

Séance du lundi 28/11/2011, bull. 42, conférence 4166, pp. 381-383

A l'aube de la Science du sol

par
Jean-Paul Legros

RESUME. La science du sol est née en Russie, à la fin du 19^{ème} siècle lorsqu'un géologue du nom de Dokuchaev a été missionné par les autorités pour étudier les terres afin de remédier à des famines. Parcourant à pied tout le pays, cet homme a observé la zonalité latitudinale des sols ; Elle accompagnait la variation nord-sud des climats à l'échelle de la Terre. On présente ici la façon dont il a fait avancer la discipline, les résultats qu'il a obtenus et les sols qu'il a vus. On explique comment et avec quelles difficultés les idées qu'il a émises ont pénétré l'Europe et les USA. On montre en conclusion que cet homme exceptionnel est mondialement reconnu comme le grand précurseur de la discipline.

MOTS-CLES : Pédologie, histoire, Science du sol, Dokuchaev, zonalité, chernozem, tchernozem, tchernoziom, Leroy-Beaulieu

INTRODUCTION

Un chercheur, Krupenikov a écrit (en anglais) dans un ouvrage en 1993 : « *Un paradoxe de la science du sol est la brièveté de son histoire et la longueur de sa préhistoire* ». Il est vrai en effet que l'homme, depuis les débuts de l'agriculture, se préoccupe des sols qui servent de support à sa production végétale. Mais, si les recettes empiriques se sont accumulées à force d'expérience pour l'utilisation des terres, un vrai corpus scientifique relatif au sol n'a pu émerger qu'à la fin du 19^{ème} siècle. C'est cette histoire que nous allons raconter. Pour éviter de remonter jusqu'aux auteurs latins, Virgile par exemple, nous allons débiter notre récit, avec la présentation de la vision commune des agronomes et géologue français du 18^{ème} et surtout 19^{ème} siècle, lorsqu'ils devaient s'intéresser au sol. Ensuite nous ferons un saut jusqu'en Russie pour examiner comment les choses se présentaient là-bas. On verra que la Science du Sol est née dans ce pays et y a connu ses premiers développements [LEGROS, 2011].

I. LES PRECURSEURS : CHIMISTES ET GEOLOGUES

Au 18^{ème} siècle et au 19^{ème}, les progrès de la chimie permettent de se poser des questions fondamentales : le sol contient-il suffisamment d'azote, de potasse et d'acide phosphorique pour nourrir les plantes ? Ou bien, constitue-t-il le facteur limitant les rendements ? Pour répondre, une discipline, la « *Chimie agricole* » se développe. En France, des personnages de premier plan tels que Duhamel du Monceau, Lavoisier, Nicolas Théodore de Saussure (fils d'Horace-Bénédict) et Jean-Baptiste Boussingault la font progresser. En Allemagne, s'illustrent aussi, dans le même domaine, Albrecht-Daniel Thaer et Justus von Liebig.



Photos du Web, Wikipédia en particulier.

Mais, le sol n'est pas alors examiné dans sa dimension temporelle et spatiale. Des échantillons de terre sont prélevés au milieu des parcelles et analysés au laboratoire à seule fin d'accroître la production végétale. C'est un peu comme si on réduisait la botanique à l'analyse chimique des végétaux en oubliant sa dimension écologique.

Il reste de cette époque un vocabulaire encore utilisé chez les professionnels de la vigne, par exemple : « *terres argilo-calcaires* » ou « *silico-argileuses* ». D'un côté ces expressions ont du bon car elles veulent traduire deux caractères importants du sol que sont d'une part la composition physique (sables, limons, argiles) et d'autre part le chimisme (pH). Mais elles sont maladroites et dépassées car il y a parfois plus de silice dans une terre calcaire que dans une terre acide ! Et surtout elles passent sous silence des caractères du sol comme la profondeur et le régime hydrique qui sont essentiels au plan agricole.

La dimension spatiale du sol va d'abord être prise en compte par les géologues. En 1840, Dufrénoy et Elie de Beaumont publient leur carte géologique de la France en 6 coupures. Dès lors, il apparaît que les sols dérivent souvent de la roche trouvée dessous. Elie de Beaumont écrit : « *La terre végétale est le reflet de la couche géologique voisine* ». Pour connaître les sols, il suffit donc de consulter la carte géologique. On dira que c'était un courant de « géologie agricole » ou encore « d'Agrogéologie ». Il va s'exprimer pendant 60 ans. Tout à la fin du siècle, Eugène Risler, futur directeur de l'Institut National Agronomique de Paris, s'inscrit dans la même ligne de pensée. Entre 1884 et 1897, il publie sa « *Géologie agricole* ». C'est un énorme ouvrage en 4 tomes pour 2000 pages au total. L'auteur y examine toutes les ères et périodes géologiques. Dans chaque cas, il présente le milieu et les sols, structurant, quand il le faut, son discours par grande région naturelle. Il écrit par exemple : « *Partout je retrouvais les formations granitiques avec leurs sommets arrondis comme les ballons des Vosges, avec leurs sources nombreuses et leurs fermes dispersées dans la campagne ; en Ecosse comme en Bretagne, c'étaient des sols pauvres en chaux et en acide phosphorique...* ».

Tout cela est vrai et l'approche a du succès auprès des agronomes. A l'époque de Risler, la carte géologique de la France au 1/80 000^e est presque achevée. Elle est organisée en près de 300 feuilles accompagnées de notices et est disponible pour le public. Certes, la carte d'Etat Major existe. Mais la carte géologique est le seul document cartographique donnant les limites d'extension spatiale d'un certain type d'unités naturelles. Elle constitue

donc un précieux moyen de généraliser et de systématiser des observations agronomiques ou naturalistes faites ponctuellement.

Mais l'approche défendue par les géologues a de gros inconvénients. Certes, à l'échelle de la France et pour toutes sortes de raisons, il y a une bonne correspondance entre les roches et les sols situés dessus. Mais ce n'est pas vrai partout dans le Monde. En Afrique par exemple, les durées de genèse des sols se comptent en millions d'années. Les terres sont le résultat de transformations biochimiques si longues et si abouties qu'on ne distingue pas facilement quelles roches leur ont donné naissance. Les sols sont comme les hommes : on ne les cerne pas complètement en identifiant seulement leurs parents ; les conditions dans lesquelles ils ont grandi et vécu ont façonné leurs personnalités.

Henri Lagatu, Membre de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, est l'héritier de ces courants de pensée. En 1893, à l'occasion du grand congrès viticole de Montpellier, il publie avec L. Sémichon deux cartes dites « agronomiques » comme il y en avait beaucoup d'autres à l'époque. Leur objet est de servir de guide pour les excursionnistes dans le vignoble reconstitué après le phylloxéra. Ce sont des cartes de faciès pétrographiques et elles n'ont guère d'intérêt au plan des sols. Cela n'empêche pas Lagatu d'obtenir des récompenses scientifiques de haut niveau car ses vues sont larges dans toutes sortes de domaines.

II. DES IDEES NOUVELLES VENUES DE L'EST

1) **Dokuchaev (17/3/1846-26/10/1903) et son chernozem**

Des idées nouvelles vont venir de Russie et particulièrement d'un géologue russe nommé Vassili Vassiliévitch Dokuchaev (nous donnons ici l'orthographe la plus communément admise à l'heure actuelle dans le monde anglo-saxon). Mais on peut trouver aussi Dokoutschaeff (traduit par l'intéressé lui-même en 1900), Dokoutchaiev (utilisé par un élève du maître venu en France), ou Dokuchaef (utilisé actuellement par les chercheurs de l'institut de Moscou qui porte le nom en question).



II.1. Vassili Vassiliévitch
Dokuchaev (1846-1903)

Cet homme est né en 1846 dans un petit village près de Smolensk (Milyukova Sychevsky). Son père aurait voulu en faire un homme d'église. Mais, il préfère la science. A partir de 1872, il est chargé de l'enseignement de la minéralogie et de la géologie à l'Université de St-Petersbourg. Entre 1875 et 1879 il participe aux levés de la carte des sols de Russie, inventaire dont l'Europe et les Etats Unis ne se préoccupent pas encore à l'époque. A partir de 1877, et jusqu'en

1879 il est amené à travailler sur les *steppes à tchernoziem*. Le nom de ce sol vient de « *chern* » (noir en russe) et de « *zemplja* » (terre ou contrée, dans la même langue). Il intervient à la demande de la Société Economique Libre Impériale de Saint-Petersbourg. Elle était inquiète de voir les conséquences désastreuses provoquées sur l'agriculture par les sécheresses des années 1873 et 1875. Notre géologue, pour bien comprendre le milieu qu'on lui demande d'étudier, sillonne en tous sens la Russie d'Europe. On dit qu'il a parcouru pour cette étude

plus de 10 000 km à pied ou à cheval. Ensuite, il valorise ses travaux de terrains sous forme d'une thèse publiée en 1883 : *Le Tchernozem Russe*. De 1882 à 1886 il étudie les sols de Nijni-Novgorod et publie avec ses élèves l'étude correspondante, en 14 tomes, accumulant ainsi une expérience inégalée au monde sur les sols et leur géographie. Il est nommé en 1892 directeur du premier grand centre de recherche et d'enseignement agronomique créé dans la Pologne occupée à Novo-Alexandria (actuellement Pulawy); en 1894, il crée une chaire dans ce centre pour étudier les sols et la confie à son élève Sibirtzev dont le cours témoigne de la pensée du maître. En 1896, il publie une classification des sols dans laquelle il présente la théorie qui fera sa gloire. Il diffuse ses idées lors de l'Exposition Universelle de 1900 à Paris. C'est la fin de sa carrière en forme d'apothéose car déjà il est malade. Il meurt en 1903 après avoir subi une perte progressive de ses capacités mentales. Il est enterré à Smolensk, dans le cimetière luthérien.

2) Les Apports scientifiques de Dokuchaev

Découverte des facteurs de la pédogenèse

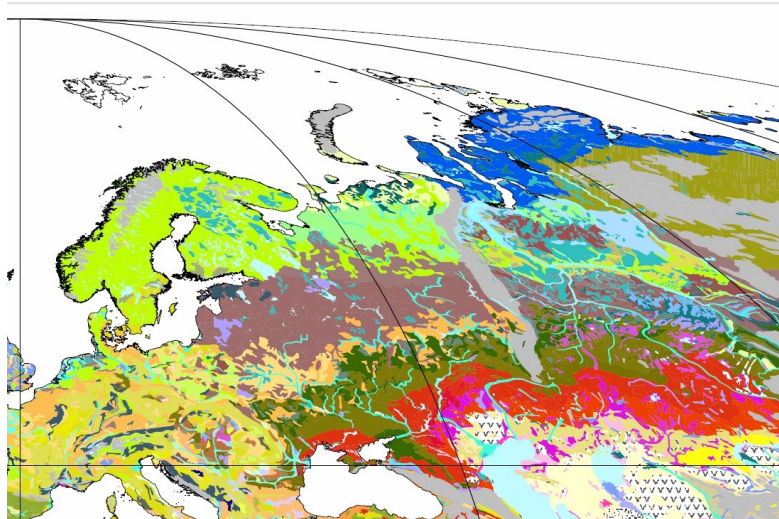
Donc, Dokuchaev avait été chargé d'étudier les chernozems. Il est d'abord frappé par le fait qu'ils sont particulièrement riches en humus : 4% et parfois un peu plus en pourcentage du poids de terre. Cela peut sembler faible. Mais, comme la densité de la matière organique est de l'ordre de 0,2 et comme celle de la matière minérale constituant le sol est supérieure à 2, un chernozem comprend en réalité entre 40 ou 50% de matière organique si on raisonne en volume de matière ! Cela le rend léger et meuble, donc favorable à la vie (vers de terre, et animaux fouisseurs). C'est pourquoi en coupe, il apparaît creusé de cavités. Au total, il constitue, sur des millions d'ha, une superbe terre de jardin, très fertile.

Comme notre géologue, faute de connaissances antérieures, ne pouvait définir précisément ce qui était « chernozem » et ce qui ne l'était pas, il eut l'idée de bâtir une carte des « zones isohumiques » comme d'autres auraient créé en météorologie une carte des « isohyètes ». Cette carte différencie donc les sols par la teneur en humus de leur couche superficielle.

Plus tard, le mot « isohumique » sera perverti par les spécialistes de la discipline. Ils croiront que Dokuchaev avait voulu caractériser des sols d'égale teneur en humus du haut en bas du sol. C'est un parfait contre-sens.

C'est sans doute en examinant sa carte des sols d'égales teneurs en humus de la Russie d'Europe que Dokuchaev eut l'idée qui fit sa gloire. Approximativement, les sols les plus riches en humus constituent une bande alignée sur des parallèles du globe terrestre. Au nord d'un côté, au sud de l'autre, les terres sont chaque fois spécifiques. Plus précisément, ses explorations du nord au sud du continent européen lui permirent de reconnaître sept zones de sols alignées parallèlement. Nous allons les examiner plus loin.

Mais, au-delà, du cas précis, à l'échelle continentale, et probablement à l'échelle terrestre pensait Dokuchaev, les sols dépendent du climat. L'idée n'était pas banale à une époque où l'on croyait les sols liés aux roches sous-jacentes et à rien d'autre !



Un extrait d'une carte récente des sols du Monde (FAO). Elle montre bien l'organisation des sols en bandes grossièrement alignées selon des parallèles du globe terrestre et justifie donc les idées de Dokuchaev. Mais en Amérique du Nord, l'alignement est fort mauvais, comme on le verra plus loin.

Pour prouver la justesse de ses vues, Dokuchaev va inventer une méthode de vérification. Trois années de suite (1898 à 1900), il organise des expéditions dans le Caucase pour tenter d'y observer des *zones verticales de sols* qui, en liaison avec la variation climatique altitudinale, feraient le pendant des zones latitudinales antérieurement mises en évidence. En gros et en dépit des altérations provoquées par les particularités du relief et des roches-mères, la zonalité est retrouvée avec l'altitude et elle est mentionnée sur une carte dressée par un disciple.

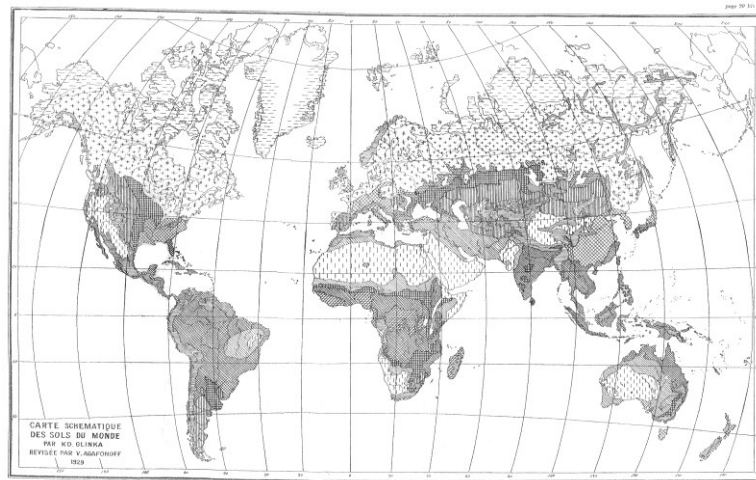
Dokuchaev va plus loin. Il observe aussi que les sols dépendent de la végétation et plus généralement des agents biologiques. Il comprend aussi que la pente intervient en observant, dans des régions ondulées, des buttes et des creux avec des sols caractéristiques dans l'un et l'autre cas. Il reconnaît encore le rôle de la durée dans la formation des sols. Enfin bien sûr, il admet le rôle de la roche. Au total, les cinq facteurs passés en revue (climat, agents biologiques, roche, topographie et durée) sont les facteurs de la différenciation des sols, ou encore les facteurs de la pédogenèse. Une nouvelle discipline, la science du sol, est en train de naître grâce à cet homme. En effet, la roche n'est plus seule en cause et l'étude du sol n'est pas d'avantage une sous-branche de la géologie qu'elle n'est une subdivision de la géomorphologie ou de la botanique.

Dokuchaev précise qu'on ne sait pas chiffrer l'importance relative de chacun des facteurs de la différenciation des sols. Contrairement à certains de ses disciples, il ne propose donc pas de donner au couple climat-végétation une place prépondérante. Tout dépend de l'échelle à laquelle on se situe. Par exemple, il est évident qu'à l'échelle du champ, la variabilité climatique n'a pas à être considérée tandis que la topographie et la variabilité du substrat géologique peuvent encore modifier les sols.

Conception et réalisation des cartes de sols

Puisque le climat et la végétation correspondante sont les principaux responsables de l'organisation des sols à l'échelle du globe terrestre, on va pouvoir réaliser une première carte des sols du Monde. Pour l'établir, il suffira de quelques observations judicieusement placées sur le globe. Ensuite on généralisera en tenant compte des grandes zones bioclimatiques : forêts intertropicales, déserts, steppes, taïgas, toundras... Cette carte est produite en 1908 par

son élève Glinka. En 1929, elle est corrigée par un autre élève du maître, Agafonoff. Ce dernier la fait figurer dans sa propre thèse sans oublier de l'attribuer à Glinka. C'est la version qui est donnée ci-après.



La première carte des sols du monde dressée en 1908 par Glinka, élève de Dokuchaev. Elle est corrigée puis éditée en 1929 par un autre disciple du maître [in AGAFONOFF, 1936].

Cette carte est encore très approximative. Nous y reviendrons plus loin. Mais, un progrès considérable a tout de même été réalisé depuis le temps où les agronomes penchés sur leur pioche n'avaient pour tout instrument de généralisation que la carte géologique !

Il faut enfin signaler qu'ayant beaucoup travaillé sur le terrain, Dokuchaev invente, retrouve ou améliore l'essentiel des techniques de la prospection des sols : observation de profils c'est-à-dire de coupes de sols en place ; reconnaissance du fait que les sols, du haut en bas, sont organisés en couches horizontales de différentes natures, les horizons ; prélèvement et analyse de ces couches ; délimitation des sols observés ; report cartographique... Cependant, l'idée de numérotter les horizons par les premières lettres de l'alphabet est plus ancienne et due en partie à l'allemand Albert Orth qui l'utilisa en 1873 dans une publication et en partie au danois Pieter E. Müller qui ne publia qu'après Dokuchaev [TANDARICH et al, 2002].

Construction de la classification des sols, identification des processus génétiques

A partir du moment où ont été reconnues sept grandes zones de sols, de la rive de l'océan glacial arctique à l'équateur, cela veut dire qu'on a identifié sinon toutes, du moins quelques une des grandes catégories de sols du Monde. On peut donc jeter les bases de la classification mondiale des sols. Dokuchaev le fait. Les grandes catégories de sols qu'il propose ne seront pas remises en cause par la suite même si beaucoup d'autres devront être ajoutées. La discipline est en quelque sorte débroussaillée. L'observation de chaque sol peut être replacée dans un contexte et interprétée.

En plus, Dokuchaev apporte une idée assez sensationnelle : puisque les sols dépendent à la fois de la roche et des agents biologiques, c'est donc qu'il y a un couplage, via le sol, entre le monde minéral et le monde vivant. On n'a pas n'importe quels organismes n'importe où sur la planète et ce n'est pas seulement une affaire d'isolement génétique des populations. Quelque part Dokuchaev est l'un des fondateurs de l'écologie. Il a donc une vue globalisante, holistique dirait-on maintenant. D'ailleurs, il exagère quelque peu. Dans l'enthousiasme de la découverte, il écrit : « *Il est remarquable que le changement et l'ordre des cinq zones des sols de différentes couleurs marchent, dans l'hémisphère septentrional, à côté de l'augmentation*

de la lumière et de la chaleur, à côté du changement de couleur de l'homme et des animaux » [DOKUCHAEV, 1900]. Ainsi, ses premiers essais de classification des sols mentionneront-ils, parallèlement aux caractères du climat, des roches et de la végétation, les représentants les plus caractéristiques de la faune : sols à aurochs, ours, élans ; sols à chameaux, dromadaires, etc. Par la suite, l'auteur en viendra à ne plus considérer que la faune du sol.

Les progrès ne s'arrêtent pas aux idées générales. Les principaux processus de formation des sols sont observés et analysés. Le lessivage de l'argile par la pluie est mentionné ; il en va de même pour les transferts de matière organique et de sesquioxydes (fer en particulier) dans les sols de la taïga. L'excès d'eau lié aux dépressions du relief est reconnu. L'étagement des sols en fonction de leur âge est vu et compris (les sols les plus évolués se trouvent sur les niveaux d'érosion anciens et élevés).

Mais Dokuchaev et ses élèves observent qu'il y a des exceptions à la zonalité climatique. Localement, tel ou tel facteur de l'environnement, joue un rôle prépondérant et masque le rôle du climat. Il faudra de nombreuses années pour régler conceptuellement ce problème comme le montrent les changements du vocabulaire introduits sur le sujet au cours du temps. Toutes réflexions menées, on finira par distinguer les sols « zonaux » (ils s'inscrivent dans la zonalité climatique), les sols « azonaux » en particulier chaque fois que la roche affleure directement et les sols « intrazonaux » dont les caractères sont liés à des conditions particulières de station telles que l'excès d'eau ou de sel.

3) Les sols zonaux observés par Dokuchaev

Nous allons présenter les principaux sols zonaux distingués par Dokuchaev. Pour le faire en peu de mots, on utilisera les connaissances modernes, le vocabulaire correspondant, et des photographies actuelles les plus typiques possibles, empruntées à des confrères de la discipline. On partira du sud, c'est-à-dire de la région intertropicale pour remonter vers le grand nord.



Les photos ont été empruntées sur le WEB à divers auteurs : Bildarchiv Boden-Landwirtschaft-Umwelt, Alain Ruellan, Juan José Ibanez, Erika Micheli, Ministère agriculture Canada, ISRIC aux Pays-Bas... Mais, bien souvent, on n'arrive pas à déterminer sur le WEB quoi est à qui !

Les sols ferralitiques. Dokuchaev ne les a pas étudiés directement mais il en connaissait l'existence. Il s'agit de sols rouges, argileux, très acides et très profonds (souvent plus de 20 m). Ils sont caractéristiques des régions chaudes et humides de la Planète.

Les Solonchaks. Dans le sud de l'empire russe, le climat est sec et la végétation clairsemée. Il n'y a pas assez d'eau pour évacuer les sels libérés par altération lors des épisodes pluvieux. Le carbonate de calcium, le chlorure de sodium, le carbonate de sodium et bien d'autres sels s'accumulent en restant proches de la surface. Le milieu devient désertique, salé, et se révèle impropre à toute agriculture.

Les Kastanozems. Ils correspondent aux steppes sèches mais non désertiques. Il y peu de matière organique d'où la couleur marron clair. L'eau est disponible en faible quantité. Elle réussit cependant à évacuer les sels très solubles. Mais le carbonate de calcium, le « calcaire », moins soluble, n'est pas éliminé. Il imprègne tout le sol qui reste calcaire. Mais, une petite partie de ce dernier est quand même déplacée vers le bas. Elle s'accumule à faible profondeur en formant des taches blanchâtres. Ce sol est cultivable, surtout s'il est irrigué.

Une observation des accumulations carbonatées au microscope électronique à balayage révèle un monde fantasmagorique peuplé de cristaux d'origine partiellement biologique. Les étudier maintenant dépasserait l'objectif de la communication. Mais cela est signalé au passage pour bien montrer que le sol est un milieu complexe et que la vision macromorphologique privilégié ici n'est qu'une facette de l'approche pédologique. Le sol, vu de très près, est plus complexe que le diamant, et beaucoup plus beau à mon avis.

Les chernozems. Ce sont des sols riches en humus, assez homogènes en coupe, au dessus de la roche correspondante qui est souvent un loess jaunâtre et calcaire. Initialement, on les observait sous des steppes à graminées. De nos jours, ils sont cultivés. Ils correspondent à la zone climatique d'environ 500 mm de pluie/an, plus précisément entre 200 et 600 suivant les conditions de température [REYNOLDS et BATELLO, 2005]. C'est peu mais, lors d'épisodes pluvieux importants, le carbonate de calcium est entraîné vers le bas et éliminé sans que le sol s'acidifie vraiment. Le pH est voisin de la neutralité. Ce sol est l'un des meilleurs du monde.

Les Phaeozems. Plus on monte en latitude, plus la différence entre la pluviométrie annuelle d'un côté, l'évaporation du sol et la transpiration des végétaux de l'autre, est grande. Au nord des chernozems, il y a donc d'avantage d'eau entraînée vers le bas. Le sol se lave en surface, partie dans laquelle il devient gris et acide. Au contraire, il s'enrichit en argile à moyenne profondeur où il apparaît plus coloré. En fait, il ne s'agit pas d'un simple transfert d'argile vers le bas et la réalité est bien plus complexe [LEGROS, 2007] ! Ces sols correspondent à des forêts de feuillus. Nous avons à peu près les mêmes dans le nord de la France et en Belgique. Nous les appelons Luvisols.

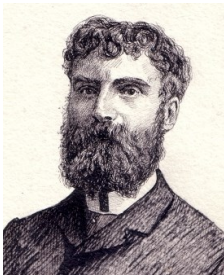
Les podzols. Leur nom veut dire « cendreuse » en russe. Ils présentent en effet un horizon gris comme de la cendre. Il est poudreux à l'état sec. On trouve ces sols sous les forêts de résineux parsemées de bouleaux, la taïga. Non seulement beaucoup d'eau passe au travers du profil, mais cette eau a entraîné depuis longtemps tout le calcium disponible. Elle est donc très acide. Elle détruit les minéraux. Dans l'horizon de subsurface, seuls les quartz blancs résistent d'où la couleur grise ou blanche. Des transferts vers le bas de fer et matière organique donnent aux couches inférieures du sol diverses couleurs vives. A défaut d'être un

bon sol, le podzol est certainement le plus beau trouvé sur la Planète ! Il y en a un tout petit peu en France, en particulier dans le massif du Mont-Blanc.

Les Cryosols (Europe) ou Gelisols (classification des USA). Ce sont les sols du grand nord, trouvés là où la végétation peine pour survivre. Ils sont façonnés par d'extraordinaires phénomènes de gel-dégel et parfois s'organisent géométriquement en cercles de pierre. Parfois aussi, ils se plient jusqu'à former des champs de taupinières géantes. Ce sont les *frosts boils*, littéralement les « furoncles du froid ». Dokuchaev les a vus ainsi que leur base perpétuellement gelée. Il a reconnu leur faible degré d'évolution. Dans les Alpes, à la limite des neiges éternelles, nous avons des formes de la même famille : les buttes gazonnées.

Au total, on voit qu'à l'échelle du Monde, les sols des moyennes latitudes (Kastanozems, Chernozems, Phaeozems-Luvisols) sont les meilleurs. Les Européens ont bien de la chance...

4) Un précurseur français



Il est toujours difficile d'identifier les fondateurs d'une discipline. En général, on retient le nom de ceux qui ont rassemblé des connaissances éparses pour en faire un système de pensée. Mais il est troublant d'identifier, en amont, des personnes qui sont passées bien près des vérités admises par la suite. Anatole Leroy-Beaulieu (12/2/1842, Lisieux – 15/6/1912, Paris) est l'un des précurseurs qu'il faut citer ici, bien qu'il soit totalement méconnu des spécialistes de science du sol.

Il s'agit d'un historien, géographe et essayiste prolifique dont on trouvera facilement la vie et les œuvres sur internet. Il a fait plusieurs voyages en Russie et en a rendu compte dans des ouvrages et articles, dans la revue des Deux Mondes en particulier. L'analyse que Leroy-Beaulieu fait du milieu russe est saisissante. Il distingue parfaitement les trois régions naturelles et zonales des chernozems, des kastanozems (il utilise le mot « steppes fertiles ») et des sols salins du sud. Il décrit bien ces trois unités et présente la localisation spatiale de chacune avec une très grande précision. Si ce voyageur, intéressé surtout par les hommes et l'agriculture, avait passé ne serait-ce qu'une semaine dans la taïga pour en décrire le milieu et les terres podzoliques, on serait obligé de le reconnaître comme l'inventeur du concept de zonalité climatique en science du sol. Or, il écrit en 1873, donc exactement dix ans avant que Dokuchaev publie son « *Tchernozem russe* » !

Il faut aussi admettre que tout bon naturaliste se promenant de l'équateur au pôle nord, même dans les temps anciens, voyait et ressentait, la zonalité des climats et des végétations ! Encore fallait-il relier cela à des différences concernant les sols. Anatole Leroy-Beaulieu l'a fait, sans doute le premier en Europe.

III. DIFFUSION DES IDEES DE DOKUCHAEV

1) La conquête de l'Europe

A la fin du 19^e siècle, les agronomes européens sont plongés dans l'Agrogéologie et ne savent pas encore qu'une révolution conceptuelle va leur venir de l'est. Comme toujours en pareille circonstance, les idées nouvelles vont heurter des positions admises et donc susciter

des réticences [PEDRO, 1984]. Dokuchaev commence à être connu car il participe à l'exposition universelle de Paris en 1889.

Van den Broeck, de la société belge de Géologie écrit tout de suite après, en 1890 : « *Il existe en ce moment dans la confection des cartes agricoles, deux courants d'idées différents. L'un est représenté par l'Ecole française dont le chef est M. Risler (...) qui conclut en disant que la meilleure carte agronomique est la carte géologique détaillée à grande échelle. L'autre courant d'idée est représenté par l'Ecole russe, ayant à sa tête le professeur Dokoutchaïef qui trouve les données de la géologie seule insuffisantes et construit des cartes spéciales dites pédologiques* ». En 1898, Risler reprend cette citation dans le mémoire qui présente ses travaux. Il se réjouit de l'honneur qu'on lui fait en lui attribuant le rôle de chef d'école. Il serait moins joyeux s'il avait pu deviner que le début du siècle suivant verrait le triomphe des idées de l'autre chef de file !

Puis Dokuchaev participe à l'exposition universelle de Chicago en 1892-1893. Mais c'est l'exposition Universelle de 1900 à Paris qui va révéler l'ampleur de l'avance des travaux russes [OTOTZKY, 1900]. En effet, la période 1890-1900 représente, en Russie, dix ans de cartographie intensive qui a servi à acquérir une expérience considérable. Pratiquement, 45 dossiers d'études pédologiques ont été constitués avec cartes des sols et notices explicatives. L'exposition de 1900 permet de présenter dans le pavillon russe 21 de ces études réalisées dans toutes sortes de milieux. Une « carte des sols de la Russie d'Europe », synthèse dressée par N. Sibirtzev, G. Tanfiliev et A. Ferkhmine rend compte de la zonalité à l'échelle du 1/2,5 millionième. Une autre, dessinée par Ototzky, fait le bilan des travaux effectués depuis 25 ans. Les huit sols les plus typiques sont schématisés par des "coupe-dessins". Près de 30 photographies présentent les environnements pédologiques typiques de la Russie européenne. De très nombreux échantillons sont exposés dans des boîtes ou sous forme de monolithes (profil de sol découpé en tranche mince puis présenté sous verre). En plus, on a amené de Russie par wagon spécial, un bloc de chernozem de six mètres cube. On a dit que l'observation directe, par les visiteurs du pavillon Russe, de la richesse de cette terre noire a aidé au placement des emprunts russes !

L'impact d'une telle exposition est alors considérable sur quelques esprits éclairés européens découvrant à la fois les méthodes d'inventaire systématique sur le terrain et les résultats scientifiques auxquels ces inventaires conduisent. On a la preuve de cet impact dans plusieurs textes dont ceux d'Emmanuel de Margerie et Louis Raveneau qui publient, l'année même de l'exposition, deux articles de synthèse dans les Annales de Géographie [1900 a et b]. Ils concernent les progrès de la cartographie dans les différents pays présents à l'Exposition. Dans presque tous les cas, il s'agit de rendre compte de la réalisation de cartes géologiques et surtout des cartes topographiques constituées par les Services des Armées. Concernant la Russie, ils procèdent de même puis indiquent : « *Mais l'originalité vraie du Groupe [les travaux sont classés par catégorie, ici l'agriculture] réside dans la collection relative à l'étude des sols, qui est née en Russie il y a une vingtaine d'années avec les premières recherches du professeur Dokoutchaev, dont l'Exposition de 1889 nous montrait les débuts, et qui nous apparaît, à l'Exposition présente, dans son complet épanouissement. L'étude des sols — que les Russes ont baptisée « pédologie » — a aujourd'hui ses méthodes, sa littérature* ». Suivent deux pages de description des travaux et références relatives aux sols.

En réalité, le mot « pédologie » n'a pas été inventé par les Russes. On le doit à Albert Fallou (1794-1877), savant originaire de Saxe qui a publié en 1862, donc 20 ans avant Dokuchaev, un ouvrage qui traitait du sol et s'intitulait « Pédologie » et plus précisément : « *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde* » [BOULAIN, 1983 – FELLER *et al*, 2008]. Pendant longtemps le terme « Pédologie » a été préféré à « Science du sol », au moins dans les pays francophones. Puis le vocable Pédologie est devenu l'équivalent exact de

Science du sol. Enfin, actuellement, certains chercheurs veulent limiter la Pédologie à la partie de la Science du sol qui traite de genèse et de cartographie.

Une analyse particulièrement remarquable des travaux russes est proposée en 1904, toujours dans les Annales de géographie, par Pierre Camena d'Almeida, géographe français (1865-1943). Il écrit en particulier :

« Le sol, tel qu'on doit le considérer dans l'élaboration d'une carte pédologique, consiste dans les horizons superficiels des roches, plus ou moins altérés sous l'influence simultanée de l'eau, de l'air et de différents organismes, morts ou vivants. Ce sont ces altérations, opérées dans des conditions très diverses vu l'énorme étendue du pays, qui font que des formations géologiques identiques et de même âge peuvent donner et donnent souvent en Russie des sols agricoles fort différents. Aussi ne saurait-on appliquer à la Russie le mot d'E. Risler : la meilleure carte agronomique est la carte géologique détaillée à grande échelle ». Et plus loin, Camena d'Almeida, ajoute : « La simple désagrégation des roches, en s'opérant dans des conditions physico-géographiques semblables, peut à la longue abolir la différence qui existe entre ces roches, et donner des produits d'altérations bien plus voisins les uns des autres que ne le sont les roches initiales ». Indiquer des sols semblables sur des roches différentes et des sols différents sur des roches semblables, était signifier la naissance d'une science pédologique indépendante de la géologie. Camena d'Almeida l'avait compris !

La diffusion des idées russes est également facilitée par l'effort de traduction en langue étrangère que les spécialistes correspondants ont entrepris dès l'Exposition de 1900 [DOKOUTSCHAEFF, 1900 – OTOTSKY, 1900]. L'élève Agafonoff a publié en français. Les travaux d'un autre disciple, Glinka, ont été traduits en allemand et en anglais. De nombreux chercheurs étrangers se sont fait ensuite les propagateurs des idées nouvelles : Murgoci (Roumanie), Stebout (Serbie), Ramann (Allemagne), etc. Enfin, le début du vingtième siècle voit apparaître une nouvelle forme de communication, exploitée à grande échelle : le congrès international. Les premiers congrès intéressant la science du sol ont été tenus à Budapest, à Stockholm, à Prague et à Rome [DEMOLON, 1949].

Enfin, la révolution de 1917 pousse vers l'Europe les émigrés russes. Agafonoff, déjà mentionné était de ceux-là. Elève de Dokuchaev, il s'installe à Paris puis fabrique une *carte pédologique schématique de la France* à l'échelle de 1/10 000 000. Ce document fut publié dans les *Annales de la Science Agronomique* (n° d'avril - mai, 1928). Le même auteur perfectionna ensuite sa première esquisse et la fit paraître à l'échelle de 1/2 500 000 dans son ouvrage *les sols de France au point de vue pédologique* [1936]. C'était la première tentative sérieuse de cartographie des sols de notre pays. Elle émanait d'un étranger ! Malheureusement, Agafonoff n'a pas su se débarrasser suffisamment de la notion de zonalité qui est peu efficace à l'échelle des petits Etats d'Europe occidentale au sein desquels les variations climatiques sont limitées. A dire vrai, avant Agafonoff, une autre tentative de cartographie des sols de notre pays avait été faite par un autre étranger, l'Anglais Arthur Young, en annexe de ses voyages en France, réalisés dans les années 1787, 88 et 89. Mais cette toute première carte était terriblement schématique. Elle s'inscrivait d'ailleurs dans le contexte de l'Agrogéologie.

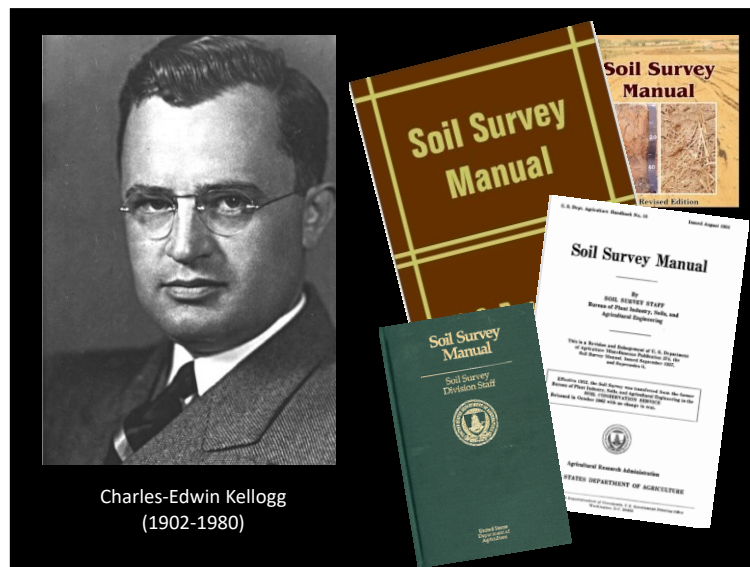
Cependant, en dépit des efforts passés en revue, les idées de Dokuchaev vont peiner pour s'imposer [BOULAIN, 1983]. Nous allons voir deux exemples précis, en traitant de l'attitude américaine et de l'attitude russe dans les époques récentes.

2) Refus américain des idées de Dokuchaev

Il est toujours difficile de comprendre pourquoi l'innovation jaillit ici et pas ailleurs à un moment déterminé de l'histoire des sciences. La question est donc : pourquoi les Américains qui ont donné tant de grands scientifiques à notre discipline n'ont-ils pas été très présents dans le demi-siècle 1900-1950 qui correspond aux débuts de la science du sol ? On peut y voir au moins trois raisons :

- L'une est que les premières études de sols ont été menées par des géologues partisans a priori de l'Agrogéologie. Il est de notoriété publique que Milton Whitney (1860-1928), le premier chef de la division « Agricultural Soils » de l'USDA créé en 1894, professait des idées erronées et n'acceptait pas la contradiction [HELMS, 2002]. Son successeur, Curtis-Fletcher Marbut (1863-1935) arrive en 1911. Certes, il prend connaissance des travaux de Dokuchaev mais, il n'est pas très convaincu et cherche à démontrer que la géologie est la clé principale pour comprendre les sols [même source bibliographique].

- La deuxième raison qui explique le retard américain est le pragmatisme affiché des responsables. Marbut disait volontiers : « *Describe the soils as you find them. Get the facts first and philosophy about the soil later* » [Décrivez les sols tels que vous les voyez. Considérez les faits d'abord et laissez pour plus tard la philosophie relative au sol]. Et quand on demande à Charles-Edwin Kellogg (1902 - 1980), le successeur de Marbut, de quoi il a été le plus fier au cours de sa carrière, il répond : « *They were efforts that helped people* » [Ce sont les efforts qui ont aidé les gens]. Bref, ces scientifiques là ne rêvaient pas. Or, pour examiner les relations entre les sols et la biologie à l'échelle de la planète et pour envisager l'évolution des sols à l'échelle du million d'année, il aurait fallu rêver un peu. Les Russes l'ont fait ! Mais notons que l'on doit à Kellogg et à son équipe, en 1937, la première édition du « *Soil Survey Manual* », petit ouvrage destiné à codifier la description des sols sur le terrain. Le succès est mondial et les rééditions perdurent jusqu'à maintenant.



- La troisième raison qui explique le relatif retard des Américains est évidemment la chance ou plutôt la malchance. Le hasard intervient toujours en matière de découverte scientifique. Le continent russe est immense et donc soustrait aux influences maritimes. Son sol est homogène sur des millions de km². Il s'agit de loess transportés par le vent après avoir été arrachés par les glaciers aux espaces nordiques de la planète. En plus, si on excepte l'Oural, il s'agit d'une immense plaine peu perturbée par le relief. Bref, c'est là que la loi de la zonalité climatique des sols s'exprime au mieux dans l'hémisphère nord comme le

confirment nos modernes cartes mondiales des sols dont un extrait est donné plus haut. Aux Etats-Unis au contraire, le continent est plus étroit et d'avantage soumis aux influences maritimes. Trois chaînes de montagne le strient du nord au sud. La zonalité y est beaucoup moins perceptible et a moins d'intérêt pour comprendre la répartition des sols. Bref, il était plus facile d'être Russe qu'Américain pour inventer la pédologie.

Aux USA, il faudra attendre la seconde guerre mondiale, pour que la vision nouvelle s'impose réellement, véhiculée par un européen. Il s'agit de Hans Jenny (1899-1992), un Suisse. Il a fait ses études à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, est parti à l'Université du Missouri avec une bourse Rockefeller, et resté dans le nouveau monde, attaché à Berkeley à partir de 1936. Dans son ouvrage de 1941 : *Factors of soil formation*, il reprend les idées de Dokuchaev et essaie de les quantifier. Le livre a un très grand succès. Mais, concernant le territoire des USA, l'auteur est obligé d'écrire, fort de son expérience locale : « *In consequence, the Russian sequence of soil types lacks general applicability* ».

Progressivement, les idées de Dokuchaev séduisent la Terre entière. Partout on utilise les concepts russes. En simplifiant un peu, les classifications de sols, même si elles varient d'un pays à l'autre, ressemblent à la classification botanique de Linné : un type central correspondant au genre, et des sous-types correspondant aux espèces.

Nous sommes maintenant en 1950, donc en pleine guerre froide. Comment appeler de noms russes (podzols, phaeosems, chernozems, kastanozems...), les sols de l'Union ! Cette difficulté à accepter les mots et concepts russes, est attestée dans les travaux historiques américains. Les jeunes chercheurs de ce pays n'arrivaient pas même à se procurer les traductions des écrits russes [TANDARICH *et al*, 2002] ! Pendant de nombreuses années, ceux qui aux USA penchaient pour les idées de Dokuchaev ont été écartés des postes à responsabilités. Ce fut le cas de George-Nelson Coffey.

Guy D. Smith, directeur du *Soil Survey Investigations* de l'USDA conçoit en 1952, c'est-à-dire exactement au milieu de la période de quatre ans du Maccarthisme, une classification purement américaine des sols. Elle est construite sur des bases totalement nouvelles. Elle est distribuée à quelques collègues mais reste confidentielle jusqu'en 1960 date à laquelle elle est proposée au reste du Monde lors du congrès international des sols de Madison. C'est la « *7th approximation* ». Le vocabulaire simple et connu de l'école russe est totalement éliminé ! Le système classe chacun des sols en référence à des Ordres, Sous-ordres, Grands groupes puis Sous-groupes. Les sols des régions continentales ne sont pas même individualisés. Les chernozems sont rangés, avec beaucoup d'autres, dans l'Ordre des sols riches en humus, les *Mollisols* (suffixe « oll »). Comme ils sont un régime hydrique légèrement humide, il est qualifié d'« udic » ; ils se classent donc dans le Sous-ordre des *Udolls*. Leur activité biologique étant élevée, ils ont un caractère « vermic ». Nous voici donc avec des *vermudolls* (Grand groupe et en un seul mot). Enfin s'ils sont épais, il convient de le préciser au niveau du sous-groupe. Au total, nos pauvres chernozems sont transformés en *Pachic Vermudolls*. Mais un sol peu différent pourrait se retrouver dans les *Humic Calciustolls*...



Si les USA n'avaient été la première nation du monde, leur système n'aurait pas tenu longtemps. Les gros défauts de celui-ci ont été passés en revue [LEGROS, 2007]. Mais voilà, l'Amérique était puissante. Elle pouvait se permettre de dire aux pays en voie de développement : vous aurez des crédits si vous utilisez nos standards pour décrire et classer les sols. La 7th approximation fut déclinée en de nombreuses éditions, les dernières portant le nom de « *Soil Taxonomy* ».



Il y eu quelques spécialistes de chez nous fiers de montrer qu'ils savaient jargonner dans le nouveau langage, au retour d'un voyage aux USA. Ma génération de jeunes chercheurs a perdu beaucoup de temps à bâtir des tables de correspondances pour s'y retrouver entre les systèmes. Certains de nos collègues américains ont perdu le leur dans des publications qui cherchaient à déterminer, mesures à l'appui, si les sols qu'il voyaient devant la porte de leur laboratoire étaient des *Rhodic Hapludox*, des *Leptic Calciusterts* ou des *Aeric Umbric Endoaqualfs*... Bref, par combinaison de 4 familles de termes, on avait créé des milliers de noms de sols et on se demandait s'ils existaient vraiment.

Pour l'essentiel, l'Europe a boudé ce charabia. Avec l'aide de la FAO et de l'Union Internationale de Science du Sol (IUSS), elle a bâti la *Word Reference base* (WRB).

Ce système est utilisé dans différentes parties du Monde mais pas aux USA et peu en France. En effet, certains Français ont voulu faire bande à part. Ils ont créé leur propre système, le *Référentiel pédologique*, sorte de déclinaison locale du WRB. Tout en saluant la qualité scientifique de leur réalisation, qui vaut bien les autres, l'auteur de ces lignes pense que cela ajoute à la confusion générale.

La science, dans les périodes où elle n'avance plus, invente, pour le masquer, des termes neufs.

3) Les successeurs de Dokuchaev en Russie

Le rôle de précurseur de Dokuchaev n'a semble-t-il jamais été remis en cause dans son pays. Cependant, il a été critiqué par les agronomes qui virent ensuite. Ceux-là n'avaient pas son niveau et étaient pressés de diminuer ses mérites pour mieux laisser un espace pour les leurs. L'un d'entre eux a écrit : « *Qui n'a entendu parler de notre école de science du sol dont le leader était le professeur Dokuchaev ? Il a dépensé de dizaines de milliers de roubles fournies par les assemblées provinciales ou par le gouvernement central, mais qu'est ce que cela a apporté à l'agriculture russe et au paysan en particulier ? Quelle réponse a été donnée à la question : comment obtenir deux épis de grains là un seul pousse actuellement ?* ». L'académicien Vassili Robertovitch Vil'yams (1863-1939) et Lyssenko (1898-1976) crurent pouvoir apporter des solutions. Le premier, un biologiste, était persuadé que la fertilisation était inutile et que l'alternance dans le temps entre cultures et prairies suffirait à conserver la fertilité des terres. Il disait (l'auteur de ces lignes traduit des textes déjà transformés en anglais) : « *Le problème concernant les sols n'est pas d'accroître leur fertilité mais de les exploiter au travers de rotations convenables organisées au sein des kolkhozes et sovkhozes* ». Il affirmait : « *Investir de l'argent dans la production de fertilisants minéraux est déverser des milliards au ruisseau* ». Il croyait aussi, ou feignait de croire, que de telles rotations cultures-prairies régleraient les problèmes de salinité. C'est que, dans les années 30, la collectivisation des terres détruisit en Russie les systèmes d'irrigation-drainage conçus à l'échelle des petites propriétés et il fallait le justifier. Quant à Trofim Denissovitch Lyssenko, on ne le présente pas ! Cet ingénieur agronome, qui se prenait pour un généticien, n'acceptait pas l'idée que la productivité pouvait être liée pour partie au génome des plantes. C'eut été reconnaître que les plantes n'étaient pas égales entre elles ! Les scientifiques qui croyaient aux lois de Mendel défendaient donc la biologie de classe. Leur place était en prison ou au goulag. Lyssenko fut nommé à la tête de l'Académie Lénine des sciences agronomiques de l'URSS. Il ne sera déboulonné qu'en 1965. Il disait des choses fort peu exactes, par exemple que le blé s'est transformé en seigle. Nous avons eu à ce sujet la conférence d'un confrère, hélas disparu [MARIE, 1989] ! D'après les auteurs de « *L'affaire Lyssenko* », Joël et Dan Kotek [1986], le bilan de ce personnage est le suivant : « *Apport scientifique nul, paralysie de la biologie et de l'agronomie soviétiques pendant près de trente ans, mise à l'écart et assassinats de savants mondialement réputés* ».

Ainsi les Russes ont-ils dilapidé l'avance que Dokuchaev leur avait conférée par une caractérisation du milieu naturel qui aurait dû structurer leur agronomie moderne. Par la suite, manquant de moyens matériels, ils sont revenus - restés plutôt - à une science du sol descriptive, conceptuelle, modélisatrice, classificatrice, ... Bref, toutes choses qui peuvent se concevoir et se réaliser sans trop de laboratoires et argent.

Pendant ce temps, les Américains, riches, pragmatiques et efficaces se sont taillé une réputation internationale en science du sol. Ils ont bâti une agriculture d'un modernisme époustouflant.

IV. REGARD ACTUEL SUR LES CHERNOZEMS

A ce stade de l'exposé on a donné fort peu d'information sur les chernozems. On sait seulement que ce sont des sols riches en matière organique ! Observons-les maintenant plus en détail à la lumière des connaissances modernes même s'il reste quelques points encore incertains les concernant [ECKMEIER *et al*, 2007].

Parmi les 25 types de sols les plus communs du continent européen, les chernozems s'inscrivent à la quatrième place par leur étendue (après les Albeluvisols, les Cambisols et juste après les Podzols). Ils couvrent presque un million de km² [IBANEZ *et al*, 2009].

Pour que la matière organique s'accumule dans les sols, il faut que les apports annuels de carbone l'emportent sur la minéralisation de ce dernier c'est-à-dire la disparition du carbone sous l'action des microorganismes. En effet, ceux-ci consomment les matières organiques essentiellement pour récupérer de l'énergie car la dégradation des molécules contenant du carbone est exothermique. C'est, pour simplifier, l'inverse de la photosynthèse qui permet la construction de ces molécules organique en exploitant l'énergie donnée par le Soleil. Mais, sous les climats continentaux, l'hiver est extrêmement froid. La température moyenne en janvier des steppes à chernozem est toujours négative et peut tomber jusqu'à moins 30° dans l'est de la Sibérie [REYNOLDS et BATELLO, 2005]. Dans ces conditions, les microorganismes sont en vie ralentie. Par ailleurs, la pluie fait défaut l'été ; les microorganismes manquent d'eau à ce moment là et sont également inactifs. Reste, pour favoriser la minéralisation, le printemps humide et plus ou moins chaud mais c'est peu en termes de durée dans l'année. L'apport de carbone au sol l'emporte d'autant plus largement sur les pertes que la végétation est une steppe à graminées en l'absence de l'homme. Or c'est un facteur favorable à l'accumulation du carbone. En effet, dans les prairies et steppes, le carbone du sol vient principalement du pourrissement, au sein même de la terre, des racines des graminées qui sont pour la plupart annuelles ou bisannuelles. Sous forêt au contraire, la restitution du carbone au sol se fait surtout par la chute des feuilles et des aiguilles. Dans ce cas, la matière organique s'accumule non pas dans le sol mais juste au dessus. Certes, elle est incorporée dans la terre par toutes sortes de mécanismes, mais les pertes sont élevées et une bonne part du carbone est restituée directement à l'atmosphère sous forme de CO₂. Il suffit de se promener en montagne pour observer que, sous les prairies d'altitude, le sol est plus noir et plus riche en carbone que sous forêt ! En plus, les analyses au ¹⁴C montrent que ce déséquilibre favorable à l'accumulation a commencé il y a environ 10.000 ans, à la sortie de la dernière glaciation. Le carbone des chernozems est donc âgé. Enfin, la roche, un loess en général, joue un rôle favorable dans la conservation de l'humus. En effet elle est calcaire. Elle contient donc une proportion plutôt forte d'argiles de la famille des smectites. Or celles-ci on la propriété de bloquer le carbone à l'échelle nanométrique entre ou autour de leurs feuillets. On a montré qu'il fallait de nombreuses heures de traitement d'un échantillon de chernozem à l'eau oxygénée pour le blanchir, autrement dit pour brûler complètement la matière organique qu'il retient. Au total, un bon chernozem bloque sous forme organique près de 500 tonnes de carbone à l'ha ce qui est important pour limiter l'effet de serre [MIKHAILOVA et POST, 2006].

Malheureusement, cette situation favorable ne persistera sans doute pas. En effet, la mise en culture, l'apport d'amendements, l'ajout d'engrais et l'irrigation en période sèche

stimulent la vie biologique. Certes, en dégradant les matières organiques, les microorganismes relâchent dans le sol de la potasse et de l'acide phosphorique qui sont immédiatement utilisés par les plantes cultivées. Les récoltes sont belles mais le capital de matière organique diminue. Lentement, les beaux chernozems noirs se transforment en sols bruns ordinaires... Certains scientifiques poussent des cris d'alarme. Mais l'homme n'est peut-être pas responsable de tout. En se réchauffant après la dernière glaciation, le climat est aussi devenu plus humide avec les conséquences qui ont été évoquées sur la minéralisation. Peut être que la dégradation des chernozem a commencé il y a déjà 5000 ans [KHOKHLOVA *et al*, 1999].

Lorsque l'on observe la carte des sols du Monde, on voit qu'en se rapprochant de l'atlantique et de ses vents humides d'été, la bande des chernozems russes s'effiloche progressivement. On la détecte encore facilement en Allemagne. Mais atteint-elle la France ? La réponse est oui car il y a deux petits espaces, dans notre pays, où le climat est suffisamment sec et froid. Le premier est la Limagne, protégé des vents d'ouest par la chaîne des Puys. Là, la pluviométrie est l'une des plus faibles de France. Les *terres noires de Limagne*, fort connues des spécialistes, et d'ailleurs visibles de l'autoroute A75, sont les sols les plus riches de notre pays. L'autre endroit où l'on trouve en France des sols à ranger dans la famille des chernozems, est l'Alsace. Protégée des vents d'ouest par les Vosges, elle est aussi exceptionnellement sèche du côté de Colmar.

CONCLUSION

Il est temps de conclure. En étudiant le chernozem, en donnant à l'observation de terrain la place qu'elle mérite dans toute science naturelle, Dokuchaev a eu les intuitions géniales qui lui ont permis de lancer la pédologie. Il est reconnu partout et par tous comme le principal fondateur de la discipline même si l'Allemand Friedrich Albert Fallou, a inventé, nous l'avons dit, le mot correspondant et même si le Danois P.E. Müller a lancé le premier la caractérisation des horizons des sols [FELLER *et al*, 2005].



En Russie, Dokuchaev est devenu une sorte de héros national magnifié par dessins et peintures.

Il existe un institut qui porte le nom de Dokuchaev ; une station agronomique est dévolue à l'étude du chernozem ; en plus le « *Dokuchaev central soil Museum* » est installé à Saint-Petersbourg. Le taxon « chernozem » est présent dans la plupart des classifications de sols du monde. Plusieurs Sociétés allemandes de science du sol ont ajouté à la gloire de cette sorte de terre en la faisant nommer dans leur pays « *Sol de l'année 2005* » !

Outre ses qualités de savant, il faut porter au crédit de Dokuchaev le fait d'avoir su créer une école de pensée. Il a attiré des élèves de tout premier plan qui ont laissé leur nom dans les sciences : Sergei Winogradsky (1856-1953), Gavriil-Ivanovich Tanfilyev (1857-1928), Nikolai Mikhailovich Sibirtsev (1860-1900), Vladimir-Ivanovich Vernadsky (1863-1945), Konstantin-Dmitrievich Glinka (1867-1927), et d'autres encore. En particulier, ils ont couché sur le papier et développé l'enseignement oral du maître



Le bloc de chernozem de l'Exposition Universelle de 1900 resta à Paris et fut offert à la Sorbonne. Le professeur Bernard Gèze en détacha un fragment qu'il emmena là où il enseignait la géologie agricole, c'est-à-dire à l'Institut National Agronomique de Paris. Effrité et cassé par l'âge, le morceau aurait pu finir à la poubelle. Les jeunes générations, qui ont perdu le sens du beau, ne voyaient que poussière, là où il fallait deviner la relique. Fort heureusement, les derniers précieux résidus ont été sauvés. Ils sont conservés à Orléans, dans les réserves de l'unité INRA appelée « INFOSOL ».

Aux toutes dernières nouvelles, les Américains sont prêts à abandonner leur système de classification des sols et acceptent de collaborer avec le reste de la communauté mondiale pour en bâtir un autre, universel cette fois.

REFERENCES PRINCIPALES

- AGAFONOFF V., 1936. *Les sols de France au point du vue pédologique*. DUNOD, 154 p + cartes.
- BOULAIN J., 1983. V.V. Dokouchaev et les débuts de la pédologie. *Revue d'Histoire des Sciences*, tome 36, n°3-4, pp. 285-306.
- CAMENA d'ALMEIDA P., 1904. La carte des sols de la Russie publiée par le département de l'agriculture. *Annales de Géographie*, Année 1904, Volume 13, Numéro 69, p. 270 – 275. Article en ligne (Persée).
- DOKOUTSCHAEFF B., 1900. *Zones verticales des sols, zones agricoles, sols du Caucase*. Collection pédologique, Exposition Universelle, Ed. Ministère des Finances de St-Péterbourg, 56 p.
- ECKMEIER E., GERLACH R., GEHRT E., SCHMIDT M.V.I., 2007. Pedogenesis of chernozem in Central-Europe – A review, *GEODERMA*, 139, 288-299.
- DEMOLON A., 1949. *La génétique des sols*. PUF, 126 p.
- FELLER C., AESCHLIMANN J.P., FROSSARD E., LUTZ V., 2008. Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa «Pédologie», 1 : La préface de l'ouvrage, *EGS*, Vol. 15, 2, 131-137 ; 2 : L'introduction de l'ouvrage, *Etude et Gestion des Sols*, 15,4, 2008, 255-267.

- FELLER C., BLANCHART E., JABIOL B., GREVE M.H., 2005. Quand l'humus est à l'origine de la pédologie, 1. Les travaux du forestier danois P.E. Müller (1840- 1926), *Etude et Gestion des Sols*, vol 12, 2, 2005, 101-122.
- HELMS D., EFFLAND B.W., DURANA P.J., Ed, 2002. *Profiles in the history of the U.S. Soil Survey*, Iowa State Press, 331 p.
- IBANEZ J.J., PEREZ-GOMEZ R., SAN JOSE MARTINEZ F., 2009. The spatial distribution of soils across Europe : A fractal approach. *Ecological Complexity*, 6, 294–301.
- KHOKHLOVA O.S., SEDOV S.N., GOLYEVA A.A., KHOKHLOV A.A., 2001. Evolution of Chernozems in the Northern Caucasus, Russia during the second half of the Holocene: carbonate status of paleosols as a tool for paleoenvironmental reconstruction, *GEODERMA*, 104, 2001, 115-133.
- KOTEK J., KOTEK D., 1986. *L'affaire Lyssenko*. Ed ; Complexe, Bruxelles, 238 p.
- LEGROS J.P., 2007. *Les grands sols du Monde*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes., 574 p.
- LEGROS J.P., 2011. Du chernozem russe à la Science du Sol. In : *La découverte de la Terre*. Conférence Nationale des Académies des Sciences, Lettres et Arts, pp. 139-149.
- MARGERIE (de) E., RAVENEAU L., 1900. a. La cartographie à l'exposition universelle de 1900. In: *Annales de Géographie*. 1900,t. 9, n°46. pp. 291-312. doi : 10.3406/geo.1900.5827
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1900_num_9_46_5827
- MARGERIE (de) E., RAVENEAU L. 1900. b. La cartographie à l'exposition universelle de 1900. In: *Annales de Géographie* t. 9, n°48. pp. 385-412. doi : 10.3406/geo.1900.6277
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1900_num_9_48_6277
- MARGULIS H., 1954. *Aux sources de la pédologie (Dokuchaev, Sibirtzev)*. Ouvrage ENSA Toulouse, 85 p.
- MARGULIS H., 1956. *Les théories pédologiques et agronomiques de l'académicien Williams*. Ouvrage ENSA Toulouse, 127 p.
- MARIE R., 1989. Clin d'œil sur l'évidence; le phénomène Lyssenko. *Acad. Sci. Lettres de Montpellier*, séance 29 Mai, Bull. T 20, pp. 147-161.
- MIKHAILOVA E. A. et POST C. J., 2006. Organic carbon stocks in the Russian Chernozem, *European Journal of Soil Science*, June 2006, 57, 330–336.
- OTOTSKY P., 1900. *Guide sommaire de la Section pédologique russe*. Exposition Universelle de Paris, Ed. Ministère des Finances de St-Petersbourg, 23 p.
- PEDRO G., 1984. La pédologie cent ans après la parution du "Tchernozem russe" de B.B. Dokoutchaev (1883-1983). *Science du Sol*, n° 2, 81-92.
- REYNOLDS S.G., BATELLO C., 2005. *Grasslands of the world*. Plant Production and Protection Series, n°34, FAO, 515 p.
- RISLER E., 1884 - 1897. *Géologie agricole*, 4 tomes en 2 volumes, 2ème édition en 1898-99 et 3ème en 1931 avec préface de H. Hitier. Berger-Levrault, Paris, 2000 pages environ.
- TANDARICH J.P., DARMODY R.G., FOLLMER L.R., JOHNSON D.L., 2002. Historical Development of Soil and Weathering Profile Concepts from Europe to the United States of America. *Soil Sci. Soc. American Journal*, 66, 335 – 346.