

COMPTE-RENDU DE L'EXCURSION EN U. R. S. S.

par A. RUELLAN

L'excursion en U.R.S.S. qui précéda le 8^e Congrès International de la Science du Sol (Bucarest), s'est déroulée du 17 au 27 août 1964.

Après un séjour de trois jours à Moscou, au cours duquel nous avons pu visiter plusieurs Instituts et voir dans les environs de la ville un profil sous forêt de sol « derno-podzolique », le trajet vers le Sud que nous avons suivi fut le suivant : Moscou - Orel - Kursk - Kharkov - Zaporogié - Novaia Kakchovka - Kherson (port sur la Mer Noire). Ce trajet nous a permis de voir en détail des profils de sols gris forestiers, de chernozems, de sols châtains, de solonetz et de solods.

I. — SÉJOUR A MOSCOU

A. — Visite de l'Institut Dokoutchaiev.

C'est assez rapidement que nous avons pu visiter cet Institut; aussi les contacts que nous avons pu avoir avec les chercheurs y travaillant furent très réduits.

Cette visite fut cependant précédée de quelques exposés sur les activités et l'organisation de cet Institut, et nous retiendrons en particulier les exposés faits par Mme LOBOVA et M. CHOUGAROV sur la cartographie des sols.

Trois types de cartes sont réalisés :

- 1^o Les cartes détaillées, généralement à l'échelle du 1/10 000 ou du 1/25 000. Il s'agit de cartes pédologiques destinées aux Agronomes : elles sont donc accompagnées de plusieurs cartes interprétatives (fertilité, éléments fertilisants, pH, profondeur de l'horizon humifère, etc.). Actuellement 65 % des fermes collectives ont été ainsi cartographiées. Prochainement, des cartes encore plus détaillées seront entreprises.
- 2^o Les cartes semi-détaillées, à l'échelle du 1/100 000 ou du 1/200 000. Ces cartes qui peuvent couvrir des Districts, des Républiques, sont avant tout destinées à la planification. Mais elles sont également très utilisées par les Agronomes, en particulier pour connaître les zones intéressées par les résultats d'une station expérimentale. La réalisation de ces cartes est de plus en plus souvent fondée sur les cartes détaillées qui sont de plus en plus nombreuses : les levés directs sur le terrain à cette échelle semi-détaillée deviennent de plus en plus rares. La légende et les couleurs de ces cartes sont standardisées pour l'ensemble du pays : les couleurs désignent les sols zonaux et sous-zonaux; les surcharges en noir traduisent la texture; des signes supplémentaires désignent la présence de types de sols qui n'ont pu être délimités étant donné l'échelle de la carte. L'association de sols est très fréquemment utilisée.
- 3^o Enfin, les cartes à petite échelle qui permettent en particulier d'étudier les lois générales de la répartition des sols. Nous citerons la carte de l'U.R.S.S. au 1/4 000 000, et les cartes des continents, au 1/10 000 000, établies pour l'enseignement sur la base des cartes et des études publiées dans le monde; les légendes sont bien entendu celles de la classification russe : ces cartes font parfaitement apparaître les conceptions très zonalistes de la pédologie russe.

B. — Visite du musée du sol : Académie Villiams.

Sous la direction de Mme PERCHEVA, nous avons parcouru pendant quelques heures une partie de ce musée impressionnant qui contient 3 500 monolithes de sols présentés, avec leurs caractères physiques, chimiques et biologiques, dans leurs milieux écologiques (diagrammes climatiques, photographies des paysages, de la végétation, de la faune, de l'agriculture, etc.).

Nous ne pouvons pas, bien entendu, détailler ici tout ce que nous avons vu et entendu, malheureusement beaucoup trop rapidement, dans ce musée. Nous signalerons seulement quatre choses qui nous ont particulièrement intéressés :

- 1° La très belle collection de chernozems typiques, chernozems profonds, chernozems méridionaux, chernozems lessivés, chernozems podzolisés. Nous reviendrons plus loin sur cette classification des chernozems qui nous a un peu surpris.
- 2° Les collections des sols châtaîns et des sierozems. Ces derniers subdivisés en sierozems clairs, typiques et foncés (pluviométries respectives : 100 mm; 200-250 mm; 300-450 mm) se trouvent dans les zones subtropicales sèches et chaudes : les sierozems typiques et foncés se rapprochent très sensiblement de ce que nous appelons les sols bruns steppiques subtropicaux. Ces sierozems sont séparés des sols bruns désertiques des régions tempérées sèches (pluviométrie : 200 mm).
- 3° Les sols des régions subtropicales humides du Caucase : les krasnozems qui sont rubéfiés en profondeur et les jeltozems qui sont brun-jaune. La pluviométrie de ces régions subtropicales est de 2 500 mm, la température moyenne étant de 15° C.
- 4° Les sols de toundra. Ce sont le plus souvent des podzols peu épais sur permafrost.

C. — Visite de l'Université.

Un court après-midi fut consacré à la visite de quelques étages de cette Université aux dimensions assez impressionnantes.

Une partie de ce grand building est une exposition permanente pour les étudiants, une illustration très détaillée des cours qu'ils suivent.

Sous la direction de plusieurs professeurs, nous avons effectué un tour rapide des sept étages consacrés aux sciences de la terre; un de ces étages concerne les sols et nous y avons retrouvé une très belle exposition de profils de sols parfaitement présentés dans leurs milieux naturels.

II. — L'EXCURSION

Au cours des huit jours qui nous permirent d'aller de Moscou à Kherson, sur la Mer Noire, dix profils de sols nous furent présentés, plus un profil que nous avons vu dans la région de Moscou pendant notre séjour dans cette ville.

Pour suivre l'excursion, nous avons disposé d'un document dans lequel les profils étaient décrits et analysés d'une façon très détaillée : situation géographique et écologique, description du profil, études micromorphologiques, analyses physiques et chimiques, analyses d'argile. Nous n'allons pas ici transcrire ce document mais essayer d'en donner un résumé que nous compléterons de quelques-unes de nos impressions de terrains et de quelques-unes des nombreuses discussions qui suivirent la présentation de chaque profil.

A. — Sol derno-podzolique.

Nous sommes ici encore à quelques kilomètres seulement du Centre de Moscou, sous une forêt mixte de feuillus et de conifères à sous-bois abondant, le sol étant recouvert d'une « pelouse » : c'est de là que provient le terme

« derno ». Pluviométrie annuelle 600 mm; température moyenne annuelle 3,6° C. Le sol est gelé sur 30 à 100 cm pendant quatre à cinq mois de l'année. L'évaporation annuelle n'est que de 550 mm, donc inférieure à la pluviométrie : pendant cinq mois (avril à août), l'évaporation dépasse cependant la pluviométrie; mais ceci n'affecte pas la végétation étant donné toute l'eau accumulée à la fin de l'hiver lors de la fonte des neiges.

D'après la classification russe, nous sommes donc ici dans la partie sud de la zone climatique des sols podzoliques, dans la sous-zone des sols derno-podzoliques.

Le profil, développé sur un dépôt morainique limoneux de la 2^e glaciation (Dniepr), est celui d'un sol lessivé faiblement podzolique. La transition entre l'horizon A₂ et l'horizon B est irrégulière mais brutale. Cet horizon B, dont la limite inférieure se situe vers 120 cm, est essentiellement caractérisé par une rubéfaction assez marquée et surtout par un grand développement des « coatings » argileux (pH très acide : entre 4,2 et 5,2). Teneur en matière organique supérieure à 10 en surface, avec C/N de 17; 1,7 % à 5-10 cm. Le lessivage de l'argile est marqué : 10 % d'éléments inférieurs à 0,001 mm dans l'horizon A, 27 % dans l'horizon B. Les rapports SiO₂/R₂O₃ sont de 11,5 en A₂, 7,5 en B, 10 dans la roche-mère).

Quatre remarques, autour desquelles a tourné la majeure partie des discussions, sont à faire :

- 1° La roche-mère de ce sol est complexe : il s'agit en surface d'un « limon de nappe » qui remanie la moraine. Le dépôt morainique proprement dit ne commence qu'à 50 cm de profondeur; cela correspond au sommet de l'horizon B. Cette superposition de dépôt a pu contribuer à accentuer la transition brutale entre les horizons A et B. Les argiles sont essentiellement de l'illite, de la vermiculite et de la montmorillonite; mais il y a également de la kaolinite dont la proportion augmente dans l'horizon A; la montmorillonite est plus abondante dans l'horizon B que dans l'horizon A.
- 2° Le dépôt morainique est assez rubéfié : le Professeur KUBIENA suggéra que ceci provenait d'une pédogenèse ancienne type tropical datant d'un interglaciaire.
- 3° Ce sol présente des caractères nets d'hydromorphie qui sont volontairement passés sous silence dans la description qui nous a été donnée. Hydromorphie dans l'horizon A₂, sous forme de petites taches et concrétions ferrugineuses : ceci est très probablement la conséquence de la transition brutale entre les horizons A et B. Hydromorphie également dans l'horizon B où se développe entre 85 et 110 cm de profondeur un niveau très net de fragipan. Les Russes ne reconnaissent pas la présence de cette hydromorphie.
- 4° Pour nos collègues soviétiques, on ne parle ici que de podzolisation : ils ne font pas de distinction entre lessivage et podzolisation, ce qui provoqua, tout au long de l'excursion, de très nombreuses discussions.

B. — Sol gris forestier foncé.

A 100 km environ de Moscou, on pénètre dans un pays au relief plus accidenté. Par ailleurs en traversant l'Oka, nous avons changé de « zone climatique », la différence essentielle portant sur le « coefficient d'humidité » c'est-à-dire sur le rapport entre la pluviométrie annuelle et l'évaporation annuelle, rapport auquel les Russes attachent une grande importance : au Nord de l'Oka ce rapport est supérieur à 1; au Sud il est inférieur à 1. Nous sommes maintenant dans une région où il pleut environ 500 mm, la température moyenne annuelle étant de 4,4° C. Le sol est gelé sur 20 à 30 cm, quelquefois 60 cm, pendant quatre mois de l'année.

A ce changement de zone climatique correspond un changement dans les types de sols : nous avons quitté la zone des sols podzoliques pour entrer dans celle des sols gris forestiers qui, pour les Russes, sont un peu des sols de transition vers les chernozems qui apparaissent un peu plus au Sud.

Comme leurs noms l'indiquent, ces sols gris forestiers sont des sols de forêts ou plutôt furent des sols de forêts : actuellement une très grande partie de ces forêts a disparu.

Les Russes distinguent trois types de sols gris forestiers : les sols gris clair au Nord, les sols gris, les sols gris foncé au Sud.

Le sol que nous avons vu est un sol gris foncé, sous une forêt de chênes, tilleuls et érables. La roche-mère est un limon non calcaire remaniant un dépôt morainique.

Le profil se rapproche de celui d'un sol brun lessivé, l'horizon B commençant, très graduellement, vers 40 cm. Le lessivage de l'argile est marqué (18 % d'éléments inférieurs à 1 micron dans l'horizon A; 30 %

dans l'horizon B). Les argiles sont surtout des illites, de la kaolinite et un peu de montmorillonite interstratifiée; les proportions d'illites et de kaolinite sont plus fortes dans l'horizon A que dans les horizons B et C.

Cependant plusieurs faits sont, dans ce type de sol, assez originaux :

- 1° Sa teneur en matière organique est très élevée en surface : plus de 10 %, et se maintient assez forte en profondeur. On est encore loin de la répartition isohumique, mais il y a tout de même 2,5 % à 20-30 cm et 1 % à 50-60 cm. Il s'agit d'un mull, le rapport C/N oscillant entre 11 et 12. Cette matière organique est riche en acides humiques (33 à 43 % du carbone total) et le rapport acides humiques sur acides fulviques est supérieur à 1 : nous sommes loin des sols derno-podzoliques où la quantité d'acides humiques était très faible. On se rapproche au contraire beaucoup des chernozems : cependant, par rapport aux chernozems, la densité optique des acides humiques des sols gris forestiers est plus forte (3,7 - 3,8 au lieu de 3,0 - 3,6; cette densité est supérieure à 4,0 dans les sols derno-podzoliques) et surtout, d'une part la composition de ces acides humiques varie avec la profondeur (dans les chernozems elle est très constante) et d'autre part, des formes mobiles se trouvent parmi ces acides humiques.
- 2° A l'observation du profil, la différenciation entre les horizons A et B est assez faible. Elle est marquée par la structure, par les revêtements, mais dont le développement est assez faible, par un certain lessivage des substances humiques, et surtout par la présence dans l'horizon A, dès 15 cm de profondeur, d'une fine poudre blanchâtre tapissant la surface des agrégats : il s'agirait de silice laissée après le lessivage de l'argile. Signalons cependant que cette poudre blanchâtre se retrouve, quoique en moins grande quantité, dans les 30 - 40 premiers cm de l'horizon B. Les pédologues russes en concluent qu'en plus du lessivage il y a une podzolisation qui affecte l'horizon A et le sommet de l'horizon B. Les rapports $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ sont de 8,8 en surface, 7,5 dans A et au sommet de B, 6,6 dans B, 7,6 dans C.
- 3° Le pH est de 6,3 en surface et diminue progressivement avec la profondeur : il est de 5,0 à la base de l'horizon B. Cette diminution du pH en profondeur ne serait cependant pas caractéristique des sols gris forestiers. Notons que malgré ces pH, le complexe adsorbant, qui diminue avec la profondeur en fonction de la teneur en matière organique (près de 40 meq/100 g en surface; 15 à 19 dans l'horizon B) est, d'après les résultats analytiques fournis, complètement ou presque complètement saturé (calcium dominant), ce qui reste étonnant.

Notons pour terminer que les Russes admettent l'intervention de deux zonalités climatiques dans la répartition des sols gris forestiers :

— Une zonalité Nord-Sud : gris clair, gris, gris foncé. Les différences essentielles résident d'une part dans la « podzolisation » plus forte au Nord qu'au Sud; d'autre part dans la teneur en matière organique et dans l'épaisseur de l'horizon riche en matière organique : les sols gris clair ont 2-3 % sur une faible épaisseur, les sols gris ont 5 % sur 20-25 cm, les sols gris foncé ont 7-10 % sur 30-35 cm.

— Une zonalité Est-Ouest : vers l'Est, un horizon carbonaté remonte vers la surface et tout à fait à l'Est apparaissent des signes de gleyification liés au perma-frost. Vers l'Ouest, une néoformation d'argile s'ajoute à l'accumulation par lessivage et on passe progressivement aux sols bruns forestiers.

Enfin les pédologues russes admettent qu'au Nord comme au Sud, la limitation des sols gris forestiers n'est pas aussi nette que le voudrait le principe de la zonalité climatique : au Nord il y a influence de la roche-mère (sol derno-podzolique sur roche-mère légère; gris forestier sur roche-mère plus lourde). Au Sud, il y a surtout influence de la végétation, et la zone de transition entre les sols gris forestiers et les chernozems est très large : les sols gris forestiers sont alors souvent la conséquence de l'installation de la forêt sur des chernozems qui s'étaient formés sous steppes.

C. — Les chernozems.

Notre route, entre Moscou et Kherson, traversant la zone des chernozems pendant plus de 1.000 km, ce furent bien entendu ces sols, dont la variété est grande, qui constituèrent le « plat de résistance » de notre excursion.

Entre les limites Nord et Sud de cette bande de chernozems que nous avons traversée, on peut, assez grossièrement, distinguer quatre zones pédologiques :

1° De Tula à Kursk, nous sommes sur le plateau central de la Russie (Crétacé; couverture quaternaire : c'est une zone de transition entre les moraines et les loess), au relief assez accentué. Nous entrons ici dans le domaine de la forêt-steppe : la végétation naturelle, qui n'est actuellement conservée que dans quelques réserves, est une association de prairies et de forêts de chênes. Le climat peut se définir rapidement par les éléments suivants : 550 à 600 mm de pluie; « coefficient d'humidité » voisin de 0,9; température moyenne annuelle : 6 à 7° C; Le sol est gelé de novembre à avril en moyenne sur 60 à 80 cm.

Cette zone est encore assez largement dominée par les sols gris forestiers, mais ils sont en association avec des « chernozems podzolisés » qui s'étendent dans les zones de prairies. Nous n'avons malheureusement pas eu l'occasion de voir ces « chernozems podzolisés » qui sont probablement des sols intermédiaires entre les sols gris forestiers, qui seraient dans le cadre de la classification française un sous-groupe particulier, voisin des sols bruns lessivés, et les chernozems.

2° De Kursk à Krasnograd, situé à une trentaine de kilomètres au Sud de Kharkov, nous terminons de traverser le plateau central, et nous abordons au Sud de Kharkov la plaine de Poltava au relief beaucoup plus calme, moins disséqué, simplement découpé par quelques larges vallées dans lesquelles se développent des systèmes de terrasses caractéristiques. Dans toute cette zone, la roche-mère des sols est le plus souvent constituée par les loess. Nous n'avons pas de renseignements climatiques sur cette zone. C'est toujours le domaine de la forêt-steppe, avec une extension naturelle de moins en moins grande de la forêt.

Cette zone est celle des chernozems profonds, très riches en matière organique au Nord, un peu moins vers le Sud, que les Russes subdivisent en « chernozems typiques » et « chernozems lessivés ». Ces deux types de sols étant très étroitement associés en fonction du micro-relief.

Dans cette zone nous avons vu deux chernozems typiques près de Kursk et un sol gris foncé forestier près de Kharkov.

3° A Krasnograd, on aborde les grandes plaines steppiques où toute forêt naturelle est inexistante. Et jusqu'à quelques kilomètres au Sud de Zaporogié, c'est le domaine des « chernozems ordinaires », sauf dans les quelques grandes vallées qui coupent cette plaine où se situent des sols de prairies « chernozémiques » salés et alcalisés.

L'épaisseur des loess est devenue très importante : 20 à 25 m subdivisés en trois ou quatre niveaux que les sols fossiles permettent de séparer facilement.

Les principales données climatiques sont les suivantes : température moyenne de janvier : 6,0 à 6,9° C; température moyenne de juillet : 21 à 22° C; pluviométrie : 410 à 490 mm, dont 50 % entre mai et août; coefficient d'humidité : 0,5 à 0,6, l'humidité de l'air étant souvent très faible (moins de 30 %). Le sol est gelé de décembre à avril sur une moyenne de 50 à 60 cm.

Le développement de la culture mécanisée, l'intensité souvent très forte des pluies, le dégel rapide qui se produit au printemps, entraînent dans toute cette zone le développement d'une érosion active à laquelle s'ajoute surtout vers le Sud et le Sud-Est, une érosion éolienne importante.

Dans cette zone nous avons pu voir un profil de « chernozems ordinaires ».

4° Entre la rivière Kanskaya et la Mer Noire s'étend une grande plaine côtière, très irrégulière, très peu disséquée, simplement ponctuée de nombreuses dépressions fermées dont les dimensions varient de quelques mètres carrés jusqu'à dix kilomètres carrés, et que les Russes appellent des « pods ». Leur profondeur peut atteindre 8 mètres. L'origine de ces pods est très discutée.

Jusqu'à une trentaine de kilomètres de la mer, cette zone est recouverte par les « chernozems du Sud », associés à des solods qui se développent dans les pods.

La roche-mère est toujours le loess qui recouvre ici des dépôts pliocènes. Ce loess est gypseux et salé dès 2-3 m de profondeur.

Les données climatiques sont les suivantes : température moyenne annuelle : 10° C; température moyenne de janvier : — 4 à — 6° C; température moyenne de juillet : 20 à 23° C; pluviométrie : 350 à 520 mm dont 70 % pendant le printemps et l'été; cependant, 70 % des étés sont très secs; coefficient d'humidité : 0,4 à 0,6. Le sol est gelé de fin décembre à la mi-mars, sur une moyenne de 25 à 30 cm.

L'érosion par l'eau est très peu développée étant donné la platitude du relief. Il n'en est pas de même pour l'érosion éolienne.

Dans cette zone, nous avons pu voir un profil de « chernozems du Sud ».

Examinons rapidement les cinq profils de sol qui nous furent montrés.

1° *Chernozem profond typique, sous steppe, au Sud de Kursk.*

Le profil a été creusé dans une steppe naturelle protégée. La roche-mère est un lœss limono-argileux (98 à 99 % d'éléments inférieurs à 0,05 mm).

Ce sol présente en gros trois horizons : de 0 à 90 cm, un horizon très uniformément noirci devenant seulement un peu plus clair vers 50-60 cm. Puis de 90 à 120 cm un horizon de transition avec le lœss, horizon où se développent en quantité les « crotovinas » ; ces crotovinas sont soit noires soit au contraire très claires (remontée du lœss qui peut se produire jusque vers 70-80 cm de profondeur). Enfin le lœss de couleur très claire où les crotovinas se retrouvent jusqu'à 2 mètres et plus de profondeur.

En ce qui concerne la structure, elle est d'après la description donnée dans le guide de l'excursion, très grenue jusque vers 120 cm de profondeur, et devient faiblement prismatique dans le lœss. En réalité, nous avons été frappés par le fait que la structure n'est vraiment grenue que sur les 20 premiers cm. Au-dessous, elle devient assez anguleuse et dès 30-40 cm elle est à tendance prismatique. Par ailleurs, cette structure est surtout hétérogène dans ces formes et dimensions, ceci étant dû au travail des animaux.

Le calcaire apparaît vers 90 cm de profondeur, atteint un maximum de 7 % vers 120-130 cm puis diminue progressivement (présence de concrétions calcaires à 150 cm). Cette répartition du calcaire prouve que le sol est un peu lessivé : dans un chernozem vraiment typique, l'accumulation maxima de calcaire se situe plus haut, dans l'horizon de transition entre le sol et lœss. Par ailleurs, la profondeur à laquelle apparaît le calcaire serait variable d'une année à l'autre en fonction de la climatologie. Enfin, dans les « chernozems lessivés » il ne peut y avoir du calcaire jusqu'à 2 mètres de profondeur. Le sommet du lœss n'est donc pas vraiment un horizon C d'autant plus qu'il est légèrement structuré (prismatique) : c'est un B calcaire et structural.

La teneur en matière organique est ici de 9,2 % en surface, 4,8 % à 40-50 cm, 1,5 % à 110-120 cm, 0,6 % à 140-150 cm. Il y a souvent 10 à 11 % de matière organique en surface. Il s'agit d'une matière organique bien humifiée (C/N = 11 à 12 sur tout le profil), riche en acides humiques (acides humiques sur acides fulviques = 1,8 à 3,4 sauf dans l'horizon d'accumulation du calcaire où il tombe à 0,8, ceci provenant du lessivage des acides fulviques).

Le complexe absorbant serait complètement saturé (70 à 85 % de calcium; le reste en magnésium). Cependant les pH sont légèrement acides jusqu'à 60 cm : 6,3 à 6,7; ils deviennent ensuite neutres puis progressivement basiques; dans les lœss, le pH est de 8,6. Les rapports $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ sont constants sur tout le profil (entre 9 et 10). La composition de l'argile est également très constante sur tout le profil; il s'agit d'illite, de montmorillonite interstratifiée et d'un peu de kaolinite.

2° *Chernozem profond typique, sous forêt, au Sud de Kursk.*

Nous sommes toujours ici dans une zone où la végétation naturelle est protégée, au sommet d'une faible ondulation du relief. Le lœss est un peu plus grossier. La forêt serait installée depuis deux cents ans. L'essence dominante est le chêne plus quelques tilleuls et ormes.

L'aspect de ce profil est assez voisin du précédent, en ce qui concerne l'épaisseur des horizons et les couleurs. La limite inférieure de l'horizon très noir, vers 90 cm de profondeur, est cependant plus nettement marquée. La structure est encore plus polyédrique que dans le profil précédent.

L'horizon d'accumulation du calcaire est donc plus épais sous forêt que sous steppe. Des concrétions calcaires se développent vers 150 cm. La profondeur à laquelle apparaît le calcaire serait encore plus variable que dans le profil précédent du fait de l'enracinement des arbres.

La teneur en matière organique n'est ici que 7 % en surface, et décroît un peu plus vite en profondeur que dans le profil précédent (3,6 % à 50 cm, 0,8 à 110-120). Le rapport C/N est le même (11 à 12). Mais d'une part il y a moins d'acides humiques, d'autre part il y a plus d'acides humiques libres.

Le pH est de 7,4 en surface, puis oscille entre 5,5 et 6,0 jusqu'à 80 cm de profondeur. Il remonte ensuite pour atteindre 8,4 dès 150 cm de profondeur.

Les rapports $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ et la composition de l'argile sont à peu près identiques à ce qu'ils sont dans le profil précédent.

Ce sol se présente donc comme un chernozem un peu dégradé : il est étonnant que cette dégradation ne soit pas plus forte après deux cents ans de forêt. Pour les Russes cela proviendrait d'un changement de texture vers 220 cm qui gêne le drainage et par conséquent ce qu'ils appellent la « podzolisation ».

3° Sol gris forestier, au Sud de Kharkov.

Le profil que nous avons vu au Sud de Kharkov, à la limite sud des forêts-steppes, se développe sous une forêt qui aurait plus de douze mille ans; forêt de chênes, tilleuls, frênes, érables et noisetiers. La roche-mère est un loess assez semblable à celui du profil précédent, mais assez nettement plus argileux (40 à 45 % d'éléments inférieurs à 0,001 mm, au lieu de 30 %; 90 à plus de 95 % d'éléments inférieurs à 0,05 mm).

Comme pour le sol vu beaucoup plus au Nord dans la région de Tula, ce sol gris forestier se rapproche morphologiquement d'un sol brun lessivé. Ici la transition entre les horizons A et B est très nette, assez brutale. Le lessivage de l'argile d'après les analyses, n'est cependant pas très important : 30 à 35 % dans l'horizon A (éléments inférieurs à 0,001 mm), près de 40 % dans l'horizon B, et la roche-mère est encore plus argileuse. Cet horizon B, à structure prismatique, est très compact. L'horizon A est marqué par cette fine poudre blanche qui nous avait déjà étonné dans le profil vu près de Tula.

La teneur en matière organique est de 6,5 % en surface, 1,6 % à 30-40 cm, 0,5 à 65-75 cm; le rapport C/N est de 10 à 11 dans l'horizon A. Le rapport acides humiques sur acides fulviques est 0,9 en surface, 2,7 à 50-60 cm. La densité optique est de 4,1 en surface, 3,5 à 30-40 cm.

Pour les Russes, ce sol est avant tout un chernozem dégradé, « podzolisé » : mis à part ce terme de podzolisé, qui pour nous est de trop, il semble bien qu'il en soit ainsi. Du chernozem, ce sol conserve en particulier d'une part la présence de crotovinas, d'autre part une teneur assez élevée en matière organique (remarquons que cette teneur est cependant nettement plus faible que celle des sols gris foncés du Nord). Mais cette matière organique est d'une composition déjà très éloignée de celle des chernozems typiques; par ailleurs sa répartition en fonction de la profondeur n'a plus grand-chose de steppique; enfin sa composition varie avec la profondeur : tout ceci, s'ajoutant au lessivage, en fait un sol gris forestier qui n'est pas ici un sol « climatique », un sol de transition, comme celui vu au Nord, mais bien un chernozem dégradé par la forêt. (Les sols gris forestiers de la région de Kharkov ne proviendraient cependant pas tous de la dégradation de chernozems : il existerait des sols gris et gris clair qui auraient toujours été sous forêt.)

Signalons pour terminer une différence essentielle entre les deux sols gris forestiers que nous avons vus : dans le sol de Tula, le pH était franchement acide; 6,3 en surface, 5,0 en profondeur. Dans la région de Kharkov, il est au contraire neutre et basique : 6,8 à 7,0 en surface, 7,8 en profondeur, donc identique à ceux d'un chernozem typique. Ceci n'empêche pas les pédologues soviétiques de parler de podzolisation; cette réaction neutre ou basique serait due, d'après eux, à l'évaporation assez forte qui règne dans cette région; évaporation qui ferait remonter vers la surface les solutions salines. Ces pH élevés nous ont malgré tout étonnés; le chernozem typique, sous forêt depuis deux cents ans dans la région de Kursk était nettement plus acidifié par rapport à un chernozem sous steppe. C'était 250 km plus au Nord, sous un climat plus humide; les « chernozems ordinaires » qui apparaissent quelques kilomètres au Sud de Krasnograd ont des pH de 7,6 à 7,8, donc nettement plus basiques que ceux des chernozems typiques.

4° Chernozem ordinaire au Sud de Novomoskovsk.

Le profil que nous avons pu voir était situé sous culture : dans cette zone, les steppes naturelles sont devenues très rares.

La roche-mère est toujours un loess : 90 à 100 % d'éléments inférieurs à 0,10 mm; 40 % d'éléments compris entre 0,01 et 0,10 mm; 35 à 40 % d'éléments inférieurs à 0,001 mm.

Ce profil présente quatre horizons assez bien marqués :

— De 0 à 30 cm, horizon cultivé : il est d'une couleur nettement plus claire que l'horizon sous-jacent et surtout la structure y est très détruite, et se présente le plus souvent sous la forme de gros polyèdres assez compacts. Une semelle de labour très nette marque la base de cet horizon. Cet horizon contient 5 % de matière organique, à rapport C/N de 11,5, riches en acides humiques : cette richesse organique n'oppose que peu de résistance à la dégradation physique provoquée par la culture hautement mécanisée. Ceci semble donc confirmer que ce ne sont pas les humus très évolués qui peuvent maintenir les sols cultivés en bon état structural.

— De 30 à 50-60 cm, le sol est bien noir d'une façon assez uniforme. La structure n'est pas ou peu finement grenue à grumeleuse comme l'indique la description qui nous a été communiquée. Elle est au contraire assez grossière (agrégats d'un cm et plus) et à tendance assez nettement polyédrique; à la base elle est même prismatique. A la base de cet horizon il y a des crotovinas clairs (remontée du lœss).

— De 50-60 cm à 80 cm, horizon de transition vers le lœss, à structure prismatique bien développée.

— Enfin le lœss : les pédologues soviétiques en font, comme pour les profils précédents, l'horizon C. En réalité il est particulièrement net ici que, sur une assez grande profondeur, c'est encore un horizon B : B structural étant donné la structure prismatique bien développée, nettement plus que dans les chernozems typiques; B calcaire étant donné la présence d'un horizon d'accumulation de calcaire, entre 80 et 120 cm, sous la forme de taches, granules et nodules. Le lœss contient bien entendu des crotovinas mais en nombre assez faible.

Les teneurs en calcaire ne nous ont pas été communiquées. Le calcaire apparaît ici vers 40 cm : généralement il commence un peu plus profondément, vers 50-60 cm. Il atteint un maximum de 20 % environ, entre 60 et 140 cm de profondeur.

Il y a 5 % de matière organique en surface, 3,5 % à 30-40 cm, 2,1 % à 50-60 cm, 1 % à 70-80. Matière organique très évoluée : C/N de 11,5 en surface, 10 à 50-60 cm, 6 à 70-80 cm. Les rapports acides humiques sur acides fulviques sont de 2,3 en surface, 1,2 à 50-60 cm, 0,4 à 70-80. Ce sol n'a donc plus, sur l'ensemble du profil une composition homogène de la matière organique qui caractérisait les chernozems typiques du Nord.

Ce sol n'est absolument pas salé. Plus profondément le lœss est gypseux et salé. Le pH est de 7,6 en surface, 7,4 à 30-40 cm, 7,8 jusqu'au lœss. La composition totale du sol est assez uniforme sur l'ensemble du profil ($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ oscille entre 8,6 et 9,4). Les argiles sont des illites, de la montmorillonite interstratifiée et un peu de kaolinite.

5° Chernozem du Sud, près de Melitopol.

La roche-mère de ce sol est encore un lœss : 97 à 98 % d'éléments inférieurs à 0,05 mm; 36 à 38 % d'éléments compris entre 0,01 et 0,05 mm; 40 % d'éléments inférieurs à 0,001 mm. Le sol est cultivé.

La succession des horizons est la suivante :

— De 0 à 25 cm, l'horizon cultivé à structure assez dégradée.

— De 25 à 55-60 cm, un horizon brun assez noir, surtout vers le haut, à structure prismatique très bien développée : cette structure n'était pas signalée dans le guide qui n'indique toujours qu'une structure finement grenue et grumeleuse. La limite inférieure de cet horizon est assez nettement marquée.

— De 55-60 à 100 cm, c'est déjà, pour nos collègues d'U.R.S.S., la roche-mère : c'est en réalité l'horizon d'accumulation du calcaire très bien marqué par la présence de nombreuses taches, granules et nodules calcaires qui sont surtout concentrés entre 65 et 85 cm. Cet horizon a une structure prismatique très développée qui se poursuit en profondeur. Le calcaire apparaît vers 45-50 cm; il atteint un maximum de 16,1 % dans l'horizon d'accumulation.

La teneur en matière organique est assez faible : 3,4 % en surface, 2,2 % à 30-40 cm, 1,2 % à 50-60, 0,6 % à 95-100 cm, le C/N passant de 11,0 en surface à 7,8 en profondeur. Les rapports acides humiques sur acides fulviques sont de 2,1 à 2,6 jusqu'à 50 cm, puis ils sont inférieurs à 1,0 (0,4 à 95-100 cm).

Ce sol n'est pas salé, mais une légère salure commence à apparaître vers 140 cm. Les pH sont assez alcalins : 7,8 en surface, 8,0 à 50-60 cm, 9,3 à 140-150 cm (alcalisation sodique probable à ce niveau).

La composition de l'argile est la même que dans les profils précédents.

Nous pensons que dans le cadre de la classification française, ce sol est beaucoup plus un sol châtain qu'un chernozem : la structure, la teneur en matière organique, le profil calcaire, tout ceci rappelle le sol châtain. Des chernozems vus plus au Nord nous ne retrouvons ici que la transition nette entre l'horizon organique et l'accumulation du calcaire, et les crotovinas.

Signalons pour terminer que les pédologues d'U.R.S.S. voient dans ce sol quelques signes de solonetzisation : ce sont essentiellement l'augmentation de la teneur en argile avec la profondeur (cette augmentation est bien faible 39 % en surface, 42 % à 140-150 cm) la forte densité de l'horizon de transition entre l'horizon organique et le lœss, la diminution avec la profondeur du rapport $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ (8,6 en surface; 7,9 à 50-60 cm; 6,8 à 150 cm), le pH alcalin, la présence de sels solubles en profondeur.

En conclusion de ce paragraphe consacré aux chernozems, nous pouvons tenter de placer ces sols dans le cadre de la classification française.

Rappelons que les pédologues soviétiques distinguent les types suivants :

- chernozems podzolisés;
- chernozems lessivés;
- chernozems typiques;
- chernozems ordinaires;
- chernozems du Sud;
- chernozems de prairies;
- chernozems de prairies salés;
- chernozems de prairies alcalisés.

A ceci s'ajoute la profondeur du sol, qui dépend de la roche-mère, mais qui dépend également de la « zonalité provinciale » : quand on va vers l'Est, vers l'Asie, le climat devient plus continental, l'air plus sec et les pluies tombent de plus en plus en été; il s'ensuit des horizons humifères plus riches mais moins épais, et le calcaire s'accumule plus près de la surface : il peut même apparaître en surface. Les sels solubles apparaissent également plus près de la surface.

L'ensemble de ces sols pourrait être ici classé de la façon suivante :

a) Eliminons tout d'abord les chernozems de prairies que nous n'avons pas vus et qui ne nous ont pas été décrits; nous ne pouvons pas les classer. Nous pouvons simplement supposer qu'il serait peut-être nécessaire de créer un sous-groupe halomorphe.

b) Les chernozems lessivés, les chernozems typiques et les chernozems ordinaires sont à regrouper dans un même sous-groupe des chernozems typiques. Cependant, on devrait distinguer deux faciès en fonction de la richesse en matière organique, c'est-à-dire séparer à ce niveau les chernozems typiques des chernozems ordinaires (auxquels il faudrait trouver une autre dénomination). La profondeur à laquelle s'accumule le calcaire, caractère qui sépare les chernozems lessivés des chernozems typiques, ne doit apparaître qu'au niveau de la série. Il en est de même pour la profondeur du sol (épaisseur de l'horizon organique, profondeur à laquelle apparaît le calcaire).

c) Les chernozems du Sud sont à classer dans le groupe des sols châtaîns.

d) Les chernozems podzolisés, que nous n'avons pas vus mais qui nous ont été suffisamment décrits, sont à classer dans un sous-groupe de chernozems dégradés.

D. — La zone des sols châtaîns.

Cette zone est une bande allongée d'une trentaine de kilomètres de large le long de la Mer Noire : c'est l'extrémité de la grande plaine côtière qui commence à la rivière Korskaya, plaine à soubassement pliocène recouvert par des argiles puis par les loess.

La température moyenne du mois de juillet est ici de 23 à 24° C; celle de janvier est de — 3, — 4° C. Le sol gèle en moyenne sur 30-40 cm d'épaisseur. La pluviométrie annuelle est de 340-360 mm. Le coefficient d'humidité est un peu inférieur à 0,4.

Cette bande se divise en deux zones, toutes deux parallèles à la côte : une zone intérieure où les sols châtaîns foncés dominent largement sur les solonetz et les solods que l'on retrouve dans les « pods »; une zone côtière où les sols châtaîns foncés, les solonetz et les solods sont étroitement associés.

1° Sol châtaîns foncés.

Nous sommes ici à l'extrémité occidentale des sols châtaîns de l'U.R.S.S. qui sont surtout développés en Sibérie et près de la Volga. Les pédologues soviétiques les subdivisent en sols châtaîns clairs, sols châtaîns et sols châtaîns foncés.

Le profil de sol châtain foncé que nous avons pu voir, ainsi que le solonetz et le solod, est situé dans une réserve de 10 000 hectares qui fut créée en 1817.

D'après le guide de l'excursion on distingue dans ce sol six horizons :

— A₀, de 0 à 8 cm : ce serait un horizon légèrement solodisé essentiellement marqué par la présence d'une fine poudre blanche sur les faces des agrégats; cette poudre n'est guère visible. Mais ce qui caractérise surtout cet horizon, c'est une structure assez dégradée à tendance lamellaire.

— A₁, de 8 à 25 cm; la structure y est nuciforme à polyédrique.

— Trois horizons B : B₁ de 25 à 38 cm; B₂ de 38 à 50 cm; B₃ de 50 à 65 cm. En réalité les horizons A₁, B₁ et B₂ sont très difficilement séparables, de couleur brun foncé s'éclaircissant légèrement vers le bas, la structure devenant avec la profondeur progressivement plus prismatique : mais cette structure prismatique n'est jamais très développée. B₁ est un horizon d'accumulation d'argile, avec de très légers « revêtements » sur les agrégats. Par contre, entre B₂ et B₃, la couleur change rapidement, devient brun clair; dans B₃ la structure est prismatique.

— B C de 65 à 102 cm : c'est l'horizon d'accumulation du calcaire avec taches et granules. La structure y est encore prismatique.

Le loess est comme d'habitude riche en éléments inférieurs à 0,001 mm et éléments compris entre 0,01 et 0,05 mm. Et ici, la texture du profil n'est pas homogène : il y a une accumulation nette d'argile dans l'horizon B₁ (30 % en surface, 39 % dans B₁, 32 % dans C). Ce serait un premier signe de solonetzisation.

Un deuxième signe de solonetzisation serait la présence d'un peu de sodium échangeable : 4 à 6 % du complexe, les pH ne sont que de 7,1 en surface, 8,0 au sommet du loess.

La teneur en matière organique est de 4,6 % en surface, donc plus élevée que dans le « chernozem du Sud ». Mais elle décroît plus rapidement avec la profondeur (1,7 % à 30-35 cm, 1,2 % à 45-50 cm). La composition de cette matière organique est semblable à celle des « chernozems du Sud »; elle est cependant un peu plus pauvre en acides humiques. Par ailleurs les pédologues d'U.R.S.S. insistent sur l'importance des acides humiques extraits, dans les 10 premiers cm du sol, par la soude : ceci serait dû, en partie, à une peptisation provoquée par le sodium échangeable, qui est pourtant en faible quantité (6 %).

Le sol est décalcifié jusque vers 50 cm de profondeur. L'accumulation maxima est de 20 % à 70-75 cm. Le loess en contient 10 %. Le sol n'est pas salé. Par contre, au-delà de 200 cm, le loess est fortement salé : de 2 à 15 ‰; il s'agit essentiellement de sulfate de calcium.

Le rapport SiO₂/R₂O₃ est constant sur tout le profil (7 à 8) sauf en surface où il est de 9,7.

Pour les pédologues soviétiques, ce sol est donc un sol châtain légèrement solonetzique. Nous pensons qu'il s'agirait plutôt d'un sol châtain typique.

2° Solonetz.

Ces sols, qui nous sont présentés comme « solonetz de steppe », seraient des solonetz résiduels et steppisés : ils se seraient formés à une époque où la nappe phréatique était plus proche de la surface. Ceci explique que si ces sols possèdent nettement les caractères morphologiques des solonetz, ils ont par contre perdu une partie de leurs caractères chimiques.

Dans le sol que nous avons pu observer, les horizons étaient les suivants :

— Un horizon A, de 0 à 15 cm, de couleur grise, saupoudré de poudre blanche siliceuse (surtout entre 5 et 15 cm), à structure lamellaire très marquée. La teneur en argile est de 22 à 30 % (éléments inférieurs à 0,001 mm).

— Un horizon B textural de 15 à 45-50 cm; de couleur brun foncé, un peu plus clair vers le bas, cet horizon, très compact, possède une structure prismatico-columnaire devenant cubique vers le bas. Sa teneur en argile est de 43 %. La transition entre les horizons A et B est très brutale.

— Un horizon B calcaire de 45-50 cm à 100 cm, de couleur brun clair, contenant des taches et granules nombreux.

— Le loess (40 % d'éléments inférieurs à 0,001 mm; 32 % d'éléments compris entre 0,01 et 0,05 mm; 93 % d'éléments inférieurs à 0,05 mm), contenant du gypse cristallisé en assez grande quantité.

Les taux de matière organique sont de 3,4 % en surface, 1,8 % à 20 cm, 1,3 % à 35 cm. Si on les compare à celle des sols châtaîns, les teneurs en acides humiques sont plus faibles mais les rapports acides humiques sur acides fulviques restent supérieurs à 1; cependant les proportions d'acides humiques libres sont beaucoup plus fortes.

Les pH sont faibles en profondeur pour un solonetz : 7,3 à 7,6 dans l'horizon A; 7,6 dans l'horizon B; 8,2 à 8,6 dans le B calcaire et dans le loess. Les taux de sodium échangeable sont très faibles : ils ne dépassent pas 3 %. Enfin, les sels n'apparaissent en quantité appréciable, quoique faible (2 à 3 ‰), que dans l'horizon B calcaire puis dans le loess.

Les rapports $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ sont de 11 à 12,5 dans l'horizon A, 6 à 8 dans l'horizon B, 10 dans le loess. Signalons que les examens microscopiques révèlent la présence de petites concrétions de fer dans les horizons A et B : les pédologues russes en déduisent que la migration de l'argile est accompagnée de processus de destruction et de néoformation d'argiles.

Rappelons enfin que ces solonetz sont en association étroite avec des sols châtaîns et qu'il existe entre ces deux types de sols tous les intermédiaires possibles.

3° Solod à gley.

C'est dans les « pods », où les sols sont régulièrement saturés par les eaux de ruissellement (des étangs peuvent se former une fois tous les 5 à 15 ans), que l'on trouve ces solods très hydromorphes.

Le profil que nous avons vu présentait les horizons suivants:

— De 0 à 5-10 cm : horizon humifère.

— De 5-10 cm à 15-50 cm : horizon A_2 , très blanchi, friable, à structure lamellaire très développée (cette structure n'existe cependant pas partout; elle peut être fondue). La teneur en éléments inférieurs à 0,001 mm est de 17 à 25 %. La limite inférieure de cet horizon est très ondulée : ces ondulations, c'est-à-dire l'intensité du lessivage, seraient liées au micro-relief.

— De 15-50 cm à 100 cm : horizon B, à couleur gris verdâtre; très compact; structure prismatique très développée (les prismes peuvent avoir 30 cm de long et 10 cm de large). Il y a de nombreuses taches et concrétions de fer. La teneur en éléments inférieurs à 0,001 mm est de 51 %.

— Le loess, toujours très hydromorphe (couleur gris verdâtre et nombreuses taches et concrétions de fer), très compact. Les teneurs en éléments inférieurs à 0,001 mm continuent à augmenter progressivement avec la profondeur : 53 % en surface, 57 % en profondeur; il y a 20 à 25 % d'éléments compris entre 0,01 et 0,05 mm et 93 à 99 % d'éléments inférieurs à 0,05 mm. Cette texture plus fine des loess dans les « pods » serait attribuable à une argilification due à l'hydromorphie.

La teneur en matière organique est de 4,8 % en surface ($C/N = 10$); mais elle n'est plus que de 1 % à 20-25 cm ($C/N = 8$) et de 0,65 % à 50-60 cm ($C/N = 5,3$). En surface le rapport acides humiques sur acides fulviques est de 1,7, mais une très grande partie des acides humiques est sous forme mobile; en profondeur, les rapports acides humiques sur acides fulviques sont voisins de 0,6. Par ailleurs les densités optiques sont élevées, voisines de 4.

Le calcaire n'apparaît que vers 150 cm de profondeur (présence de concrétions) et la teneur en sels solubles n'excède jamais 1 ‰ sur l'ensemble du profil. Ce n'est cependant pas une loi générale : certains solods peuvent être calcaires et salés à partir d'une profondeur assez faible, en fonction des quantités d'eau de ruissellement reçues dans le « pod ».

Les pH nous ont étonnés : 6,8-6,9 en surface, 8,4 en profondeur; devant un profil aussi typique nous aurions pensé trouver des pH nettement plus acides en surface et plus basiques en profondeur. Par ailleurs l'absence totale de sodium échangeable sur l'ensemble du profil est également très étonnante.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ est de 12 dans l'horizon A, 6 en dessous. Les argiles sont essentiellement des illites, plus un peu de kaolinite et un peu de montmorillonite-vermiculite.

La conclusion qui s'impose est celle des remerciements que nous adressons de nouveau aux pédologues russes pour cette belle et intéressante excursion qu'ils ont su si bien organiser, remerciements très sincères que les quelques critiques que nous avons formulées dans ce compte rendu ne doivent en rien diminuer.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE DE PÉDOLOGIE

rédigé par

LA SECTION DE PÉDOLOGIE
DE L'O.R.S.T.O.M.

Tome XIV — Fascicule 1
1^{er} trimestre 1965

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction Générale :
24, rue Bayard, PARIS-8^e

Service Central de Documentation :
70 à 74, route d'Aulnay, BONDY (Seine)

Rédaction du Bulletin : S. S. C., 70 à 74, route d'Aulnay, BONDY (Seine)