

LA NOTION DE PROCESSUS ELEMENTAIRE DE PEDOGENESE DEFINIE PAR GERASSIMOV SES DIFFERENTES POSSIBILITES D'UTILISATION ⁽¹⁾

Ph. DUCHAUFOUR ⁽²⁾

RESUME

Le processus élémentaire de pédogenèse défini par GERASSIMOV est une application de la trilogie de DOKUTCHAEV : milieu, processus, caractères, qui est à la base de la plupart des classifications génétiques. Les plus récentes ont tendance à privilégier le processus de formation des sols, permettant d'expliquer et de définir les caractères, qui caractérisent les unités; le milieu sert de guide, mais non de cadre à ces classifications. Le processus élémentaire de pédogenèse comporte cinq composantes, dont les trois principales sont : 1) l'altération et la formation des argiles; 2) l'humification; 3) la ségrégation et les migrations : leur combinaison permet de définir les propriétés biologiques, physiques et chimiques du sol.

En définissant la coordination des caractères liés génétiquement, le système de GERASSIMOV peut servir de base à une classification hiérarchisée; il convient toutefois de prendre en considération le facteur temps, c'est-à-dire l'âge des sols. Dans les sols dits à cycle court, l'humification est étroitement liée aux deux autres processus, par le biais des complexes organo-minéraux spécifiques qu'elle engendre (altération biochimique); au contraire, les sols à cycle long sont caractérisés par une altération géochimique profonde, indépendante de l'humification superficielle. Ceci conduit à distinguer cinq grandes divisions de sols : 1) les sols peu évolués (sans processus visible); 2) les sols dont la pédogenèse est liée à l'humification (altération biochimique); 3) les sols à pédoclimat contrasté (pédoturbation profonde et maturation humique); 4) les sols à altération géochimique (néoformation d'argile et accumulation d'oxydes cristallisés); 5) les sols conditionnés par la physico-chimie de la station (hydromorphie ou intervention de l'ion sodium).

INTRODUCTION

GERASSIMOV a défini le processus élémentaire de pédogenèse en application — selon sa propre expression — de la formule proposée par DOKUTCHAEV : milieu-processus-caractères (1974, 1975). Cette définition sert de base au diagnostic, tel qu'il est proposé par l'auteur, concernant la formation génétique des sols. En fait, toutes les classifications dites « génétiques », c'est-à-dire basées sur la formation des sols sous l'action du milieu, font appel à cette « trilogie », mais en y introduisant des nuances et en mettant l'accent sur l'un ou l'autre de ces trois termes.

Il est intéressant de comparer, à ce propos, trois grandes groupes de systèmes de classification, qui utilisent de façon différente la trilogie : Milieu-Processus-Caractères.

1) La classification de l'URSS utilise intégralement les trois termes : ainsi, les zones climatiques servent de cadre général à la classification.

(1) Version française de l'article publié en langue russe dans le numéro spécial de POCHVOVEDENYE (1985), dédié à la mémoire du professeur GERASSIMOV.

(2) Prof. honoraire à l'Université de Nancy.

2) Les classifications d'Europe occidentale, en particulier la classification française, ont tendance, au contraire, à faire passer au second plan le milieu extérieur, pour attribuer la priorité au processus et aux caractères ; ces classifications considèrent, en effet, qu'il existe des *facteurs de compensation* entre différents facteurs du milieu, des processus semblables pouvant être induits par des contextes écologiques différents : par exemple, le processus de « podzolisation » est tantôt climatique (podzol boréal), tantôt stationnel (podzol atlantique sur matériau sableux), tantôt anthropique (podzol de dégradation des landes atlantiques) ; tous ces podzols sont alors regroupés dans une même classe, le processus étant, en gros, le même.

3) La classification américaine (Soil Taxonomy) et la légende F.A.O., au contraire, s'appuient sur des « combinaisons de caractères » : dans un premier temps, les considérations d'environnement et de processus n'ont joué qu'un rôle secondaire dans les définitions proposées. Cependant, on peut noter une évolution récente des classificateurs anglo-saxons à ce point de vue : ils s'efforcent désormais de donner une base génétique et même écologique à la définition des « horizons diagnostic » servant de base à la définition des ordres et des sous-ordres (WILDING *et al.*, 1983).

En conclusion, on peut observer que la plupart des classifications génétiques mondiales mettent désormais l'accent sur l'interaction des processus et des caractères de base ; le milieu est, bien entendu, pris aussi en considération, mais il sert de *guide*, plutôt que de *cadre*, à la définition des différentes unités : *celles-ci sont alors définies par les caractères propres des sols, expliqués par les processus évolutifs* ; une parfaite connaissance de ces processus est en effet indispensable aux deux démarches servant de fondement à toute classification : 1) sélection et hiérarchisation des critères de base utilisés aux différents niveaux ; 2) coordination entre eux des caractères servant à définir une unité donnée.

C'est dans cette optique que GERASSIMOV a défini le processus élémentaire de pédogenèse : cette idée rejoint donc celle des principaux classificateurs d'Europe occidentale. Cependant, certaines différences de conception dans l'utilisation du processus peuvent exister, certains classificateurs mettant l'accent sur les corrélations très étroites qui existent, pour certains sols, entre les trois aspects fondamentaux du processus : humification, altération, mouvements de matière. Dans les sols à évolution rapide (dits à cycle court), le processus d'humification semble jouer un rôle intégrateur et conditionner les deux autres composantes du processus général, ce qui n'est pas le cas des sols les plus vieux ; il convient donc de séparer, dans les classifications, les sols récents, à cycle court, des sols anciens, à cycle long : ceci oblige à conférer au facteur *temps* une place importante dans toute classification.

Dans ces conditions, cet article comportera trois parties : 1) Modalités de la définition du processus de base ; 2) Utilisation du facteur temps ; 3) Rôle particulier de la matière organique dans les sols à cycle court.

I. LE PRINCIPE DE GERASSIMOV : SES DIFFERENTS ASPECTS

Dès 1974, GERASSIMOV définissait le *processus élémentaire de pédogenèse* comme une combinaison de plusieurs processus, physiques, biologiques et chimiques, étroitement corrélés entre eux. En 1975, cet auteur donnait une définition plus précise et plus détaillée, le processus élémentaire de pédogenèse pouvant se subdiviser en cinq composantes :

1. **Altération de la masse minérale** : concernant essentiellement l'altération des minéraux primaires et la formation des argiles (orthosiallitisations ; néosiallitisations ; ferrallitisations).

2. **Transformation de la masse organique** : humification (tourbes ; humus brut, humus acide, neutre, alcalin).

3. **Ségrégation et migration** : conditionnant essentiellement les mouvements de matière, et aussi certains phénomènes particuliers tels que la salinisation et les processus d'oxydo-réduction (hydromorphie).

4. **La cimentation**

5. **La déformation** (cryogénique, vertique, biogénique)

Les trois premiers termes peuvent être considérés comme fondamentaux et ils interviennent partiellement dans la définition de tous les groupes ; les deux derniers, moins importants, ne sont pris en compte que dans la définition de certains groupes.

Il est très significatif que la classification française de 1967, ainsi que celle proposée par l'auteur en 1984, utilisent *les mêmes critères de base*, avec, toutefois, certaines différences qu'il convient de signaler.

Les trois critères de base servant à définir les classes et sous-classes, *humification, altération, mouvements de matière*, sont pratiquement les équivalents des termes 1, 2 et 3, définis par GERASSIMOV ; l'humification est toutefois placée en tête, en raison du rôle pilote qui lui est attribué dans la pédogenèse de certaines classes de sols.

Par ailleurs, les processus chimiques très spéciaux, et conditionnés localement par certaines conditions particulières de station telles que l'oxydo-réduction et la salinisation (et sodisation), peuvent être regroupés au sein d'une division concernant les sols liés aux propriétés locales particulières de la station.

Quant au processus 5 de GERASSIMOV (*déformation*), il est possible de l'utiliser dans une acception un peu différente, pour définir deux classes regroupées dans une division concernant *les sols à pédoclimat contrasté* ; il s'agit du processus de *pédoturbation* conduisant à l'homogénéisation profonde du profil et à l'effacement d'horizons bien différenciés, sous l'influence de certains facteurs : retrait et gonflement des argiles (vertisolisation), activité biologique (bioturbation), action du gel (cryoturbation) ; on retrouve là les trois modalités définies par GERASSIMOV.

Dans le projet de classification proposé par l'auteur (1983, 1984), l'idée de GERASSIMOV de corrélations existant entre les processus biologiques, physiques et chimiques est reprise et amplifiée : les processus 1, 2 et 3 définis par ce dernier sont effectivement étroitement liés l'un à l'autre, notamment pour les sols dits à cycle court (post-glaciaires, dans les zones froides et tempérées) ; *l'humification paraît jouer un rôle « pilote » dans la pédogenèse et conditionner les deux autres processus, altération et mouvements de matière*. Cette notion permet alors, pour cette catégorie de sols, de définir un *processus général de base*, qui englobe les trois aspects de la pédogenèse et permet de définir les principales classes.

II. UTILISATION DU FACTEUR TEMPS

Le facteur temps, déjà pris en considération par DOKUTCHAEV lui-même, a pris, depuis quelques années, une importance considérable en pédologie ; il ne peut donc être négligé par les classifications. Il s'agit, en fait, de la durée de l'évolution, c'est-à-dire du temps nécessaire pour que le développement du sol atteigne son état d'équilibre avec le milieu ; or, ce temps est très variable, oscillant entre quelques milliers d'années (par exemple les podzols) à plus d'un million d'années (cas de certains sols ferrallitiques).

L'importance de ce facteur n'a pas échappé aux pédologues soviétiques : alors qu'il y a vingt ans (GERASSIMOV, 1951, 1953) l'accent était mis encore en priorité sur les facteurs climatiques et la définition des zones, en 1978 LOBOVA indiquait que la notion de zonalité ne devait pas être appliquée partout de façon trop stricte et qu'elle devait être amendée dans certains cas, en fonction de l'âge des sols ; pour les sols les plus vieux notamment, des variations climatiques ont pu intervenir au cours de la pédogenèse ; les auteurs russes ont alors défini la notion de « couver-

ture pédologique », formée de « paléosols », constituant un intermédiaire entre le matériau géologique et le sol proprement dit, acception donc différente de celle des pédologues français.

De telles couvertures pédologiques plus ou moins anciennes, parfois absentes, mais le plus souvent présentes dans les zones tropicales, rendent le principe de la zonalité moins évident dans ces zones que dans les zones tempérées ou froides. Ces sols très vieux ont été regroupés dans la légende de la carte des sols du monde, établie par les pédologues russes, au sein de sous-classes particulières : *sols paléo-automorphes* (ferrallitiques et ferrugineux tropicaux : LOBOVA, 1977).

Cette notion d'âge des sols a été introduite de diverses façons dans les classifications d'Europe occidentale : dans la version de la classification proposée par l'auteur en 1984, une distinction fondamentale a été établie entre les sols à évolution prolongée (dits à cycle long, c'est-à-dire ayant duré plus de 100 000 ans) des régions chaudes, et ceux des régions tempérées ou froides.

Dans les zones à climat chaud, il n'est généralement pas possible, même pour les sols les plus vieux, de faire apparaître une discontinuité de la pédogenèse ; les différentes phases de l'évolution, lorsqu'elles existent, se distinguent mal les unes des autres. Dans ces conditions, le profil est considéré comme un tout, même si les horizons supérieurs sont modifiés secondairement par l'action de la matière organique : c'est la pédogenèse des horizons inférieurs, non soumise à l'action de la matière organique, qui sert alors de base à la définition des classes de climat chaud, classes qui peuvent être regroupées dans une division particulière.

Par contre, les sols les plus vieux, qui subsistent dans les zones froides ou tempérées, ont fait l'objet, de la part des classificateurs occidentaux, d'une analyse différente : ceci est lié au fait qu'ils ont été soumis aux phases de glaciation, en particulier la dernière, celle du Würm, qui a duré presque 100 000 ans ; quand les matériaux anciens n'ont pas été éliminés purement et simplement par le rabotage dû à l'érosion glaciaire, ils ont été soumis à deux phases successives, nettement distinctes, de pédogenèse, l'une antéglaciaire, ou interglaciaire, caractérisée par un climat relativement chaud, l'autre postglaciaire, donc soumise à l'action du climat actuel et à celle d'un processus d'humification bien déterminé. Ces deux phases sont cette fois nettement séparées dans le temps et aussi dans l'espace, la partie profonde du profil, constitué d'un paléosol, reflétant la pédogenèse ancienne de climat chaud, alors que les horizons superficiels caractérisent le cycle court récent ; il y a, dans ce cas, superposition de deux cycles distincts de pédogenèse : le sol est dit *polycyclique* (ou *polyphasé*). Précisons que pour faciliter la comparaison avec les sols récents voisins, caractérisés par un seul cycle récent (sol *monocyclique* ou *monophasé*), c'est le cycle récent qui sert de base à la détermination de la classe à laquelle le sol est rattaché ; par exemple, dans les sols brunifiés tempérés, on distinguera les sols bruns eutrophes monocycliques sur roche éruptive, et les sols bruns eutrophes polycycliques, tels que ceux formés sur *Terra fusca* (ou *Terra rossa*), paléosol résultant de l'altération de certains affleurements calcaires par dissolution lente.

En résumé, la « couverture pédologique » (dans son acception russe), peut servir de base à la définition de la *classe*, dans les zones à climat chaud, alors qu'elle est seulement utilisée pour définir des *groupes particuliers*, dits *polycycliques*, dans les zones froides et tempérées. Cette distinction se justifie également par une constatation essentielle : les sols à cycle long sont largement majoritaires dans les régions chaudes, les sols à cycle court constituant l'exception ; au contraire, les sols à cycle court, c'est-à-dire à évolution entièrement postglaciaire, sont de beaucoup les plus répandus dans les régions tempérées et froides, les sols anciens, donc polycycliques, étant beaucoup plus rares. Il est logique que les processus caractérisant les cycles longs servent de base à la définition des classes de climat chaud (tropical et équatorial) et que ceux qui caractérisent les cycles courts soient utilisés pour définir les classes des climats froids et tempérés.

Il convient de rappeler ici une des conclusions formulées dans le paragraphe précédent : la matière organique ne joue un rôle réellement efficace que dans la

pédogenèse des sols à cycle court, alors qu'elle est sans action sur l'évolution de la fraction minérale des sols à cycle long (sauf, pour certains sols, dans les horizons de surface); le processus d'*altération*, en particulier, diffère profondément dans les deux cas, ce qui a conduit certains auteurs à opposer l'*altération biochimique*, caractéristique des sols à cycle court, à l'*altération géochimique*, caractéristique des sols de climat chaud à cycle long (PEDRO, 1964; LELONG et SOUCHIER, 1972; DUCHAUFOUR, 1983, 1984). Les différentes modalités de l'altération biochimique, liées aux processus d'humification, seront étudiées dans le paragraphe suivant; dans l'ensemble, il s'agit d'une hydrolyse ménagée conduisant surtout à la *transformation* ou à la *dégradation* des argiles de type illite-vermiculite. Au contraire, l'altération géochimique conduit à une hydrolyse totale des minéraux primaires, libérant les constituants qui, ensuite, se réorganisent en gels, puis en *argiles de néoformation* (kaolinite ou montmorillonite, suivant le milieu); les oxyhydroxydes libérés sont conservés sous une forme cristalline dans le profil, auquel ils confèrent une teinte vive (rouge ou ocre vif).

III. ROLE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA PEDOGENESE

Le rôle essentiel de la matière organique dans la pédogenèse des sols à cycle court (c'est-à-dire à évolution postglaciaire) a été longtemps sous-estimé : sa composition, ses propriétés et les modalités de son interaction avec la matière minérale étaient en effet mal connues. La classification des « types d'humus », formés en milieu aéré, se limitait à celle proposée par KUBIENA (1953), qui opposait les humus biologiquement actifs, dits *MULL*, caractérisés par une décomposition rapide de la matière organique fraîche et la formation d'une structure aérée à base d'agrégats argilo-humiques, aux humus à faible activité biologique, dits *MODER* ou *MOR*, en général très acides et constitués d'un horizon Ao organique épais, incomplètement décomposé et superposé au sol minéral.

A la suite de recherches récentes, la connaissance des processus d'humification a fait des progrès spectaculaires, qui ont montré le rôle capital des complexes organo-minéraux dans l'orientation de la pédogenèse, et la formation des propriétés physico-chimiques du sol. Ces complexes diffèrent entre eux, d'une part par leur solubilité, leur mobilité dans le profil, d'autre part par la rapidité de leur « turnover » (renouvellement) : certains complexes sont « mobiles », par exemple ceux qui provoquent la podzolisation ; d'autres sont immobilisés très rapidement par les cations et les argiles : ils sont alors à l'origine des « agrégats » des *MULL*. Mais la rapidité du turnover de la fraction organique (elle-même étroitement liée à la vitesse de sa « minéralisation ») dépend surtout de l'action stabilisatrice, plus ou moins efficace, de la fraction minérale du complexe : faible pour les oxydes de fer et l'argile en milieu acide, forte pour l'ion calcium, surtout sous la forme CaCO_3 , très forte pour l'alumine des allophanes ; ceci explique la teneur très variable en matière organique des mull de climats humides (de l'ordre de 10 kg au m^2 dans les mull des sols bruns acides, 25 à 30 kg au m^2 dans des rendzines, parfois 100 kg au m^2 dans les andosols).

Par ailleurs, on sait maintenant qu'il existe, dans la plupart des humus, une fraction pratiquement inerte, dont le temps moyen de résidence, mesuré par le ^{14}C , peut atteindre plusieurs milliers d'années : cette fraction résulte d'une *maturation lente* de l'humus, favorisée par les saisons sèches. Pratiquement négligeable dans les mull forestiers de climat humide, elle peut devenir majoritaire dans les sols à climat contrasté : GERASSIMOV (1971, 1973) a précisément mis en évidence, dans les chernozems, l'hétérogénéité de la matière organique, dont une fraction est labile, l'autre (pouvant dépasser 50 %) étant pratiquement inerte.

On peut déduire de ces considérations que les complexes organo-minéraux labiles, c'est-à-dire à turnover rapide mais conservant néanmoins, dans un milieu donné, leurs propriétés initiales, jouent le rôle principal dans la pédogenèse des sols de climat

humide, alors qu'au contraire les complexes les plus stables, résultant d'une maturation prolongée, caractérisent les sols à climat contrasté, tels que les chernozems et les vertisols.

Le lien étroit qui existe entre la nature et les propriétés des complexes organo-minéraux et les processus 1 (altération et formation des argiles) et 2 (ségrégation et migration), distingués par GERASSIMOV, a été mis récemment en relief par certains auteurs.

1. Altération et origine des argiles :

ROBERT (1970) a distingué trois modalités de l'altération biochimique, liées aux trois types d'humus : mull calcaire (et mull calcique), mull acide, mor (et moder) ; le premier est caractérisé par une hydrolyse très modérée, dite *neutrolyse*, qui se traduit surtout par une perte de calcium (plus ou moins compensée par des apports) et une faible transformation des argiles héritées ; le second (mull acide) est à l'origine d'une *acidolyse modérée*, provoquant une transformation plus accentuée des argiles micacées, avec aluminisation partielle des vermiculites et perte d'une certaine proportion d'ions alumineux ; enfin, le troisième (moder et surtout mor très acide) provoque une *acido-complexolyse*, beaucoup plus drastique, des minéraux primaires et même des argiles préexistantes, qui peuvent être complètement « solubilisées » et « amorphisées » (après migration) au cours du processus appelé podzolisation.

2. Ségrégation et migrations :

C'est encore la nature et l'origine des complexes organo-minéraux qui conditionnent ces processus. La grande mobilité des complexes organo-minéraux formés par les mor (parfois moder) explique la différenciation d'un horizon éluvial décoloré, dit cendreau, et d'un horizon illuvial, foncé, formé par la précipitation de ces complexes, qui caractérise les podzols. Par ailleurs, la formation d'humus de type *mull* n'est pas incompatible avec un lessivage modéré des argiles : une petite quantité de matière organique suffit à neutraliser, par son pouvoir complexant, l'action floculante des ions Ca^{2+} (en milieu peu acide) ou Al^{3+} (en milieu acide) et à permettre la dispersion et l'entraînement des argiles les plus fines.

Enfin, l'humus exerce une action non négligeable sur le *cycle des nutriments*, notamment l'azote, le phosphore et les cations (Ca^{++} , Mg^{2+} , K^+), par le jeu du *cycle biogéochimique*, c'est-à-dire la retombée en surface, au sein des « litières », des éléments puisés en profondeur par la plante ; sous les *mull*, par exemple, formés sur matériau minéral initialement pauvre, on observe une concentration en surface de N, P, K, Ca et Mg, ce qui élève le pH, favorise l'activité biologique et fournit aux plantes les nutriments nécessaires. Précisons que ce cycle est bien différent si on compare entre eux les sols bruns forestiers atlantiques et les chernozems de steppe : dans les premiers, l'effet « litière » superficiel joue le rôle dominant ; dans les seconds, le cycle est en grande partie souterrain et lié à l'activité de la « rhizosphère ».

Au terme de cette analyse, les trois termes 1, 2 et 3 du processus élémentaire de pédogenèse de GERASSIMOV apparaissent étroitement liés : il est possible d'utiliser cette coordination pour définir un certain nombre de *processus de base* liés aux principaux types d'humification, chacun d'eux servant à caractériser une classe. Les classes de sols concernées peuvent être regroupées en deux divisions principales, l'une concernant les climats forestiers humides, l'autre les climats de steppe à saison sèche marquée : pour les premiers, l'humification est un processus biologique rapide, qui exerce une action directe sur l'évolution de la fraction minérale. Pour les seconds, les variations saisonnières du pédoclimat agissent simultanément sur la fraction organique et la fraction minérale ; les complexes organo-minéraux formés offrent une couleur noire, due à la maturation lente d'une partie de la fraction humique. En outre, l'homogénéisation du profil par intervention de divers processus de pédoturbation peut être assimilée au processus 5 de GERASSIMOV (Sols Isohumiques et Vertisols).

CONCLUSION

Au terme de cette étude, la notion de *processus élémentaire de pédogenèse*, définie par GERASSIMOV, peut être considérée comme la base fondamentale de toute classification génétique, mais elle peut être utilisée de différentes façons, soit en caractérisant chaque type pédologique par la combinaison des cinq composantes du processus, comme l'a fait GERASSIMOV, soit en adoptant un point de vue plus synthétique, consistant à utiliser les corrélations existant entre ces cinq composantes, pour définir les processus de base définissant chaque classe. Chacun des deux systèmes présente des avantages et des inconvénients : le projet adopté par l'auteur est une solution de synthèse, qui oblige à définir des sous-classes intermédiaires, dites « intergrades », caractérisées soit par une modification du processus de base, soit par l'intervention simultanée de plusieurs processus de base caractérisant des classes différentes.

Les principaux processus caractéristiques de chacune des classes ont été décrits par l'auteur dans ses derniers ouvrages (1983-1984) ; ils ont été désignés de la façon suivante : Classe II : *Cryptopodzolisation et Andosolisation* ; Classe III : *Carbonatation* ; Classe IV : *Brunification* (accompagnée souvent de lessivage) ; Classe V : *Podzolisation* ; Classe VI : *Isohumisme* ; Classe VII : *Vertisolisation* ; Classe VIII : *Ferralsitisation* ; Classe IX : *Ferrugination* ; Classe X : *Ferralsitisation* ; Classe XI : *Hydromorphie* ; Classe XII : *Salinisation et sodisation*.

Par ailleurs, l'application des principes exposés dans cet article peut conduire au *regroupement des douze classes en cinq divisions principales*, A, B, C, D, E. Ce regroupement est souhaitable dans un but didactique :

- *Division A* : aucun processus visible (sauf certains profils intergrades). Classe I.
- *Division B* : sols dont la pédogenèse est liée à l'humification ; altération biochimique. Classes II, III, IV et V.
- *Division C* : processus conditionnés par de forts contrastes saisonniers : pédoturbation, maturation humique, cycle particulier du calcium. Classes VI et VII.
- *Division D* : sols caractérisés par une altération géochimique prolongée : néoformation d'argiles, accumulation d'oxydes cristallisés accompagnée d'une perte de silice croissante de la classe VIII à X.
- *Division E* : sols dont l'évolution est conditionnée par des facteurs physico-chimiques locaux : soit abaissement temporaire ou permanent du Eh par formation d'une nappe (classe XI), soit présence de l'ion sodium sous forme saline ou échangeable (classe XII).

Reçu pour publication : septembre 1985

Accepté pour publication : novembre 1985

ELEMENTARY SOIL PROCESS BY GERASSIMOV : ITS POSSIBILITIES OF USE FOR CLASSIFICATION

Elementary Soil Process of GERASSIMOV is an application of the diagram of DOKUCHAEV : environment —> process —> characters, which is the basis of several classifications called « genetic ». The more recent take into account primarily the soil formation processes, which allow to explain and to define the characters of soils; the environment is used as a guide, but not as a frame of these new classifications. The Elementary Soil Process is divided in five components, of which the three main are : 1) weathering and clay formation ; 2) humification ; 3) segregation

and redistribution of matter ; their combination allows to define the biological, physical and chemical soil properties.

If this coordination of the genetic characters of the soil is taken into account, Gerassimov's System can be used as a basis of an hierarchic classification. However, the factor time (age of the soil) seems to be important. For soils having a short cycle of development, humification activates the two other processes, through the organo-minerals complexes that it forms (biochemical weathering). On the contrary, the soils having a long cycle of development are characterised by a deep geochemical weathering, which is relatively independent of humification. This leads to the distinction of five divisions : 1) Weakly developed soils (without any process); 2) Soils of which pedogenesis is bound to the humification (biochemical weathering); 3) Soils with contrasting pedoclimate (pedoturbation and maturation of humus); 4) Soils with geochemical weathering (neoformation of clay and abundance of well crystallised oxydes); 5) Soils depending on physico-chemical conditions of the site (hydromorphic, saline and sodic soils).

BIBLIOGRAPHIE

- DUCHAUFOR (Ph.), 1984. — *Abrégé de Pédologie*. Masson, Paris éd., 220 p.
- DUCHAUFOR (Ph.) et SOUCHIER (B.), 1983. — *Pédologie*. Tome I. *Pédogenèse et classification*. Masson, Paris éd., 2^e édition, 491 p.
- GERASSIMOV (I.P.), 1951. — Origin of modern natural geographic zones on the USSR territory. *Izvestya USSR Ac. Sc. Geogr. Série n° 2*.
- GERASSIMOV (I.P.), 1953. — Geographical observations in the North and West Afrika. *Izvestya USSR Ac. Sc. Geogr. Série n° 4, 5, 6*.
- GERASSIMOV (I.P.), 1971. — Nature and originality of paleosols. In : *Paleopedology*. Yaalon ed., Israel Univ. Press, 15-27.
- GERASSIMOV (I.P.), 1973. — *Soil Science*, 112 (6), 392-400.
- GERASSIMOV (I.P.), 1974. — L'utilisation du processus élémentaire des sols en matière de génétique des sols. *Trans. 10th Int. Cong. Soil Science*, Moscou, VI (II, 482-489).
- GERASSIMOV (I.P.), 1975. — Experiment in genetic diagnosis of the USSR on the basis of elementary soil process. *Pochvovedeniye*, 5, 3-9 (Soviet Soil Sci., 7 (3), 257-263).
- KUBIENA (W.L.), 1953. — *The soils of Europe*. Th. Murby, London, 317 p.
- LELONG (F.) et SOUCHIER (B.), 1972. — *C.R. Acad. Sci. Paris*, 274 D, 1896.
- LOBOVA (E.V.), 1977. — The new world map (sc. 10 000 000) in problems of soil science. *USSR Acad. Science*, 310-320.
- LOBOVA (E.V.), 1978. — The problem of world soil mantle evolution. *Int. J. Ecol. Environm. Sc.*, 4, 75-82.
- PEDRO (G.), 1964. — Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique de roches cristallines. *Thèse Doct. Etat*, Fac. Sci. Paris, INRA Publi., 334 p.
- ROBERT (M.), 1970. — Etude expérimentale de la désagrégation du granite et de l'évolution des micas. *Thèse Doct. Etat*, Fac. Sci. Paris, 195 p.
- WILDING (L.P.), SMECK (N.E.) et HALL (H.F.), 1983. — Pedogenesis and soil Taxonomy. Vol. I : Concepts and interaction, 303 p. Vol. II : The soil orders, 410 p. Elsevier Amsterdam, Oxford, New York Publ.