

Introduction à l'étude de la simulation de l'évolution granulométrique du sol

Présentation d'un modèle informatique

J.-P. LEGROS *

SOMMAIRE

Cet article présente un modèle informatique simulant l'évolution granulométrique au cours de la pédogénèse. Le matériau pédologique est assimilé à une collection de particules dont chaque élément est défini par quelques paramètres. On étudie alors l'évolution de ces particules sous l'action de différents mécanismes de transformation : fragmentation, dissolution, transferts... L'utilisation d'un tel modèle est discutée. On montre en particulier qu'il permet de comprendre certaines observations faites dans le milieu naturel.

INTRODUCTION

Dans un mémoire récent (LEGROS, 1982), nous avons développé un modèle informatique nommé SOLGÈNE simulant l'évolution de la granulométrie du sol au cours de la pédogénèse.

Jusqu'à présent aucune recherche de cette nature n'avait été réalisée. Aussi, il nous paraît utile de résumer ici les points essentiels de la démarche mise au point, sans entrer dans des détails fournis ailleurs.

Au cours d'une première partie, le principe de la simulation sera présenté. Dans une seconde partie, on indiquera quel type d'objectif pédogénétique est accessible au travers d'une telle approche. Enfin, en guise de conclusion, on dégagera l'intérêt et les limites de la méthode.

I - PRESENTATION DU MODÈLE INFORMATIQUE : SOLGÈNE

A) PRINCIPE

• Assimilons un matériau pédologique à une collection de particules dont chaque élément est caractérisé par quatre paramètres principaux (figure 1) :

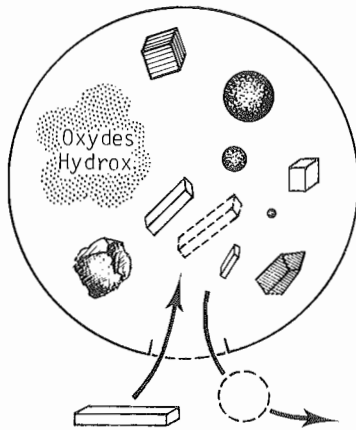
1° Une **forme** géométrique simple, telle que sphère, cube ou parallélepède rectangle.

2° Une **taille** précise inférieure à 2 mm (on se limite dans cette étude à la terre fine).

3° Une **nature minéralogique** reconnue parmi n éventualités concevables. Ici nous nous sommes arrêtés à trois constituants. Ceci permet, en première approximation, d'étudier des sols dérivés, soit de roches cristallines telles que granite (quartz, micas, feldspaths), soit de calcschistes (quartz, micas, carbonate de calcium).

4° Enfin, définissons pour chaque particule un certain **degré d'altération** apprécié sur la base d'indicateurs divers, par exemple la proportion de fer ou d'aluminium libérés au cours de la pédogénèse.

* I.N.R.A. - Science du Sol - Montpellier.



- Chaque particule est caractérisée par :
- 1 - sa forme
 - 2 - sa dimension
 - 3 - sa nature minéralogique
 - 4 - son degré d'altération

FIGURE 1 : Image d'un matériau pédologique dans SOLGENE.
Model of a soil horizon in SOLGENE computer system.

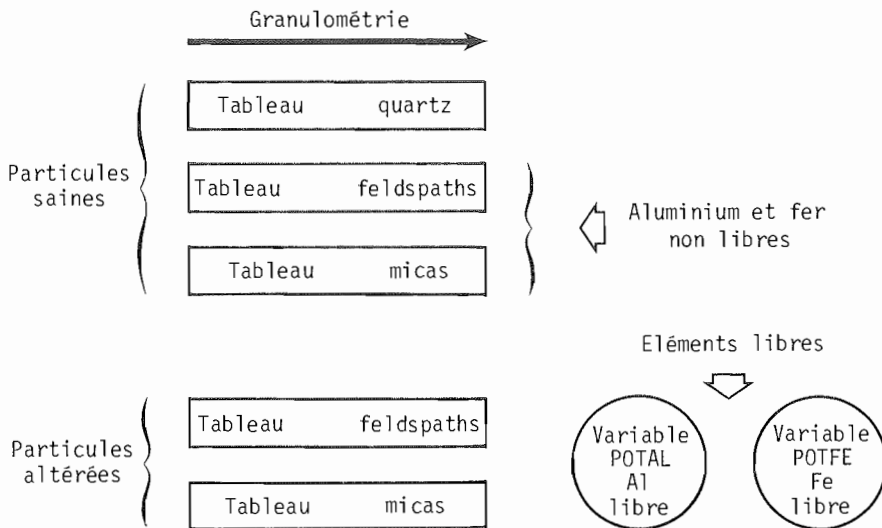


FIGURE 2 : Représentation informatique correspondant à la fig. 1
Computer organisation corresponding with fig. 1

Dans ces conditions, à tout horizon pédologique et toute roche-mère meuble, peuvent être rattachées des collections de particules les représentant. Il s'agit donc d'un modèle construit sur la base d'observations morphologiques, d'analyses granulométriques, de déterminations chimiques et de reconstitutions minéralogiques. Le problème qui se pose alors est le suivant :

— Comment faut-il déformer la collection de particules initiales, correspondant à telle roche-mère, pour qu'elle en vienne à ressembler, de plus en plus, à la collection de particules caractérisant l'horizon du profil situé au-dessus ? Il s'agit donc bien de simuler l'évolution pédologique entre deux stades déterminés, appelés par convention **état initial** et **état final**, et correspondant l'un et l'autre à des observations de terrain. Cela n'a de sens que pour des sols différenciés in situ dans lesquels le matériel d'altération provient du substrat géologique situé dessous. Pour s'assurer du bien-fondé d'une telle hypothèse on s'est appuyé sur l'expérience de terrain et sur des arguments fournis par la cartographie pédologique.

La simulation est conduite au moyen d'un modèle général SOLGÈNE, dans lequel sont introduits divers Modèles Élémentaires de Transformation (MET). Ceux-ci sont capables de fragmenter, de dissoudre, d'altérer, d'exporter ou d'importer les éléments de la collection de particules prise en compte.

Ainsi, tous calculs faits, on peut par exemple affirmer que pour reconstituer l'évolution de tel horizon depuis le stade initial « roche-mère », il faut faiblement fragmenter les particules grossières et beaucoup exporter les particules fines. On saisit immédiatement qu'un diagnostic de ce type, constitue une information importante susceptible d'être discutée et interprétée en termes de pédogénèse. Naturellement, la mise en œuvre du processus de simulation est complexe. Toutes sortes de transformations sont concevables a priori pour chaque minéral et dans chaque classe de taille. De ce fait, à l'intérieur de SOLGÈNE, un programme informatique (de 920 lignes PL 1) appelé Unité de Pilotage, est chargé d'organiser la déformation de la collection initiale de particules selon des règles qui seront présentées plus loin.

B) DONNÉES SOMMAIRES SUR LA REPRÉSENTATION INFORMATIQUE

Le principe de la représentation informatique est le suivant : les particules sont réparties en différents tiroirs (tableaux) de façon à les séparer en fonction de leur degré d'altération et de leur nature minéralogique. A l'intérieur de chaque tiroir, on trouve 1000 cases élémentaires; chaque case accueillant les particules dont le rayon en μm est égal au numéro de la case. Par exemple, les sables de diamètre 1000 μm sont dans la case n° 500. Notons que l'aluminium et le fer libre sont comptés à part (figure 2, variables POTAL et POTFE). En effet pour ces produits la taille n'est pas définie.

Déformer la collection de particules revient alors, le plus souvent, à transférer des minéraux d'un tiroir à l'autre ou d'une case à l'autre. Par exemple pour altérer, on extrait une masse donnée de matière dans les tiroirs correspondant à du matériel sain et on introduit la même masse dans les tiroirs prévus pour le matériel altéré.

En d'autres termes SOLGÈNE est un modèle à **compartiments**, les Modèles élémentaires de transformation ayant pour tâche d'organiser les **règles de circulation** entre ces compartiments (LEGAY, 1973).

C) PRINCIPAUX MODÈLES ÉLÉMENTAIRES DE TRANSFORMATION (MET)

Définir la liste des transformations élémentaires acceptées constitue une phase très importante de la recherche, car il s'agit de cerner le champ d'application du modèle. Dans ce travail nous n'avons pas prévu, par exemple, de faire apparaître de nouvelles particules (néoformation) excluant du même coup l'étude des sols dans lesquels ces phénomènes sont importants : sols tropicaux, sols argileux, sols à concrétions calcaires, etc...

Ici, nous nous sommes intéressés essentiellement aux sols brunifiés et podzolisés sur roches cristallines et donc aux mécanismes de **fragmentation**, de **dissolution** et de **transferts** d'éléments fins. Tout ce qui concerne les néogénèses est négligé. Il s'agit en effet de sols dans lesquels le squelette formé de minéraux primaires, résistants ou altérables, constitue la fraction dominante, soit 80 à 90 % du matériau pédologique.

Les particules de chaque type minéralogique sont traitées séparément, aussi il a fallu créer plusieurs modèles de fragmentation et plusieurs modèles de dissolution. Par ailleurs, nous avons également simulé la libération et le transfert des oxydes-sesquioxydes de fer et d'aluminium. Au total, **quinze MET** ont ainsi été constitués.

Ici nous allons seulement passer en revue ceux qui ont une influence marquée sur l'évolution granulométrique de la collection de particules.

Au passage, il est bon de noter que le concept même de transformation élémentaire est discutable. Dans la nature les phénomènes sont à la fois globaux et complexes. Par exemple la transformation d'un mica (ROBERT, 1970) observée sur le terrain, ne peut être simulée qu'en faisant appel simultanément au modèle libération de fer, dissolution et probablement fragmentation. En d'autres termes, nous ne reproduisons pas exactement les différents mécanismes d'altération, nous nous livrons plutôt à leur **dissection** (cf. l'analyse factorielle des statisticiens).

1° MET fragmentation

La fragmentation des minéraux du squelette a déjà fait l'objet d'une tentative de modélisation (RUSSEL, 1976). Dans SOLGENE, la division des particules est simulée en extrayant une certaine masse de matière dans des cases de numéro $n1$ et en introduisant la même quantité dans des cases de numéro $n2$, $n^{\circ} n3$, $n^{\circ} n4...$ avec $n2, n3, n4 < n1$ (figure 3). En fait, on peut jouer sur plusieurs paramètres :

- intensité de la division (quelques gros morceaux ou au contraire nombreux débris);
- régularité de la division (fragments égaux ou non);
- proportion P% de particules d'une taille donnée se brisant alors que le reliquat (100-P) demeure inchangé.

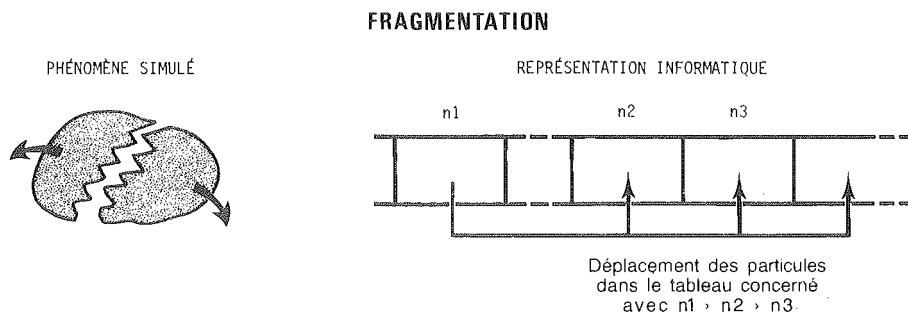


FIGURE 3. *Principe de la fragmentation d'une particule*

Principle of the particle breaking up model

Ceci implique donc de très nombreux essais de simulation visant à déterminer de quelle façon et dans quelle mesure le résultat de la fragmentation dépend de la valeur fixée pour chaque paramètre. On observe alors que l'évolution du squelette d'un matériel pédologique, sous l'influence de phénomènes de division, peut conduire théoriquement, à des granulométries fort variées. Cela nous a amené à étalonner les paramètres en utilisant conjointement :

- des observations faites dans le milieu naturel;
- des essais de fragmentation par le gel, réalisés au laboratoire du CNRS de Caen;
- des essais de fragmentation par ultrasons conduits dans le laboratoire INRA-ENSA de Montpellier.

Cependant, en dépit de son polymorphisme, la fragmentation présente toujours un aspect typique lorsqu'on part d'un matériel grossier (collection de particules sableuses). Il y a d'abord apparition de limon, en plus ou moins grande quantité, puis enrichissement progressif en argile (figure 4).

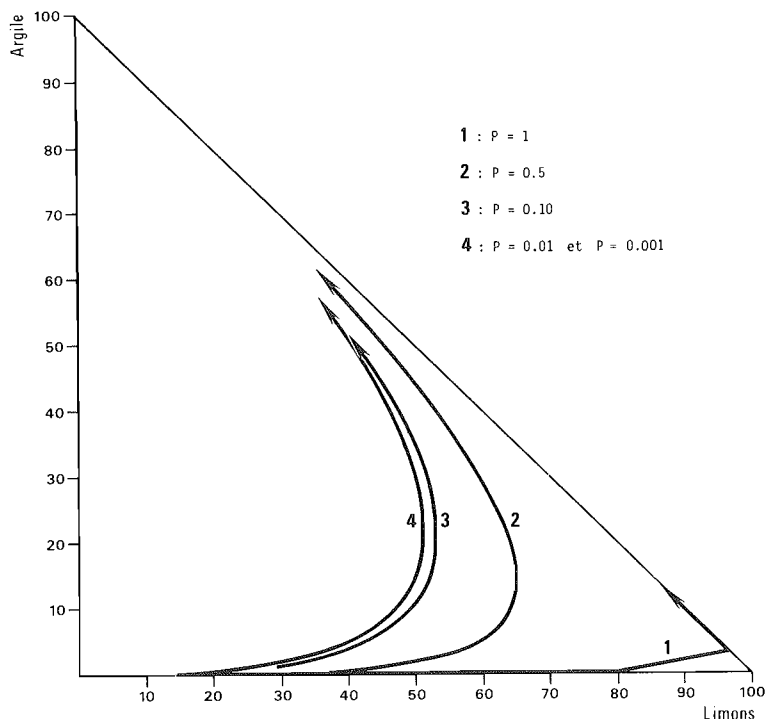


FIGURE 4 : *Fragmentation théorique d'un sable grossier.
Test du facteur P (% de particules
subissant la transformation)*

Theoretical breaking up of a coarse sand.
Influence of P parameter (proportion of particles affected
by this kind of transformation)

2° MET dissolution

Un modèle voisin de celui que nous allons décrire a déjà été utilisé aux USA (TORRENT et NETTLETON - 1979). La dissolution est représentée par l'ablation d'une pellicule très fine tout autour de la particule considérée. Celle-ci diminue donc de taille (figure 5). Au plan informatique, cela revient à extraire la particule de la case où elle se trouvait, puis à l'introduire dans une case de numéro plus petit, correspondant à son nouveau diamètre. La masse perdue (Exp) est comptabilisée.

Il est alors clair que le mot dissolution a ici un sens très général : l'attaque des carbonates par de l'eau chargée de CO_2 , l'acidocomplexolyse des minéraux primaires (PEDRO, 1979) et la dégradation des argiles (JAMAGNE, 1973) sont des dissolutions si l'on s'en rapporte au modèle présenté ci-dessus.

Dans un tel système, l'évolution de la granulométrie est liée à deux phénomènes, qui ont apparemment des conséquences opposées :

— d'une part la fabrication de particules fines à partir de particules grossières. Par exemple, une sphère de $1000 \mu\text{m}$ de rayon est érodée et fournit une sphère de $1 \mu\text{m}$ de rayon. Dans le même temps la masse de la particule est ramenée à $1/10^9$ lème de la valeur initiale. En d'autres termes le rendement de la transformation est négligeable si bien qu'il n'est pas possible de fabriquer de cette façon des éléments fins dans une proportion appréciable;

— d'autre part il faut tenir compte de la concentration relative des particules grossières. En effet les particules fines, développant une surface plus grande par rapport à leur masse, disparaissent plus rapidement.

DISSOLUTION

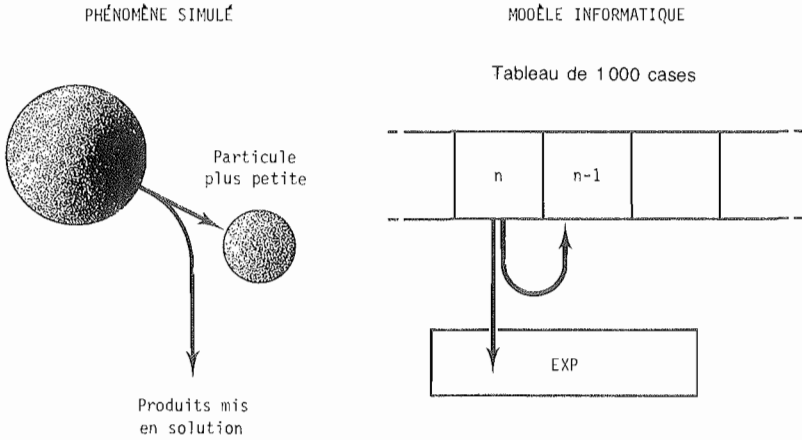


FIGURE 5 : Principe de la dissolution d'une particule
Principle of particle dissolution

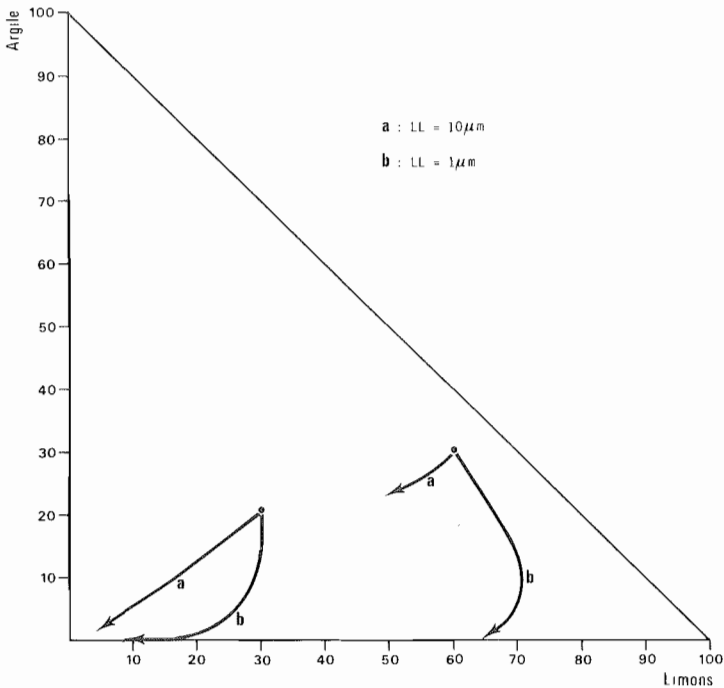


FIGURE 6 : Exemple de dissolution. Test du facteur LL (épaisseur affectée par la corrosion)
Simulation of dissolution. Influence of LL parameter (thickness of the front of attack)

Il est clair que seul le deuxième phénomène est susceptible d'avoir des conséquences pondérales nettes. Aussi la dissolution d'un matériel contenant des particules de toutes tailles se traduit pour la fraction résiduelle, par l'acquisition d'une granulométrie plus grossière. Dans le triangle de texture l'évolution correspondante est caractéristique (figure 6) en dépit des variations introduites par les différents paramètres du modèle.

3° MET importation et exportation d'argile

Il est facile de simuler l'importation ou l'exportation d'argile en ajoutant ou en soustrayant des particules dans les cases de numéro 1 qui contiennent tous les éléments dont le diamètre est inférieur à 2 µm.

Le squelette sableux et limoneux est épargné par la transformation. Aussi, le déplacement du point représentant la collection de particules, dans le triangle de texture, intervient obligatoirement sur la demie droite passant par le pôle argile (rapport sable/limon = constante). On « monte » lorsque la collection de particules est enrichie en éléments fins ; on descend dans le cas contraire (figure 7).

Sur le terrain, on doit nécessairement retrouver ce type de comportement pour des sols évoluant sous la seule influence d'un lessivage de l'argile.

4° MET lavage

Nous avons pensé qu'il était intéressant de simuler un appauvrissement en éléments fins affectant à la fois l'argile et les limons. Il s'agit du lavage (SERVAT - 1966). Dans le modèle correspondant, on suppose les particules d'autant plus facilement entraînées que leur diamètre est petit. Le résultat est très caractéristique : on se dirige presque en droite ligne vers le pôle sable (figure 8).

Dans la nature le lavage, s'il existe, est probablement latéral. Au niveau du modèle, il est évident qu'on ne connaît pas la direction prise par les matériaux exportés. De ce fait, les termes lessivage et lavage, tels qu'ils sont utilisés dans SOLGENE, n'impliquent rien quant à la direction du transfert.

D) L'UNITE DE PILOTAGE

Le pilotage des simulations est basé sur l'application de trois idées principales :

1° La déformation de la collection initiale de particules est la déformation minimale concevable pour obtenir l'état final visé. Ceci peut être illustré dans le triangle de texture où l'état initial (A) et l'état final (B) sont représentés l'un et l'autre par un point. A ce niveau, la déformation sera conduite de telle manière que la composition granulométrique de la collection de particules étudiée corresponde toujours à un point du segment de droite AB.

Une telle façon de procéder par **approximation linéaire** semble justifiée si l'état initial et l'état final sont suffisamment voisins, en excluant naturellement le cas de sols polycycliques où les choses sont plus compliquées.

2° A un instant donné, il est très difficile de prévoir quelle sera l'évolution du système sous l'influence de tel modèle élémentaire de transformation. Par exemple, la dissolution, d'abord efficace sur une collection de particules riches en minéraux altérables, devient progressivement inopérante au fur et à mesure de la disparition de ceux-ci. Il convient donc de procéder par **tâtonnements** et essais à blanc. Autrement dit, on met tous les modèles en concurrence pour déterminer celui qui provoque la déformation la plus favorable de la collection de particules. Puis, le meilleur MET étant détecté, on l'utilise pour déplacer effectivement le système en direction de l'état final.

3° Mais les caractères de la collection de particules évoluent et le MET actif risque de ne pas demeurer longtemps celui qui provoque la transformation la plus adéquate. Il convient donc de procéder par **très petites étapes**. De ce fait, les déplacements autorisés sont courts et on recommence autant de fois que nécessaire le processus de sélection et d'utilisation du meilleur MET.

L'unité de pilotage arrête la simulation lorsqu'on est suffisamment proche de l'état final, ou bien lorsqu'on a prouvé que l'on ne pouvait pas faire mieux.

Naturellement, dans le détail, les choses sont plus complexes : par exemple, il faut établir des critères pour caractériser « le meilleur MET » ; on doit aussi définir la notion de rapprochement dans le cadre d'une comparaison portant sur deux collections de particules présentant toutes sortes de différences de taille, de forme, d'altération et de nature minéralogique. C'est un problème de mesure de distances au sens mathématique du terme. Tout ceci a été envisagé en détail précédemment (JP. LEGROS - 1982).

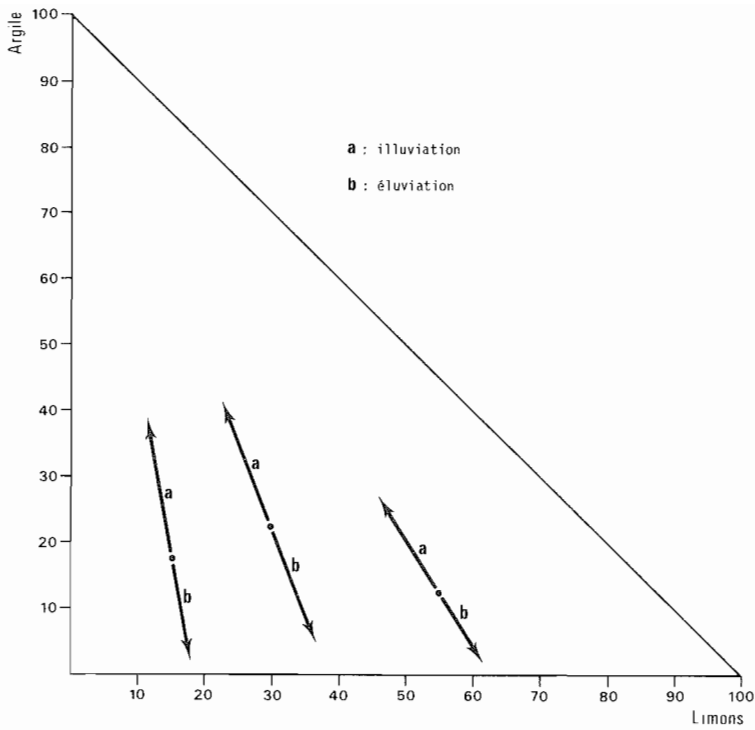


FIGURE 7 : Simulation des transferts d'argile
Simulation of clay translocation

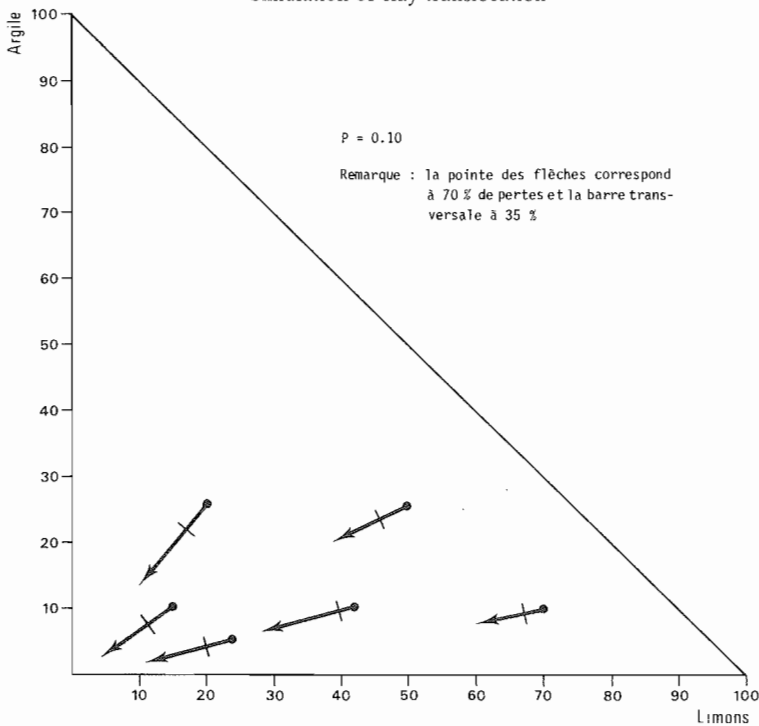


FIGURE 8 : Simulation du lavage (transfert argile + limons)
« Lavage » simulation (both clay and silt translocation)

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Un modèle tel que SOLGENE se situe, d'une façon générale, assez loin de la réalité qu'on veut en principe représenter car beaucoup de simplifications ont été introduites. Mais la valeur d'un processus de simulation informatique ne s'apprécie pas à ce niveau. Le problème est de savoir ici s'il nous aide à réfléchir et à y voir plus clair dans les mécanismes étudiés.

Nous allons montrer que c'est bien le cas.

A) TRAJETS GRANULODYNAMIQUES

Reportons dans le triangle de texture les points correspondant aux différents horizons d'un profil pédologique donné. Relions ces points par une ligne brisée et indiquons le haut du profil par une flèche. Dans la mesure où il n'y a pas de superposition géologique de matériaux (colluvions, apports éoliens, etc...) ce type de représentation rend compte de la déformation, au cours de la pédogénèse, de la collection de particules caractérisant au départ la roche-mère; d'où le nom de « trajet granulodynamique » qui lui a été donné. Comme nous disposons d'une banque de données pédologiques* (LEGROS et al. - 1979), nous avons pu aisément tracer et classer les trajets granulodynamiques correspondant à près de 600 profils différenciés sur roches cristallines et cristallophylliennes.

Or des convergences très fortes apparaissent entre la dynamique du squelette des sols naturels et les évolutions théoriques prédites à l'aide des différents MET mis au point. Par exemple, on retrouve sur le terrain des sols évoluant essentiellement par fragmentation (fig. 9). Dans d'autres profils (fig. 10), les segments joignant deux horizons successifs sont superposés à des droites passant par le pôle argile, si bien que la disparition de l'argile est en cause (lessivage ou dégradation).

A la limite, on peut même être surpris de la bonne adéquation modèle-réalité en raison de toutes les approximations déjà évoquées. Ainsi, dans la nature comme dans les essais expérimentaux, tout se passe comme si la fragmentation intervenait de manière très régulière, divisant en deux parties exactement égales chaque particule affectée. La raison de ceci est simple : supposons qu'une particule de 2000 μm se divise de manière très irrégulière fournissant un fragment de 1999 μm et un autre de 1 μm . Le premier morceau reste décompté dans les sables grossiers et la division passe inaperçue en ce qui le concerne. Le second vient enrichir la fraction argile, mais le rendement de la division est très faible puisqu'il représente 1/2000 de la masse initiale. En d'autres termes, **dans les sols, la fragmentation des particules intervient sans doute de toutes les façons possibles, mais seules les divisions régulières sont observées au travers de l'analyse granulométrique.**

D'une manière plus générale, il se produit des phénomènes de compensation et des sortes de simplifications rendant opérationnels des modèles ultra-schématiques. Nous venons d'en donner un exemple. Il y en a bien d'autres. On pourrait aussi expliquer pourquoi, en dépit des apparences, la forme supposée des particules ne joue pratiquement aucun rôle.

B) MODE DE DIFFÉRENCIATION DES PROFILS PÉDOLOGIQUES

Revenons à la collection de particules qui au départ de la simulation, est l'image d'une roche-mère meuble (appelée C par commodité). Donnons-nous pour but de la transformer jusqu'à ce qu'elle coïncide avec la collection de particules correspondant à l'horizon B du sol; on peut dire alors qu'on a parcouru le chemin : C \rightarrow B. Ceci est obtenu en utilisant les 15 MET disponibles, chacun étant sollicité plus ou moins fortement. Plus précisément, on peut définir la contribution (CTB) du MET numéro X, c'est-à-dire la distance parcourue au moyen de X sur le chemin C \rightarrow B. En se référant à des valeurs relatives, il devient possible d'affirmer que la CTB de la fragmentation est dans tel cas de 50 % et celle de la dissolution de 10 %.

Il n'est pas dans notre intention d'étudier ici en détail les différentes contributions des MET, c'est-à-dire le poids relatif des phénomènes de fragmentation, de dissolution et de transfert au sein des horizons pédologiques. Un résultat essentiel mérite pourtant d'être signalé : la faible contribution du

* Sans cette banque de données pédologiques nommée STIPA, la confrontation de nos idées avec les observations de terrain aurait été limitée à quelques exemples, représentatifs ou non. Aussi, on ne dira jamais assez la nécessité de préserver l'avenir et de stocker toutes les informations pédologiques disponibles.

SIMULATION DE L'ÉVOLUTION GRANULOMÉTRIQUE

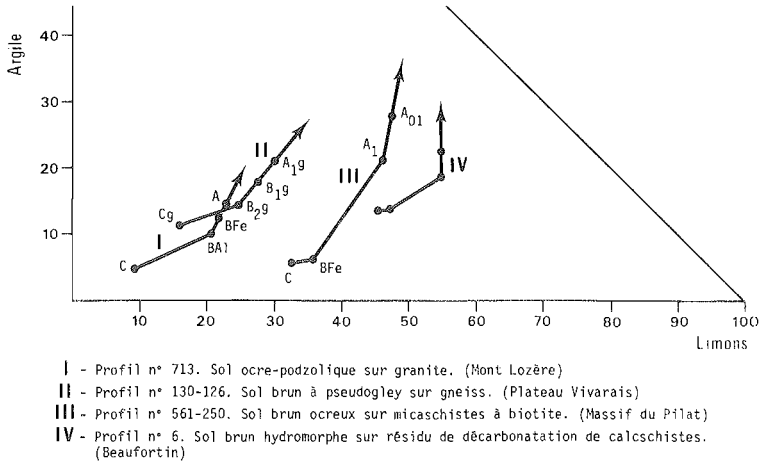


FIGURE 9 : Comportement granulodynamique lié à la fragmentation
 Curves of natural profiles related to breaking up of soil skeleton

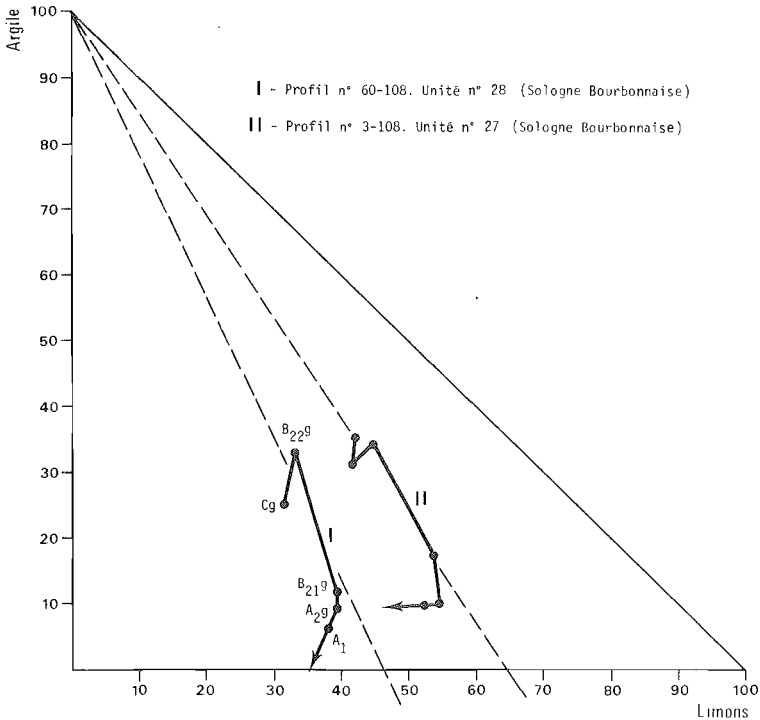


FIGURE 10 : Comportement granulodynamique lié à un transfert de l'argile et/ou à une dégradation de celle-ci.

Curves of natural profiles related to clay translocation and/or dissolution of soil skeleton

MET transfert d'argile dans les sols lessivés à pseudogley du Bourbonnais sur matériaux détritiques anciens. Plus précisément, le chemin C → B est effectué par altération et micro-division sans apport extérieur d'argile. De plus, le chemin B → A paraît lié à des phénomènes de dégradation (dissolution) plutôt qu'à une soustraction latérale ou à un transfert vertical d'éléments fins. A ce niveau, SOLGÈNE n'apporte bien entendu aucune preuve, mais il a le mérite de démontrer que les mêmes observations sont expliquées correctement, dans l'état de nos connaissances actuelles, de plusieurs façons différentes. La discussion reste donc ouverte sur ce point.

Au-delà, il faut encore attirer l'attention sur un autre résultat de ce type de modélisation :

Supposons que nous ayons reconstitué le passage C → B. Au lieu d'arrêter la simulation au niveau de B, continuons à déformer la collection de particules en utilisant les MET dans la proportion qui vient justement d'être définie par la progression vers B. De fait, on dépasse l'état actuel du B pour déterminer quel est son devenir possible dans le futur. Pour prendre une image : où va se perdre la balle de fusil qui, ayant troué la cible visée, continue sur sa lancée ?

Or, si l'on s'en tient au squelette minéral (matière organique, oxydes et sesquioxydes exceptés), le résultat est le suivant : la collection de particules représentant initialement le C, après avoir ressemblé autant que possible au B (c'était l'objectif), prend progressivement une composition très proche de celle de l'horizon A. Nous avons vérifié ceci, à la fois dans un podzol sur arène cristalline et dans un sol lessivé à pseudogley sur matériaux détritiques anciens.

Ainsi, la différenciation en horizons et la variabilité morphologique qui s'y rattache n'est pas le fait d'un changement de processus (par exemple : altération, puis lessivage, puis dégradation). La simulation souligne en effet qu'un **mécanisme peut avoir des conséquences variables au fur et à mesure qu'avance le temps et que change le matériau auquel ce processus est appliqué**. Par exemple, lorsque les minéraux primaires se fragmentent, la granulométrie s'affine ce qui augmente le rapport surface/masse et donc l'efficacité de la dissolution.

Au total, en dépit des apparences, la podzolisation et la brunification sont l'une et l'autre caractérisées par des transformations **progressives, continues et homogènes** du squelette minéral de bas en haut du profil ; ce qu'on peut exprimer en disant que, dans ces profils, il n'y a pas plusieurs horizons, mais un **seul** observé simultanément dans différents stades de son vieillissement.

Une telle conception donne certes une vision partielle des choses (limitée au squelette minéral du sol), mais elle nous amène toutefois à réfléchir et à remettre en cause certaines interprétations.

CONCLUSION

Ainsi, au fur et à mesure de la progression de notre travail, nous nous sommes heurtés à divers problèmes, ce qui nous a permis de dégager, au coup par coup et sans idées préconçues, un certain nombre d'observations concernant l'approche par simulation informatique des problèmes de pédogénèse. Nous pouvons maintenant les évoquer brièvement.

Tout d'abord, on constate que la modélisation complète utilement toutes sortes d'investigations scientifiques. Le chercheur passe beaucoup de temps à faire des hypothèses et à expliquer des mécanismes, il réalise une analyse. La simulation introduit une phase de synthèse. Elle permet ainsi de se rendre compte, si les choses ont au moins une chance de se passer comme on le suppose.

En deuxième lieu, traduire des idées en langage mathématique n'est pas appauvrissant : cela permet de faire ressortir la multiplicité des transcriptions possibles et donc les risques d'erreurs. On souligne de ce fait les points faibles dans les connaissances acquises. C'est ainsi que pour mieux caractériser la fragmentation, nous avons dû lancer un programme important d'expérimentation au laboratoire.

Ensuite, on observe que dans ce domaine les modèles les plus simples sont souvent les plus intéressants. Ils suffisent pour susciter une réflexion et faire émerger de nouveaux problèmes. Il est rarement utile de compliquer les choses dans la mesure où, de toutes façons, on restera loin du processus naturel simulé.

Des essais répétés montrent bien souvent qu'il y a plusieurs hypothèses concordant avec les faits observés. Par exemple, nous avons constaté, au cours de ce travail, que l'on pouvait confondre la dégradation et le lessivage, car les conséquences granulométriques des deux phénomènes sont parfois semblables.

Par ailleurs, l'utilisation de moyens automatiques de traitement permet une utilisation optimale de toutes les données disponibles. Ainsi nous avons pu raisonner en prenant en compte simultanément toutes les fractions granulométriques au lieu de limiter nos investigations à l'étude des déplacements supposés des seuls éléments fins.

Enfin et surtout, la simulation renseigne à priori sur ce que doivent être les manifestations de tel ou tel phénomène dans le milieu naturel. Autrement dit, elle nous alerte et nous aide à concentrer notre attention sur les observations qui ont de l'intérêt.

Naturellement, une telle méthode d'approche présente également des inconvénients. En particulier, elle apporte des indications mais ne fournit jamais de preuves, puisque ce n'est pas la réalité qui est étudiée mais une image grossière de celle-ci. D'un autre côté, il ne faut pas confondre les moyens et les objectifs : lorsque le moment est venu, on doit abandonner les modèles, les simulations et les calculs, pour concentrer la discussion sur les problèmes réellement intéressants, c'est-à-dire ceux de la discipline pliquée.

Nous présenterons ainsi d'autres publications dont l'objectif sera d'examiner en détail les résultats acquis concernant l'étude du développement des sols lessivés et podzolisés.

Reçu pour publication : juillet 1983.

SUMMARY

COMPUTER SIMULATION APPLIED TO HORIZONS GRAIN-SIZE DISTRIBUTION VARIATIONS IN SOILS

The objective of this article is to summarize the principal method utilized in a recent thesis on the study of horizon grain-size distribution variation during soil formation.

Proceeding by computer simulation, the parent material is compared to a collection of particles in which each element is characterized by a certain shape, size, mineralogical composition, and weathering degree (fig. 1). The goal is then to understand how a certain collection of particles should be transformed in order to reproduce the making of the soil, starting from the parent material by referring to evolution observed in the natural environment. In order to do this several models were developed to transform the soil, taking into account fragmentation, dissolution, and small particles (clay and silt) translocation. In practice this meant following the corresponding evolution of particle size distribution in the triangular diagram of soil texture (fig. 4, fig. 6, fig. 7, fig. 8).

These models, in spite of their over simplification, show a certain number of the same evolutions seen in nature, at least in the cases of fragmentation (fig. 9), clay translocation and dissolution (fig. 10). A computer program (SOLGENE) was developed that is capable of comparing and combining the different models of elementary transformations in such a way as to take into account the evolution of particle size distribution involving several mechanisms simultaneously.

In this article, it is not possible to delve into the details of the results obtained. It is the intention of the author to demonstrate the importance of this approach in order to indicate a certain number of new directions in Earth Science; for example, showing the limited role of the transfer of fine fractions in the textural differentiation of soil profiles. Using simplified models can, after all, help to interpret a complex reality.

Bibliographie Sommaire

- JAMAGNE M. (1973) - Contribution à l'étude pédogénétique des formations loessiques du Nord de la France. Thèse. Faculté des Sciences Agro. de Gembloux. Belgique. 445 p.
- LEGAY JM. (1973) 2 - Introduction à l'étude des modèles à compartiments. Informatique et Biosphère p. 119 à 145.
- LEGROS JP. - QUATTARA S. - YAWOVI V. (1979) - Concepts, structure et fonctionnement du réseau international de traitement de données de sols de l'ACCT. Conférence pour l'intégration informatique africaine. Abidjan 17 p.
- LEGROS JP. (1982) - L'évolution granulométrique au cours de la pédogénèse. Approche par simulation sur ordinateur. Application aux sols acides sur matériaux cristallins en zone tempérée. Thèse d'Etat Science. Université de Montpellier, 436 p.
- PEDRO G. (1979) - Les conditions de formation des constituants secondaires. In Pédologie - 2 - Constituants et propriétés du sol. Masson p. 58-72.
- ROBERT M. (1970) - Etude expérimentale de la désagrégation du granite et de l'évolution des micas. Thèse 181 p. CNRS n° A.O. 4477.
- RUSSEL D.A. (1976) - Particle-size distribution characterization for the coarse fraction of a granite soil. I : A model. II : Disintegration granite. III : The coarse fraction of a granite sand. Soil Sc. Soc. Am. J. Vol. 40 p. 409-422.
- SERVAT E. (1966) - Sur quelques problèmes de cartographie pédologique en région méditerranéenne. Comptes-rendus de la conférence sur les sols méditerranéens. Madrid, p. 407-411.
- TORRENT J. - NETTLETON W.D. (1979) - A simple textural index for assessing chemical weathering in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 43 n° 2 p. 373-377.