

Les sols des régions semi-arides d'Afrique et leur mise en valeur¹

par G. AUBERT (France),

De part et d'autre du grand désert du Sahara, il existe deux zones grossièrement parallèles, où la pluviométrie reste encore faible — 100 à 500 m/m par an environ — mais est cependant suffisante — étant donné les autres conditions de climat, — saisons nettement tranchées, amplitude thermique assez forte —, et en même temps de roche-mère, prédominance de roches calcaires en Afrique du Nord, de roches peu calcaires ou même acides, souvent sableuses, en Afrique Occidentale Française, pour permettre à la végétation de se développer.

La formation végétale qui prend pied est alors une steppe où l'herbe constitue l'élément essentiel (les arbres ou, plus souvent, les arbustes, s'il en existe, n'y occupent, qu'une place réduite, quoique variable suivant les cas) ou une savane arbustive, rarement arborée.

LES SOLS DE CES RÉGIONS

Caractères généraux et processus fondamentaux. — Les caractères essentiels que l'on retrouve dans la plupart des sols de ces régions sont leur absence de lessivage, sauf en ce qui concerne les éléments solubles, et leur richesse en matière organique répartie non pas seulement en un horizon superficiel s'arrêtant brusquement en profondeur, mais dans tout son profil. Celle-ci, ou bien n'est pas évoluée, par suite du climat trop sec ou est fortement humifiée. Il ne se forme pas d'humus grossier dans ces régions. L'horizon même le plus riche en humus est ou neutre — quelquefois faiblement acide — ou alcalin. Lorsque ces sols se forment sous une température moyenne peu élevée, 10° à 15° C., par exemple, les réactions d'hydrolyse sont assez limitées, et assez peu d'hydrate de fer est individualisé; le sol reste assez foncé. Suivant la valeur de la pluviométrie et la densité de la végétation, il se formera un sol gris, un sol brun, un sol châtain de plus en plus riche en matière organique et en humus.

1. Mémoire présenté à l'Unesco par l'Union internationale des Sciences agronomiques (avril 1950).

— II —

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 14151

1 JUL. 1970

Si, au contraire, la température moyenne est plus élevée, 20° à 25° C. par exemple, les phénomènes d'hydrolyse revêtent une plus grande intensité, la masse d'hydrate de fer individualisée au cours de la pédogénèse devient plus importante, et la couleur foncée fait place à la teinte plus rouge, des sols brun-rouge, ou des sols châtain-rouge qui se développent.

En fait, R. MAIGNIEN a pu montrer que cette différenciation entre sols foncés et sols rouges — au moins dans le cas des sols bruns et des sols brun-rouge — peut provenir également des différences dans les roches-mères : plus riches en bases ou moins perméables dans le premier cas, plus acides ou plus perméables dans le second (1). Ainsi, en Mauritanie et dans le N.-O. du Sénégal, sur les dolérites et sur les marnes ou les sables calcaires, sur les limons, se développent les sols bruns; et au contraire, sur les produits d'altération des granits, ou sur les sables se développent des sols brun-rouge.

Au point de vue chimique, un autre élément dont l'évolution est fondamentale dans la pédogénèse de ces régions semi-arides est le calcaire. Dans certains sols, comme dans ceux que nous venons d'indiquer plus haut, cet élément tend à être entraîné en profondeur où il peut parfois se concrétionner. Dans d'autres, au contraire, il reste réparti dans tout l'ensemble du profil, et sa teneur dans les horizons superficiels n'est guère plus faible que dans les horizons profonds; le sol peut alors être une rendzine. Sur calcaire, c'est ce second type de pédogénèse qui se développe, lorsque la pluviométrie est suffisante pour que la végétation de graminées reste dense, mais assez faible cependant pour que l'entraînement du calcaire en profondeur soit très ralenti. Le même résultat peut provenir simplement d'une accentuation des phénomènes de remontée pendant la période sèche; ou de conditions climatiques, — variations très fréquentes et fortes de l'humidité du sol et du sous-sol, gels importants, etc... — telles que la désagrégation de la roche-mère soit assez intense et son altération faible. La cause de cette évolution peut également être recherchée dans le caractère pétrographique du calcaire, facilement et finalement brisable, mais assez largement cristallisé pour ne se dissoudre que lentement (2). Enfin, c'est souvent à sa position en pente qu'est due l'apparition d'une rendzine dans ces régions, comme cela a été aussi mis en évidence dans les contrées plus humides (3).

Dans d'autres conditions, notamment en présence d'une nappe phréatique, riche en calcaire, cet élément peut concrétionner.

Parfois, comme dans la vallée du Niger, c'est à faible profondeur, sous forme de nodules, alors que le sol n'en contient que des traces. Ailleurs c'est sous forme de bancs calcaires, de croûtes calcaires, comme au Maroc (4), en Algérie (5), en Tunisie (6). Au lieu de calcaire, ce peut être du gypse qui forme croûte (7).

Dans quelques cas le fer concrétionne, aussi, avec le calcaire (8).

Si l'évolution du calcaire est si importante dans la genèse des sols de ces régions, c'est essentiellement par suite des alternatives très brutales d'humidité forte en temps de pluie et de sécheresse intense pendant la plus grande partie de l'année, auxquelles ils sont soumis.

Aussi l'évolution de sols encore plus solubles, tels que chlorures et sulfates de sodium, magnésium et calcium, devient-elle souvent l'élément essentiel de la dynamique de ces sols.

Dans les régions semi-arides d'Afrique, d'Afrique du Nord ou d'Afrique Occidentale, on a toujours affaire à des sols salés non lessivés. Le sol salé lessivé ou *Solonetz* n'y a jamais été rencontré à notre connaissance, alors que, dans des conditions climatiques analogues, il existe parfois aux États-Unis (9). Ici, les conditions climatiques provoquent le plus souvent la remontée de ces sols vers la surface où ils donnent naissance à des efflorescences.

D'autres facteurs peuvent encore intervenir, transformant complètement le type d'évolution des sols, défini par le jeu des divers processus que nous venons d'indiquer rapidement, ou les modifiant seulement en partie. Tel est le cas de l'érosion, qu'elle soit d'origine hydrique ou éolienne.

Dans bien des cas, l'homme est le responsable de cette érosion : par ses habitudes culturelles ou pastorales, il la provoque parfois là où elle ne sévissait pas avant lui, et ailleurs il l'exagère, accélérant ainsi certains phénomènes de dégradation naturelle.

PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

D'après les caractères morphologiques de leur profil, et d'après les processus qui leur ont donné naissance, on peut grouper les principaux types de sols de la façon suivante :

I. *Les sols de type steppique.* — Ceux qui correspondent aux régions les plus arides, sont dénommés *sols gris subdésertiques* et *sols rouges subdésertiques*. Ils correspondent aux *grey desert*, *red desert soils* et *sierozems* des auteurs américains (9).

Ils sont pauvres en matière organique, qui reste très peu humifiée. Ils sont généralement riches en bases, surtout en sels solubles qui, parfois, s'accumulent à leur surface où peut se former une légère croûte durcie, épaisse de 1 à 2 cm.

On les observe en Afrique du Nord (essentiellement Sols gris subdésertiques), par exemple dans la région de Gafsa-Tozour dans le sud tunisien ou encore dans le sud algérien et au Maroc au sud de l'Anti-Atlas. Ils existent aussi plus au Nord c'est alors à l'action de l'homme,

détruisant la végétation naturelle, que l'on doit leur présence dans ces régions (Marrakech).

Dans le nord de l'Afrique Occidentale, sols gris et sols rouges sub-désertiques se succèdent côte à côte, les premiers étant les plus répandus, en particulier dans le sud de la Mauritanie (Mederda, Tiguont, Néma) et le Soudan septentrional au nord du Kouroumari et du Méma, de Tombouctou et Bourom.

Dans des régions un peu plus humides (200 à 400 m/m par an) où la végétation est plus dense — steppe d'Alfa (*Stippa tenacissima*), en Afrique du Nord; steppe de *Ctenium elegans*, Kunth — *Foldia gracilis*, etc., en A. O. F. — le sol est plus riche en matière organique; sa structure est plus grenue en surface, ou, au moins, plus grumeleuse. C'est un *sol brun subaride*. Il ne comporte plus d'accumulation superficielle de sels solubles; en général, il est plus ou moins appauvri en calcaire dans ses horizons supérieurs, s'il est formé par une roche contenant cet élément. Dans ce cas, il n'est cependant jamais totalement décalcifié et son complexe absorbant est riche en bases.

Sa matière organique est beaucoup plus évoluée, plus humifiée que dans les cas des *sols subdésertiques*.

En profondeur, il reste assez bien pourvu en humus, et il est rarement très compact. Ce caractère s'observe surtout dans les termes de passage entre ce type et les *sols noirs tropicaux*, formés dans les zones déprimées.

Il comporte souvent, à sa base ou à moyenne profondeur, une certaine accumulation de calcaire provenant des horizons supérieurs, ou apporté par la nappe phréatique. C'est alors un *sol brun encroûté*.

Lorsque l'érosion, surtout éolienne, l'attaque — ce qui est fréquent dans ces régions où la couverture de Graminées meurt pendant la longue saison sèche, période où les vents sont souvent particulièrement violents — le sol brun s'appauvrit en matière organique et tend à se rapprocher des *sols gris*. Il s'agit là d'une véritable dégradation.

Pour des raisons, soit climatiques — température moyenne plus élevée —, soit pétrographiques, comme nous l'avons indiqué ci-dessus, le sol brun passe au *sol brun-rouge*. Ce dernier est moins riche en humus, plus rapidement brûlé, et plus riche en fer, plus fortement individualisé. Cet élément se trouve aussi sous une forme moins hydratée. Son complexe absorbant est alors généralement moins développé, mais il reste encore, le plus souvent, chimiquement riche et conserve une structure favorable aux mouvements de l'air et de l'eau et à la pénétration des racines.

En Tunisie centrale, les sols bruns occupent de grandes étendues, couvertes par la nappe d'alfa; les sols bruns rouges y paraissent plus réduits. En Algérie, les sols bruns se retrouvent sur les Hauts-Plateaux, mais souvent, du fait du surpâturage, ils ont été érodés, dégradés et le début d'encroûtement qui y avait pris naissance s'est transformé en

une croûte calcaire, dure. Les sols bruns rouges n'y présentent aussi qu'une assez faible extension mais on les observe en certains points de quelques plaines ou bas-plateaux du Tell, sur les alluvions anciennes (Relizane). Il est d'ailleurs souvent difficile d'y séparer les caractères acquis lors d'une évolution antérieure de ceux qui sont dus à l'évolution actuelle.

Au Maroc, sols bruns et sols bruns rouges, souvent encroûtés, prennent une grande importance, par exemple dans le Tadla (Béni-Mellal), la vallée du Sous, etc.

En Afrique Occidentale, on les retrouve sous forme de taches de faible étendue dans le sud-ouest de la Mauritanie, et le nord-ouest du Sénégal (Louga-St-Louis) et sur des surfaces plus importantes dans le sud de la Mauritanie (Méma) et au Soudan, en particulier sur les alluvions du Niger : sols bruns sur limons, ou « dians » en langue Bambara (10); sols bruns rouges, sur limons sableux et sable limoneux, ou « dangas »; et sols intermédiaires entre les sols bruns et les sols noirs tropicaux des bas-fonds, ou « Mourcis ».

Dans les régions à climat plus humide où sur des roches-mères permettant, par leurs caractères intrinsèques, un plus fort développement de la végétation, le sol est plus riche en matière organique, plus riche aussi en humus. Il appartient au groupe des *sols châtaîns*. Même formés sur roches calcaires, ils ne comportent plus cet élément dans leur horizon superficiel dont le complexe absorbant reste cependant riche en calcium. Il s'accumule par contre en profondeur, sous forme de nodules et de concrétions.

De même qu'à côté des sols bruns subarides, il existe les sols bruns rouges, de même et suivant les mêmes variations de climat ou de roches-mères, à la place d'un sol châtain il peut se former un *sol châtain-rouge*, plus riche en hydrate de fer libre, un peu moins riche en humus, présentant en général, surtout en profondeur, une structure plus compacte (elle devient souvent prismatique), mais restant, dans la plupart des cas, aussi fertile.

Développés sous un climat encore très sec — la pluviométrie annuelle n'y dépasse guère 400 à 540 m/m et la saison sèche y peut être très longue — sols châtaîns et sols châtaîns rouges peuvent être très productifs s'ils sont irrigables.

Ils ne paraissent que peu étendus en Afrique du Nord sauf au Maroc où ils prennent de l'importance, soit sur les basses pentes et les plateaux qui bordent le Gharb (Petitjean), soit dans les grandes plaines alluviales telles que le Tadla (Beni-Mellal). Ils y sont souvent plus ou moins encroûtés en profondeur. Certains sols de ces régions, en particulier en Algérie, possèdent des caractères morphologiques très voisins de ceux des sols châtaîns rouges (Vallée du Chélif, Relizane) mais ils les

doivent à une évolution ancienne et ils se transforment actuellement suivant un mode un peu différent qui les rapproche des sols bruns rouges. L'on a même pu tenter de dater, dans l'échelle stratigraphique du quaternaire, la période de leur première formation (11).

Par ailleurs, en de nombreux cas, un sol qui, naturellement, évoluerait vers le type des sols châtaîns rouges se dégrade sous l'influence de l'homme. La végétation très réduite ne permet plus l'accumulation de la matière organique et le sol beaucoup moins riche en humus et soumis sans défense naturelle à tous les agents d'érosion, devient aussi moins fertile. Les habitudes des pasteurs nomades, Arabes ou Peuhls, sont désastreuses à cet égard.

Nous n'avons jamais observé de sols châtaîns ou châtaîns rouges en Afrique tropicale française non plus qu'en Nigeria britannique.

La présence de *Chernozems* dans les régions semi-arides de l'Afrique française a été souvent affirmée (12). Il nous apparaît comme très certain maintenant qu'il n'en existe pas en Afrique Occidentale, non plus, très probablement, qu'en Afrique du Nord.

Certains sols peuvent, parfois, s'en rapprocher, mais tous ceux que nous avons pu observer, ou qui, même, nous ont été montrés comme étant des Chernozems en diffèrent par quelque côté.

Assez souvent d'anciens sols bruns tempérés (sols bruns forestiers), ou d'anciens sols rouges méditerranéens ont été dépouillés, par l'homme, de leur couverture forestière.

Une steppe, où domine le palmier nain (*Chamaerops humilis*) ou « Doum » a remplacé la forêt disparue. Le sol, déjà privé de son calcaire — souvent ces sols ont pris naissance sur marnes, grès calcaires ou calcaires durs, dolomitiques — dans ses horizons supérieurs, et riche en concrétions et nodules calcaires en profondeur, s'enrichit un peu en matière organique, provenant surtout de la décomposition des racines de doum. Si ce stade pseudo-steppique se maintenait, peut-être un vrai Chernozem se développerait-il. En fait il s'est établi sous l'action de l'homme et de ses troupeaux (chèvres en particulier); sous la même influence, il disparaît et, la végétation très attaquée, le sol se dégrade. Loin de s'enrichir en matière organique, il s'en appauvrit (13).

Ce phénomène de « steppisation temporaire » est très répandu dans l'ensemble de l'Afrique du Nord; il peut affecter des sols très différents et leur donner alors certains caractères communs.

Dans les parties les plus pluvieuses de ces régions semi-arides, des *Rendzines* peuvent se développer à partir de roches-mères calcaires. Elles sont riches en matières organiques, et, dès la surface, en calcaire, et possèdent une structure grenue (*Rendzines* proprement dites) ou finement polyédrique (sols bruns calcaires). Souvent, elles sont très profondes et peuvent alors avoir certains des caractères des Chernozems.

Elles en diffèrent encore, cependant, par un entraînement moins prononcé du calcaire, et une structure grenue moins stable. De tels sols ont été décrits aux confins algéro-marocains en Oranie (13) et à l'ouest du Sénégal (14).

Certains des sols appelés *Tirs* (15) au Maroc — Tirs de coteaux — ne sont que des Rendzines (région de la Chaouïa).

Nous avons précédemment signalé l'existence dans ces régions semi-arides d'Afrique, de sols bruns encroûtés et de sols châtaîns encroûtés. Parfois l'accumulation du calcaire devient telle en profondeur — à faible profondeur, souvent — qu'il s'y forme un véritable banc calcaire, très compact, très dur. C'est alors un *Sol à Croûte calcaire*. L'érosion jouant, les horizons supérieurs disparaissent et la croûte se trouve apparaître en surface, ou n'être plus surmontée que de quelques centimètres d'un horizon caillouteux et généralement rendzinoïde.

L'origine de ces horizons de croûte a été très discutée, même encore tout récemment, en 1947, à la Conférence de Pédologie d'Alger (16). En fait, cette origine peut être très diverse, et c'est souvent en analysant la géomorphologie de la région, plus que la morphologie du sol lui-même au point où il est observé, encore que son étude détaillée soit très instructive, que l'on peut comprendre sa genèse. Cette croûte calcaire peut être due en effet à l'action d'une nappe phréatique (E. H. DEL VILLAR), à un dépôt de source (G. GAUCHER), à un phénomène d'entraînement du calcaire vers le bas (H. ROSEAU, YANKOVITH) ou au contraire à des phénomènes de remontée de cet élément vers les horizons superficiels, comme nous l'avons montré dans certains cas, ou vers la surface (V. AGAFONOFF) et à son dépôt par évaporation et départ du gaz carbonique.

Au lieu que la croûte durcie soit constituée par du calcaire, elle peut l'être par du gypse (17) ou de la silice.

Cet horizon si dur est toujours une gêne pour la végétation naturelle ou les cultures. Formé en surface, il rend le sol stérile.

Croûtes calcaires et croûtes gypseuses sont très répandues en Afrique du Nord. Elles y sont souvent fossiles (Vallée du Chélif en Algérie) ou sub-actuelles. Par contre, elles n'existent pas en Afrique tropicale.

En Afrique occidentale de grandes étendues de sols sont caractérisées par la présence, non d'une croûte continue, mais de nombreux nodules calcaires. En d'autres points ce n'est pas le calcaire qui a concrétionné mais les hydrates et oxydes de fer. Parfois le même sol comporte les deux, mais leurs horizons de formation ne sont pas exactement les mêmes. *Sols à concrétions ferrugineuses* et *Sols à nodules calcaires* peuvent avoir, comme les sols à croûte, diverses origines : témoins d'anciens sols forestiers — ou souvent, de savanes arborées — où ces éléments avaient

pris naissance en profondeur mais sont venus en surface sous l'influence de l'érosion (17); ou, ailleurs, produits de l'action d'une nappe phréatique à niveau fluctuant, ou assez proche de la surface pour que, par évaporation, ces éléments calcaires ou ces hydrates de fer puissent se déposer (18). Les *Sols à Gravillons ferrugineux* sont, eux, le résultat de la destruction d'anciennes cuirasses ferrugineuses, démantelées par l'érosion, et du transport et dépôt des éléments qui en proviennent. Ils peuvent être différenciés, morphologiquement, des *Sols à concrétions ferrugineuses*.

Les uns comme les autres sont fréquents au Soudan, dans le Delta central nigérien, ou aux abords de la falaise de Bandiagara, mais existent aussi en Haute-Volta (Dankani, Tonkodogo, E. do Tougan, Djibo) ou au Sénégal. Certains sols du Maroc paraissent appartenir à ce groupe (N.-E. de Port-Lyautey, forêt de Boulhaut, etc.).

Les *Sols à Cuirasse ferrugineuse* ne paraissent pas se former dans ces régions semi-arides d'Afrique. Ils peuvent y exister, fossiles, comme en Mauritanie occidentale (près d'Akjoujt), ou sud-orientale (sud de Néma), au Soudan (Boulel, Daoumas, etc.) ou au Niger.

Que les roches qui ont donné naissance aux sols soient elles-mêmes riches en sels solubles (chlorures, sulfates de sodium ou de magnésium ou même de calcium), que la nappe phréatique, à faible profondeur, soit très riche en ces éléments (reste d'ancien golfe marin, comme dans la basse vallée de la Medjerda en Tunisie) ou s'en soit enrichie par les apports des eaux d'oueds salés infiltrés plus en amont (vallée du Chélif en Algérie) ou des eaux d'irrigation plus ou moins salées et en excès (Relizane, Perréaux en Algérie); ou que les eaux qui se répandent en surface (eaux de débordement d'oueds, ou eaux d'irrigation) soient salées, — le sol peut lui aussi devenir salé. Les *Sols Salés* ont des caractères pédologiques et de fertilité très différents, suivant les cas.

Les *Sols Salins* sont riches en sels, mais leur complexe absorbant n'est encore que faiblement enrichi en sodium. Ils gardent alors une structure grumeleuse et peuvent être perméables. Leur infertilité n'est due qu'à un excès de sels toxiques. Ils sont assez fréquents dans les zones périsahariennes ou en bordure de certaines côtes (Sénégal nord-occidental).

Les *Sols à Alcalis* sont caractérisés par l'enrichissement de leur complexe absorbant en sodium ou, parfois, en magnésium échangeables.

Leur structure est diffuse. Ils sont généralement compacts et toujours très peu perméables. Leur imperméabilité peut devenir pratiquement absolue.

Formés sous l'influence de sols solubles, ils peuvent cependant en avoir été, ensuite, lessivés. Ailleurs — et c'est le cas le plus souvent en zone semi-aride, mais aussi, le plus défavorable — ils restent très

riches en éléments toxiques. Dans le cas extrême, toute végétation disparaît à leur surface.

Ces sols salés à alcalis couvrent des étendues, parfois importantes, en Tunisie (vallée de la Medjerda, plaines de Kairouan, de Gabès, les Chotts, etc.), en Algérie (plaines de Perrégaux, de Relizane, des Hamma-dénas, région des Chotts, etc.) et, quoique plus faiblement, au Maroc. Il en est de même au Sénégal (Basse-Vallée du Sénégal). L'un des sels les plus toxiques est le carbonate de sodium (vallée de l'oued Day au Tadla — Maroc).

Dans les régions semi-arides, les *Sols Noirs de Bas-fonds* n'ont qu'une faible extension. On les observe dans de petites dépressions en Mauritanie sud-occidentale ou dans le nord du Sénégal, au Niger, et au Maroc (Tadla), et sur de plus vastes étendues au Soudan central (« Doureumakolofing » du Méma). Ils sont beaucoup plus répandus dans les régions plus humides (Tirs de plaine du Maroc).

Signalons enfin les *Sols peu Evolués*, — *Sols Colluviaux*, souvent caillouteux, ou *Sols Alluviaux*, qui eux, sont en général fertiles. Ils sont souvent du point de vue agricole parmi les plus intéressants de tous ceux de ces régions, parce que souvent susceptibles d'être irrigués. Tel est le cas des sols alluviaux des grandes plaines semi-arides de Tunisie (Kairouan, vallée de la Medjerda), d'Algérie (Vallée du Chélif, plaines de Relizane, de Porrégaux, vallée de la Tafna), du Maroc (vallée de l'Oumer Rbia, vallée du Souss, etc.), ou d'Afrique Tropicale (en particulier vallée du Sénégal, vallée du Niger, vallées des Voltas).

La mise en valeur de ces Sols. — Mis à part les sols peu évolués où ce caractère dépend essentiellement de la valeur de la roche-mère, l'élément fondamental de la fertilité de la plupart de ces sols de régions semi-arides réside essentiellement dans l'absence de leur lessivage et dans leur richesse en matière organique. Aussi y a-t-il intérêt, chaque fois qu'il est possible, à les utiliser dans des conditions telles que ces caractères soient préservés, c'est-à-dire sans irrigations, en sec.

Tels quels, ils sont recouverts par une végétation où les Graminées ont une part importante; aussi leur mise en valeur repose-t-elle souvent sur l'élevage. Étant données les conditions climatiques, il ne peut s'agir là, que d'un élevage très extensif, la masse de matière végétale produite chaque année étant faible, et souvent de médiocre qualité.

Nombreux sont les pays (Soudan) où pour faciliter le renouvellement annuel de ces pseudo-steppes et pour produire, en saisons sèches des repousses tendres — les pasteurs mettent le feu aux herbes desséchées. De pareilles pratiques, momentanément fructueuses, sont, en fait, très néfastes pour la végétation et pour le sol. Quant à la dégradation par les troupeaux eux-mêmes, elle n'est qu'assez faible lorsqu'il s'agit de bovins, s'ils ne sont pas en trop grande quantité (Soudan central).

Elle devient, par contre, beaucoup plus forte lorsque la densité du bétail s'accroît, elle aussi, par exemple en A. O. F. autour des puits, ou si les bovins sont remplacés par les caprins (Afrique du Nord). Ces derniers, en broutant, arrachent l'herbe beaucoup plus qu'ils ne la coupent, diminuant d'autant ses possibilités de rejet et de reprise. La disparition des chèvres de ces régions devrait être un des premiers objectifs à atteindre. Elle se heurte malheureusement à des habitudes bien établies.

Dans ces régions, dès que sur des sols assez profonds et non salés, il tombe environ 300 à 400 m/m par an, la culture sèche devient possible. Elle peut prendre une forme particulière, le « dry farming » : la terre ne produit alors qu'une année sur deux, et accumule pendant l'autre année l'humidité nécessaire à la culture suivante (Tunisie en particulier). Ailleurs (zone sahélo-soudanaise d'A. O. F.) une maigre culture de Graminées (Mil ou Sorgho) peut être obtenue plusieurs années de suite ou en rotation avec des plantes peu exigeantes en eau, comme les Arachides; le sol est ensuite mis en jachère et la brousse reprend pied (pseudo-steppe ou savane arbustive très claire).

Le sol se forme sous l'action de la végétation naturelle. Après quelque années (huit à dix ans au Sénégal), il peut être remis en culture. Si, cherchant à produire davantage, l'indigène réduit la durée de cette jachère, le sol perd sa matière organique, s'épuise et se dégrade sous l'action de l'érosion. Les rendements des cultures deviennent inférieurs (nord-ouest du Sénégal).

Ces pratiques de « culture errante », si constantes en Afrique Noire, sont désastreuses dès que le temps de jachère est trop réduit, pour permettre la reconstitution du sol.

On est ainsi amené, chaque fois qu'il est possible, à utiliser les sols de ces régions, non en culture sèche mais au moyen de l'irrigation. C'est alors, en Afrique du Nord, sur de grandes étendues, la culture des légumes et primeurs, de la Vigne, des arbres fruitiers : Oliviers et Agrumes en particulier, du Coton, et même, par endroits, du Riz (Maroc); en Afrique Occidentale, celle du Coton et du Riz, et dans les deux régions, celle des fourrages artificiels, — légumineuses, surtout, — utilisés soit comme aliments du bétail, soit comme engrais verts enfouis ensuite pour améliorer, ou, simplement, maintenir la fertilité du sol.

L'irrigation est utilisée pour la mise en valeur de ces terres depuis la plus haute antiquité en Afrique du Nord, en Tunisie en particulier; elle a presque partout disparu au temps des invasions arabes, mais a été reprise ensuite et se développe considérablement à l'heure actuelle, grâce à la construction de grands barrages réservoirs sur certains des principaux Oueds : Mellègue dans la vallée de la Medjerda en Tunisie; Cheliff et ses affluents, Fedda, Mina, en Algérie; Oum er Rbia et El-Abid au

Maroc, etc. Les résultats en sont d'ailleurs remarquables et tous ces périmètres d'irrigation sont maintenant des centres de culture très intensive, alors qu'auparavant ils ne produisaient que des récoltes très maigres et incertaines.

En Afrique Occidentale, les zones semi-arides irriguées occupent essentiellement deux régions : la vallée du Niger et la basse vallée du Sénégal.

Dans la première, le périmètre déjà mis en valeur, grâce au barrage de Markala, est important, mais ultérieurement il pourra atteindre environ 400 à 500.000 hectares.

Dans la vallée du Sénégal, au contraire, les travaux de grande hydraulique ne sont encore qu'à l'étude. Seul fonctionne le barrage de Richard Toll sur la Taoué entre le fleuve et le lac de Guiers.

Dans les deux cas d'ailleurs, les régions soumises à l'irrigation proprement dite doivent être accrues de celles très étendues dont l'utilisation se fonde sur l'inondation par les eaux de crue.

Au Soudan, en particulier, on régularise et on étend cette submersion par le jeu d'un grand nombre de petits barrages (Djenné, San, Mopti, Diaka, etc.). Un tel mode d'utilisation de ces sols par irrigation ou submersion n'est cependant pas sans danger.

En effet leur mise en valeur nécessite, si l'on veut les cultiver, qu'ils soient d'abord privés de toute végétation naturelle avant de se couvrir de récoltes : ils sont à ce moment-là sans défense contre l'érosion. En saison sèche c'est l'érosion éolienne qui joue (19) et des méthodes comme celle du « dry farming » ne peuvent que faciliter l'action destructrice du vent (20). Pendant la saison des pluies, au début surtout, ce sont les eaux, qui entraînent le sol et ainsi le dégradent.

Dans toutes ces régions, les méthodes de conservation du sol sont donc d'une importance primordiale.

Si la protection du sol contre la dégradation mécanique qu'est l'érosion par l'eau ou par le vent est assez facile à réaliser quand il s'agit de terres irriguées, celles-ci sont par contre soumises à d'autres processus de dégradation, chimiques ou physico-chimiques.

En beaucoup de ces régions, les eaux d'irrigation sont salées (Mel-lègue en Tunisie, Mina, Habra, Sig en Algérie, etc.); ailleurs ce sont les nappes phréatiques se trouvant à faible profondeur qui le sont (basse Medjerda en Tunisie, Cheliff en Algérie, Massa au Maroc, etc...). Dans un cas comme dans l'autre, l'irrigation ne peut directement, ou indirectement à la suite d'une remontée de la nappe, que provoquer un enrichissement du sol en sel. C'est alors, si le drainage naturel ou artificiel est insuffisant, une zone de sols salés qui se développe (Relizané, Perrégaux en Algérie; les Beni Amir au Maroc, etc.). L'amélioration du drainage et l'utilisation d'amendements au soufre permet d'y parer.

Même au cas où l'irrigation ne provoque pas la formation de sols salés, ou n'accroît pas leur étendue là où ils existaient déjà, cette méthode de mise en valeur tend cependant à diminuer le degré de fertilité des sols. En effet si beaucoup d'entre eux sont naturellement assez riches en matière organique, ils le doivent à l'existence d'une saison sèche très longue qui empêche celle-ci d'être trop rapidement détruite par les micro-organismes. Aussi l'irrigation de sols des types précédemment décrits, amène-t-elle rapidement leur appauvrissement en matière organique et la dégradation de leur structure qui devient beaucoup plus compacte. Le sol irrigué est aussi soumis à un entraînement plus ou moins intense des bases et des éléments fertilisants et, par conséquent, s'acidifie (plus d'une unité pH au Soudan, dans la Vallée du Niger à la suite de quinze ans de culture irriguée). L'utilisation d'engrais verts surtout à enracinement profond, d'amendements et d'engrais chimiques est alors indispensable.

Problèmes posés par la formation de ces sols et leur utilisation. — Les principes essentiels de la formation et de l'utilisation de ces sols des régions semi-arides sont déjà bien connus. Un certain nombre de points posent cependant des problèmes non encore résolus. Nous ne pouvons ici qu'indiquer les principaux tout en reconnaissant que la plupart d'entre eux sont déjà actuellement à l'étude dans les uns ou les autres des différents services d'étude des sols, et de cartographie pédologique.

Problèmes de pédogénèse. — De nombreux sols de ces régions sont caractérisés par leur richesse en matière organique et par la non-migration des éléments colloïdaux entre leurs différents horizons.

Cependant, si les caractères de la matière organique des *Sols Châtains* semblent être assez voisins de ceux, bien connus, des *Chernozems*, il n'en est pas de même pour ceux des *Sols Bruns* et des *Sols Gris*. L'évolution de cette matière organique n'a pu être suivie en détail, et le rôle qu'y jouent des organismes tels que les Termites, n'a pu être nettement défini.

Par ailleurs, ces sols présentent très souvent des horizons profonds plus compacts, plus riches en colloïdes que les horizons supérieurs. Dans certains cas, l'on peut attribuer ces différences à des réactions d'hydrolyse plus poussées dans les horizons profonds moins desséchés. Mais il se peut aussi que l'on doive les attribuer à un appauvrissement en colloïdes des horizons supérieurs par un processus d'érosion. Mais, à part quelques cas particuliers, il apparaît encore très difficile de préciser quel est le facteur réellement responsable des différences observées.

A côté des *Sols Gris Subdésertiques*, existent des *Sols Rouges subdésertiques*; à côté des *Sols Bruns*, des *Sols Bruns Rouges*; à côté des *Sols Châtains*, des *Sols Châtains Rouges*. L'on a souvent admis que la différenciation entre ces groupes homologues était due à des différences climatiques

(de température en particulier). Nous avons pu montrer que les caractères de la roche-mère interviennent également. Peut-être d'autres facteurs peuvent-ils jouer aussi.

En Afrique du Nord, de grandes étendues sont occupées par des sols qui, par certains caractères, se rapprochent des types steppiques, et par d'autres de types formés en climat plus tempéré et sous végétation forestière. Nous les considérons comme des types intermédiaires, complexes, dus à la succession d'évolutions différentes sous l'action de l'homme. La preuve irréfutable de la vérité de cette hypothèse est cependant difficile à apporter.

Les *Sols à Croûte Calcaires*, de même que les *Sols à Concrétions Ferrugineuses*, ou à *Nodules Calcaires* peuvent, nous l'avons montré plus haut, avoir des origines diverses. Mais, à notre connaissance, il est encore bien hasardeux, dans beaucoup de cas, de rechercher la part qui revient à chacune d'elles dans la formation du sol observé. Les caractères morphologiques du sol lui-même, pourront-ils nous le permettre dans tous les cas, à condition d'être étudiés suffisamment en détail?

La formation des divers types de *Sols Salés* pose aussi bien des problèmes dont les éléments sont encore incomplètement connus. Si l'influence des sels de sodium et de magnésium ou du sodium et du magnésium, échangeables dans ces sols, sur leur structure a été élucidée d'une façon qui apparaît comme satisfaisante, par contre leur action sur la constitution même du complexe absorbant n'a pas encore été suffisamment précisée. Les travaux récents ont également mis en évidence le mode de formation des sols salés à carbonate de sodium, mais l'influence de nombreux facteurs, tels que la teneur en matière organique, le mauvais drainage du sol, etc. devraient encore être étudiés plus complètement. Il en est de même des caractères des divers éléments de néoformation de ces sols : efflorescences et croûtes salines, nodules gypso-salins, etc.

Enfin la cartographie pédologique de ces régions semi-arides d'Afrique n'en est qu'à ses débuts. Elle devrait être poussée beaucoup plus activement. En Afrique Occidentale, une coopération a été instituée à cet effet entre pédologues britanniques et pédologues français. Un peu relâchée actuellement, elle devrait, au contraire, être renforcée.

Problèmes de mise en valeur. — Nous avons signalé plus haut, certains dangers que l'irrigation ou l'inondation font courir à ces sols, mais ce n'est que dans quelques cas seulement qu'ils ont pu être précisés : entraînement des éléments basiques, et des éléments fertilisants en général, en profondeur, destruction de la matière organique, dégradation de la structure, etc.

C'est d'ailleurs tout le problème de la transformation de ces sols de régions semi-arides sous l'influence de la masse d'eau que l'homme fait se répandre sur eux, qui nécessiterait des études plus importantes,

ou du moins l'extension de celles qui ont déjà été entreprises. Elles doivent être menées en fonction d'une part des caractères de sols eux-mêmes (type évolutif, texture, etc.), des conditions de leur utilisation (cultures mode d'irrigation, etc.) et de la constitution chimique et physicochimique des eaux (en particulier importance relative de leur apport minéral — en solution ou en suspension — et des éléments fertilisants du sol dans l'alimentation des cultures).

Notons que certains problèmes très particuliers peuvent aussi se poser dans quelques régions; par exemple celui de la mise en valeur des diatomites, des limons et sables à diatomites qui abondent dans les lacs de la rive gauche de la vallée du Niger au Soudan.

L'utilisation « en sec » de ces terres pose d'autres problèmes, tout aussi urgents à résoudre. Nous savons que les méthodes de « culture errante » et l'utilisation, chaque année répétée dans certaines de ces zones, des feux de brousse et de prairie, entraînent une baisse de la fertilité, une dégradation du sol. Mais trop rares encore sont les travaux qui précisent en détail les divers éléments de cette gradation : destruction de la matière organique, transformation de la structure, accroissement de la compacité superficielle ou plus ou moins profonde, modification de la constitution des colloïdes minéraux et de la population, microbienne ou non, etc.

En fait c'est tout le problème de l'équilibre culture-pâturage-jachère forestière qui se pose, au moins sous son aspect technique. Il est bien certain d'ailleurs qu'un équilibre différent doit être retrouvé pour chaque type de sol, en fonction non seulement de son évolution, mais aussi de sa position topographique.

Feux de brousse et culture errante entraînent une destruction de plus en plus complète de la couverture végétale des sols et, par conséquent, les livrent sans protection à l'action de l'érosion. Il serait imprudent de croire, malgré les travaux considérables dus à de nombreux services de défense des sols, en particulier aux États-Unis, que ces problèmes de l'érosion éolienne et de l'érosion par ruissellement sont définitivement connus et que les méthodes les meilleures de conservation de ces sols sont déjà suffisamment précisées et applicables partout.

Un dernier problème enfin a trait aussi bien à la culture irriguée qu'à la culture sèche : l'utilisation des engrais verts. Sans doute le nombre et l'importance des travaux qui leur ont été consacrés sont-ils déjà considérables. Mais qui pourrait dire, pour chaque sol et pour chaque rotation, quel est l'engrais vert le plus adapté; quel est, en fonction de la profondeur de son enracinement, son influence sur le sol, sur la mobilisation de ses éléments fertilisants. Enfin, trop souvent, l'évolution, après enfouissement, de cette matière organique n'a pas été suivie, ni la meilleure date d'enfouissement précisée.

En résumé, l'on peut affirmer que si, dans ces zones semi-arides d'Afrique, de grandes étendues de sols ne paraissent qu'assez peu fertiles, par contre d'immenses surfaces peuvent encore être mises en valeur, ou voir leur productivité considérablement améliorée.

L'étude des problèmes encore en suspens, tant sur le plan théorique que sur le plan pratique de leur utilisation, demeure par conséquent de première importance.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. MAIGNIEN (R.). — *Extension des Sols Bruns et de Sols Bruns Rouges en Mauritanie, au Sénégal et au Soudan*. Commonwealth Conference of tropical Soils. Rothamstead. Juin 1948.
2. AUBERT (G.). — *Les Sols acides et les amendements calcaires en France*. Conférence Centre de Documentation Chimique. Avril 1944.
3. DEMOLON (A.). — *Principe d'agronomie, I. La dynamique du sol*. Paris, Dunod, 1948.
4. H. del VILLAR (E.). — *Les sols du Maroc, L'agronomie marocaine*. Novembre 1943.
5. GAUCHER (G.). — *Les terres à croûte calcaire en Oranie*. C. R. Ac. Sc. Juillet 1947.
6. AGAFONOFF (V.). — *Les sols types de Tunisie*. Annales Serv. Bot. et agronomiques. Tunisie, 1936.
7. DURANI (G.). — *Formation des croûtes gypseuses dans le Sud algérien*. C. R. Somm. Soc. Géol. Fr. Janvier 1950.
8. AUBERT (G.). — *Les sols d'A. O. F.* In Encyclopedie Coloniale, vol. A. O. F.
9. KELLOGG (Ch.). — *Soils and Men*. Yearbook of Agriculture. USDA. Washington. 1938.
10. AUBERT (G.) et NEWSKY (B.). — *Les noms vernaculaires de sols au Sénégal et au Soudan*. Commonwealth Conference of tropical Soils Rothamstead (Angleterre), juin 1948.
11. GAUCHER (G.). — *Les Sols Gris et les Sols Rouges des basses plaines littorales oranaises*. C. R. Ac. Sc. Juillet 1947.
12. SHANT et MARBUT. — *The Vegetation and Soils of Africa by the joint authors and a note on a rainfall map by B. Kincer*. American Geogr. Soc. Research, 1923.
13. AUBERT (G.) et MONJAUZE. — *Influence du déboisement et de l'érosion sur l'évolution des sols en Oranie septentrionale*. C. R. Soc. Biogéog., 1947.
14. AUBERT (G.) et MAIGNIEN (R.). — *Les sols du Sénégal*. C. R. Conf. Médit. Pédologie. Montpellier-Alger, 1947.
15. H. del VILLAR (E.). — *Tirs of Morocco*. Soil Sc., 1943.
16. *Comptes rendus de la Conf. Méd. de Pédologie*. Montpellier-Alger, 1947. Berger-Levrault, 1948.
17. ERHART (H.). — *Sols à nodules calcaires et à gravillons ferrugineux de la Vallée du Niger au Soudan*. C. R. Ac. Sc., 1943.
18. AUBERT (G.). — *Action de la nappe phréatique dans la formation des sols*. Troisième Congrès africaniste. Ibadan (Nigéria), décembre 1949.
19. AUBERT (G.) et MAIGNIEN (R.). — *L'érosion éolienne au Sénégal, Soudan et Mauritanie*. Conférence sur la Conservation des Sols Goma (Congo belge), novembre 1948.
- AUBERT et DUBOIS (J.). — *L'érosion éolienne dans le nord-ouest du Sénégal*. C. R. Conf. Médit. Pédologie, Montpellier, Alger, 1947.
20. CHABROLIN. — *L'érosion éolienne en Tunisie*. C. R. Ac. Agric., 1941.

UNION INTERNATIONALE DES SCIENCES BIOLOGIQUES
INTERNATIONAL UNION OF BIOLOGICAL SCIENCES
Série B (Colloques) N° 9

Les bases écologiques
de la régénération de la végétation
des zones arides

(On the ecological foundations of the regeneration
of vegetation in arid zones)

Stockholm, juillet 1950

*Publication ayant bénéficié d'une subvention
de l'U. N. E. S. C. O.*

AUBERT G.)

Secrétariat général de l'U. I. S. B.

57, rue Cuvier, Paris (V^e)

1951

B14151