
- (4) Fisher, R. A.: "Statistical Methods for Research Workers." Oliver & Boyd (Edinburgh).
- (5) Hutton, J. G. (1932): *Amer. Soil Survey Assoc. Bull.* 13, 179—181. — (1927): *Trans. First Cong. Internat. Soc. Soil Sci.*, Vol. 4, 164—172.
- (6) Merwe, C. R. van der: Private communication.
- (7) Negovelov, S. F. and Shaniavsky, Z. V. (1932): *Trans. Second Cong. Internat. Soc. Soil Sci.*, Vol. 5, 159—165.
- (8) Ostwald, W. (1932): "Colour Science" (Trans. J. Scott Taylor), Winsor & Newton, Ltd.
- (9) Pokrovsky, G. (1928): *Pedology*, 1—2, 70—87.
- (10) Ridgway, R. (1912): "Color Standards and Color Nomenclature." Washington D.C.
- (11) Shaw, C. F. (1932): *Soil Sci.*, Vol. 33, 183—184. — (1934): *Trans. First Comm. Internat. Soil Sci.*, Versailles Conference, 169—178.
- (12) Winters, E. (1930): *Amer. Soil Survey Assoc. Bull.* 11, 34—37. — (1931): *Amer. Soil Survey Assoc. Bull.* 12, 65—66.

