

**LAS CONTRIBUCIONES DE LOS CONOCIMIENTOS  
DE LOS SUELOS INTERTROPICALES AL DESARROLLO DE LA PEDOLOGÍA :  
EL APORTE DE LOS PEDÓLOGOS FRANCESES**

**LES APPORTS DE LA CONNAISSANCE  
DES SOLS INTERTROPICAUX AU DÉVELOPPEMENT DE LA PÉDOLOGIE :  
LA CONTRIBUTION DES PÉDOLOGUES FRANÇAIS**

A. RUELLAN

**RESUMEN**

El estudio de los suelos en las regiones intertropicales efectuado desde hace unos cuarenta años por equipos científicos franceses en colaboración con numerosos equipos de los países de esas regiones contribuyó fuertemente a la evolución de los conceptos, de los métodos y de los conocimientos de la pedología entera.

Cuatro contribuciones son esenciales :

1. Se define el suelo primero por sus estructuras específicas que existen a todos los niveles, desde el cristal y la célula hasta la cuenca hidrográfica y el paisaje regional. Pueden existir entre los diferentes tipos de estructuras de la cobertura pedológica unas relaciones espaciales y temporales : el suelo es un medio cuadridimensional, tipos de suelos que son aparentemente muy diferentes pueden ser relacionados genéticamente en el espacio y en el tiempo.

2. El suelo es un medio con concentraciones minerales. Se demostró en varias ocasiones el origen pedológico de fuertes concentraciones monominerales y subsuperficiales de alúmina, hierro, manganeso, caolinita, esmectitas, carbonatos, sulfatos y cloruros.

3. El suelo es un agente activo en la formación de los relieves. La importancia en la zona intertropical de los fenómenos de mete-

orización química, de eluviaciones, de concentraciones minerales residuales permitió mostrar que la función en la formación de los relieves de mecanismos geoquímicos y de los mecanismos de diferenciación de la cobertura pedológica no se limita sólo a la preparación de un material que es más fácil de erosionar. Hay también una rectificación de los relieves mediante una transformación mineralógica, una eluviación geoquímica y una modificación de las circulaciones de agua dentro de los suelos y en su cúspide.

4. El hombre es un agente poderoso en la transformación del suelo. Las rupturas de equilibrio producidas por las roturaciones y por ciertas técnicas culturales generan a menudo y rápidamente unas modificaciones morfológicas espectaculares, algunas de esas transformaciones son análogas a las que han caracterizado la historia del suelo antes del hombre y son mucho más lentas.

Todos esos resultados llegan a pensar de nuevo en ciertas gestiones relativas al estudio y a la utilización de las coberturas pedológicas : análisis estructural, cartografía, clasificación, experimentación agronómica, diagnóstico de la fertilidad de los suelos, consejos en materia de utilización de los suelos.

## RÉSUMÉ

L'étude des sols des régions intertropicales, menée depuis une quarantaine d'années par des équipes scientifiques françaises travaillant en coopération avec de nombreuses équipes nationales des pays de ces régions, a fortement contribué à l'évolution des concepts, des méthodes et des connaissances de la pédologie tout entière.

Quatre contributions sont essentielles :

1. Le sol se définit d'abord par ses structures qui lui sont spécifiques. Ces structures existent à toutes échelles, depuis le cristal et la cellule jusqu'au bassin versant et au paysage régional. Il peut exister, entre les différents types de structures de la couverture pédologique, des relations spatiales et des relations temporelles : le sol est un milieu à quatre dimensions, des "types de sols" apparemment très différents pouvant être génétiquement reliés dans l'espace et dans le temps.

2. Le sol est un milieu de concentrations minérales. L'origine pédologique de fortes concentrations, mono-minérales et subsuperficielles, d'alumine, de fer, de manganèse, de kaolinite, de smectites, de carbonates, de sulfates, de chlorures, a été à maintes reprises démontrée.

3. Le sol est un agent actif de l'élaboration des reliefs. L'importance, en milieu intertropical, des phénomènes d'altération chimique, de soutirages de matière, de concentrations minérales résiduelles, a permis de montrer que le rôle, dans l'élaboration des reliefs, des mécanismes géochimiques et des mécanismes de différenciation de la couverture pédologique, ne se réduit pas à la simple préparation d'un matériau plus facile à éroder. Il y a aussi rectification des reliefs par transformation minéralogique, par soutirage géochimique, par modification des circulations de l'eau au sein et au sommet des sols.

4. L'homme est un agent puissant de la transformation du sol. Les ruptures d'équilibre provoquées par les défrichements et par certaines techniques culturales entraînent souvent, et rapidement, des modifications morphologiques spectaculaires, certaines de ces transformations étant analogues à celles, beaucoup plus lentes, qui ont marqué l'histoire pré-anthropique du sol.

L'ensemble de ces résultats conduisent à repenser certaines démarches concernant l'étude et l'utilisation des couvertures pédologiques : analyse structurale, cartographie, classification, expérimentation agronomique, diagnostic de la fertilité des sols, conseils en matière d'utilisation des sols.

Desde hace unos 40 años, equipos de investigadores franceses estudian los suelos y su utilización en las regiones intertropicales. Estos equipos han trabajado principalmente en América Latina, además de algunos países de Asia y el Pacífico, con frecuencia las investigaciones han sido realizadas en cooperación con los investigadores y técnicos de los países de esas regiones.

Estos estudios abarcan hoy unos 10 millones de km<sup>2</sup>. Pero, más aun que las superficies estudiadas, hace falta subrayar que estos estudios sobre el terreno han sido realizadas a escalas muy variadas, desde 1/500,000 hasta escalas muy finas (1/1000 por ejemplo), y que frecuentemente estos estudios han ido acompañados de medidas detalladas concernientes a : constituyentes, organizaciones microscópicas, propiedades físico-químicas, regímenes hídricos, etc. Hay que añadir que estos estudios se realizaron en estrecha colaboración con : geólogos, geoquímicos, geomorfólogos, hidrólogos, ecólogos y agrónomos, con economistas, sociólogos, etnólogos, etc... ; estas colaboraciones han permitido establecer y dilucidar las relaciones existentes entre las coberturas pedológicas y su entorno físico, biológico y humano.

En el curso de estos 40 años de trabajo a través del mundo, los cientos de edafólogos intertropicales franceses se han preguntado permanentemente acerca de sus proyectos y métodos aplicados :

- para el estudio de los suelos,
- para la aplicación de estos estudios,
- para la extrapolación de los conocimientos adquiridos de una región a otra.

En consecuencia, han participado en todos los debates internacionales concernientes a :

- los métodos de observación, medida y representación cartográfica de los suelos y sus características;
- las clasificaciones edafológicas ;
- la forma de elaboración de los mapas temáticos ;
- etc...

Hoy, es el momento de establecer el balance : 40 años de pedología intertropical nos han enseñado mucho, han hecho evolucionar nuestros conceptos, nuestra visión del suelo, nuestros métodos de aproximación y de razonamiento. ¿ En qué medida esta experiencia ha ampliado el horizonte de la pedología ? ¿ De qué manera las peculiaridades del mundo tropical y las vías metodológicas que estas especificidades nos han llevado a descubrir y a seguir han modificado la comprensión que podemos tener hoy del suelo, de su evolución, así como de las vías para su estudio y para su utilización ? Sin querer ser exhaustivos, ésta es la evolución que a grandes líneas yo quiero hacer aquí.

Pero primeramente, ¿ cuáles son las peculiaridades del mundo intertropical ?

## I - LAS PECULIARIDADES DE LAS REGIONES INTERTROPICALES

El mundo intertropical es, en efecto, específico : por su clima actual, por la cubierta vegetal, por la morfología de sus relieves, por las sociedades humanas que lo habitan, por su historia geológica, climática, antropológica.

Todas estas peculiaridades están, evidentemente, ligadas entre sí, y contribuyen a la originalidad de las cubiertas pedológicas de estas regiones : se puede afirmar hoy que no hay mecanismos pedológicos específicos del mundo intertropical, pero ha habido, y continua habiendo, una conjunción de factores que, sobre grandes superficies, ha conducido a la aparición de grandes conjuntos pedológicos originales.

En las regiones donde hemos trabajado más a menudo, es decir, en Africa Occidental, Africa Central, en América del Sur, Central y Oriental, estos factores son esenciales :

- la estabilidad tectónica ;
- una cierta estabilidad climática y el equilibrio geológico de los climas ha estado circunscrito en el intertropical ;
- la intensidad de los mecanismos de alteración y transferencia.

Estabilidad, intensidad y duración son tres condiciones cuya simultaneidad es original en relación con otras regiones del mundo ; estas tres condiciones han permitido a los procesos pedológicos expresarse ampliamente : los vastos paisajes pedológicos donde las cuatro dimensiones, espaciales e históricas están claramente inscritas en todas las escalas y son la expresión clara de lo que los pedólogos han

descubierto a lo largo de estos últimos 40 años.

El mundo intertropical es entonces específico, los conjuntos pedológicos intertropicales son originales, en base a las experiencias muy a menudo desgraciadas, conocemos hoy el comportamiento de los conjuntos pedológicos y su utilización específica. Pero también, es necesario recordar que las condiciones de trabajo del pedólogo en Africa, América Latina, Indonesia, etc han sido y son muy específicas. La magnitud de las regiones a descubrir, la existencia de medios no cultivados junto con otros explotados según métodos muy diversos, la amplitud de ciertas operaciones de ordenación y de explotación llevadas a cabo mediante grandes sangrías previas (grandes talas de las cubiertas pedológicas que permiten realizar observaciones profundas y continuas sobre grandes extensiones, eliminación de la vegetación sobre grandes superficies en las que puede seguirse la evolución superficial posterior) ; la disponibilidad de la mano de obra y de los terrenos que permiten "perforar a voluntad" donde sea preciso una vez hecha la elección por los investigadores y técnicos ; someterse a las exigencias del terreno, es decir vivir muchos meses, años tras años, sobre el terreno, en condiciones a menudo difíciles ; estos investigadores y técnicos, a la vez exploradores y sabios, han podido, gracias a la elección de trabajos de terreno vividos continuamente, vividos a diferentes escalas del paisaje, analizar, seguir y comprender mejor la organización y el funcionamiento de los ecosistemas en los que viven para estudiarlos.

## II - EL DESARROLLO HISTORICO DE LA PLANIFICACION Y LOS DESCUBRIMIENTOS

Especificidad de los medios, especificidad de las condiciones de trabajo que han sido impuestas a los pedólogos desde el principio ; ellos supieron responder mediante unas planificaciones adecuadas que ahora es bueno recordar, pues ellas explican los descubrimientos realizados y viceversa.

La primera época, en los años 1945-1960, fue de grandes recorridos de inventario a escala continental, resultando las cartografías a pequeña escala. Esta es una época de descubrimientos libres de cualquier referencia de base que no fuese el concepto de zonalidad climática. Es la exploración fundada en la observación de perfiles en los que la interpretación era sencilla debido a :

- la existencia de grandes territorios monótonos y aparentemente homogéneos ;
- una cierta zonalidad climática evidente, gracias a sus traducciones en las cubiertas vegetales y en los relieves ;
- la coexistencia de vastas zonas no cultivadas y de zonas cultivadas y de zonas puestas en exploración según métodos y para objetivos variados.

Los grandes conjuntos pedológicos intertropicales fueron conocidos de esta manera, tanto en sus caracteres más generales como en sus distribuciones regionales. Podemos plantear una serie de relaciones con las grandes líneas del medio : las zonalidades climáticas, los contactos bosque-sabana, las variaciones en función de las rocas y de las grandes formaciones del relieve tales como las superficies escalonadas. Por otro lado, la especificidad del comportamiento, de la fertilidad y de la fragilidad de estos suelos, fue puesta en evidencia desde esta época, pero sin ser realmente comprendida y controlada.

Los estudios pedológicos y agronómicos se desarrollan paralelamente en medios templados ; se realizaron tentativas de transferencias metodológicas, particularmente en materia de interpretación pedogénica de traducciones cartográficas, de interpretaciones de comportamientos agronómicos. Estas tentativas, por otro lado infructuosas, ya que estaban fundadas en la búsqueda de correlaciones con los factores actuales del medio, tuvieron el mérito de revelar progresivamente los límites de la monotonía y de la zonalidad de los paisajes y de las cubiertas edáficas intertropicales que no son percibidas sino a pequeña escala. Las zonalidades climáticas y las distribuciones en función de las rocas, se revelan de hecho profundamente alteradas por las distribuciones en función de los relieves, distribuciones que no podían explicarse sino en base a dos hipótesis claves : la existencia de diferenciaciones laterales y la importancia del factor tiempo, particularmente de la historia de los suelos y paisajes.

Una vez adquiridos estos primeros resultados generales y estas hipótesis propuestas, hacía falta cambiar las escalas, los métodos y el espíritu. Pequeña revolución cultural que marca la veintena comprendida entre los años 1960-1980, facilitada por la claridad y número de diferenciaciones morfológicas verticales y laterales, así como por la posibilidad de utilización de nuevas técnicas de observación, medida

y experimentación, tanto en el campo como en el laboratorio. Progresivamente se privilegiaron dos escalas : la de cuenca o vertiente elemental en el seno de la cual se estudiaba concienzudamente la distribución de perfiles, de horizontes, de caracteres morfológicos, de constituyentes, de propiedades físico-químicas, de ciertos comportamientos específicos ; por otro lado, la escala de las microestructuras que permiten aplicar una sistemática petrológica y que ha conducido al descubrimiento de los microsistemas de organización, interpretación cronológica de los rasgos, de las estructuras y de los constituyentes.

Las interpretaciones pedogenéticas de estas observaciones han sido abordadas a lo largo de la veintena 1960-1980, pero asimismo aquéllas han ido evolucionando progresivamente. Después de las interpretaciones zonales y actualistas de los años 1945-1960, hubo primero una tendencia a atribuir a la geomorfogénesis y los climas del pasado, papeles preponderantes en relación con la pedogénesis : erosión, modificaciones, suelos truncados, suelos enterrados, discontinuidades litológicas y paleosuelos fueron la base de numerosas interpretaciones, estudios y cartografías detalladas. Sin embargo, paralelamente, el refinamiento del análisis estructural de suelos a diferentes escalas, el comienzo de numerosas observaciones, medidas y experimentaciones sobre el funcionamiento actual de los suelos (dinámica del agua y de las soluciones, transferencia de partículas y de elementos, actividad biológica), y sobre el comportamiento de estos suelos frente a las técnicas de explotación, revelan progresivamente el predominio de los mecanismos propiamente pedológicos, así como la existencia de sistemas de transformación de los constituyentes y de las organizaciones pedológicas. Estas transformaciones provocan, en el mismo medio, una sucesión de "tipos de suelos" considerados como muy diferentes como consecuencia de auto-desarrollo o por variaciones de los factores externos. Al mismo tiempo, a la escala de la cuenca, se desarrollan a menudo rápidamente conjuntos edafológicos diferentes pero cronológicamente relacionados ; el sistema considerado globalmente tiene consecuencias importantes sobre el relieve, la vegetación y en fin, sobre el conjunto de ecosistemas. De la noción de suelo que evoluciona bajo la acción de los factores externos (relieve, vegetación, escorrentía, etc...), se ha llegado a la noción de cobertura pedológica como parte integrante del ecosistema e influenciada profundamente por el funcionamiento y las transformacio-

nes del ecosistema y del relieve, con los cuales se desarrolla.

Todo esto permite hoy fundamentar la aplicación de los conceptos y métodos básicos empleados en la interpretación, en la cartografía y en la utilización de los suelos.

### III - LAS PRINCIPALES APORTACIONES DE LA PEDOLOGÍA AL CONOCIMIENTO DE LOS SUELOS INTERTROPICALES

Especificidad del medio, de las coberturas pedológicas, especificidad de los métodos utilizados para conocerlas y comprender su funcionamiento : no se trata de detallar aquí, y ahora estas especificidades, sino de subrayar en qué permiten enriquecer la pedología :

- A - el suelo como medio organizado.
- B - el suelo como medio de acumulaciones de minerales.
- C - el suelo como agente de elaboración de las formas del relieve.
- D - el hombre como agente poderoso en la transformación del suelo.

Cuatro temas, cuatro aportaciones que permiten reconsiderar en todo el mundo las aproximaciones y las funciones de la cobertura pedológica.

#### A - El suelo como medio organizado

La percepción del hecho que el suelo es un medio organizado, estructurado y que la distribución relativa de los constituyentes no se produce al azar, no es reciente, en cualquier caso para aquellos que desde hace decenas de años han sabido asociar el terreno y el microscopio.

Sin embargo, el conocimiento real y detallado de las estructuras de las cubiertas pedológicas a las escalas propias de las estructuras, queda por descubrir ; las dificultades metodológicas con respecto a ciertas sistemáticas clasificatorias, la desconfianza de los químicos, de los físicos, de los mecanicistas respecto de una aproximación estructural de las propiedades del suelo, constituye el retraso del conocimiento y comprensión de la anatomía de buen número de coberturas pedológicas, de las cuales se usa y abusa en el desarrollo de las sociedades.

En el medio intertropical y durante largo tiempo, sobre todo en Africa, las cosas se desarrollaron de otra manera. Las razones ya evocadas son múltiples : el trabajo simultáneo o sucesivo a diferentes

escalas, la voluntad de descubrir el suelo a partir de únicamente de sus caracteres intrínsecos, la dejación progresiva pero impuesta por la realidad, de ciertas visiones conceptuales como la del perfil tipo y las clasificaciones genéticas de pedones. Todo esto ha permitido poner en evidencia las realidades fundamentales :

1) La existencia de estructuras a cualquier escala desde el cristal y la célula hasta la cuenca y el paisaje regional, que reúnen y organizan los constituyentes minerales y orgánicos, inertes o vivos, de la cobertura pedológica. Estas estructuras son específicas del medio edáfico y constituyen su principal originalidad.

2) Aun más importante es la existencia de relaciones espaciales y temporales entre las estructuras, relaciones que se ponen en evidencia por el análisis detallado, a diferentes escalas, de las distribuciones verticales y laterales de los constituyentes y de las estructuras. Las observaciones y medidas dinámicas confirman la realidad de ciertas relaciones espaciales y temporales y muestran que las estructuras caracterizadas por sistemas de porosidad, acumulaciones de ciertos constituyentes, por las interfases de los horizontes, etc..., juegan a todos los niveles papeles fundamentales en el funcionamiento físico-químico, mecánico y biológico de los suelos.

De esta manera, ha podido efectuarse la demostración de la organización en cuatro dimensiones de la cobertura pedológica en medio intertropical, y las lecciones que debemos retener son esenciales :

1) A cualquier nivel, los rasgos pedológicos, los tipos de horizontes y suelos, aunque considerados generalmente como muy diferentes los unos de los otros, están de hecho estrechamente ligados :

- ligados en el espacio, vertical y lateralmente, a menudo sobre grandes extensiones ; en particular, se ha demostrado, en sucesivas ocasiones, la existencia de relaciones laterales y transferencias laterales de materia en el interior de ciertas coberturas pedológicas ;

- ligados en el tiempo, es decir, que en un mismo lugar se suceden en el tiempo por autodesarrollo de la cobertura pedológica, o por variación de los factores externos.

Estas variaciones espaciales y temporales están estrechamente ligadas, como resulta evidente : frecuentemente, las distribuciones espaciales y temporales de las estructuras pedológicas, es decir de

los diversos tipos de rasgos pedológicos, los huecos, los agregados, los horizontes y su superposición, las toposecuencias, expresan los diversos estudios en la evolución de una misma cobertura pedológica. Se ha podido demostrar, en ciertas coberturas pedológicas, la analogía a diferentes niveles de organización, de las distribuciones estructurales verticales, laterales y temporales.

2) La unidad de organización "la unidad de suelo" que se debe conocer, analizar y que servirá de base para las representaciones cartográficas y para la transmisión de conocimientos, no es un modelo único. Esto obliga a repensar las sistemáticas cartográficas tipológicas, taxonómicas y de clasificación.

#### B - El suelo como medio de acumulaciones minerales

Las fuertes acumulaciones monominerales y subsuperficiales de alúmina, de hierro, de manganeso, de caolinita, esmectita, de carbonatos, de sulfatos, de cloruros, cubren superficies considerables en las regiones intertropicales.

El origen pedológico de la mayor parte de estas acumulaciones por alteración y transferencia absoluta o relativa, de elementos, génesis de nuevos minerales, ha sido analizado y puesto en evidencia muchas veces en el cuadro general de un medio estructural en perpetua evolución que constituye a la vez la guía y consecuencia de los mecanismos de acumulación.

De hecho, en este dominio, la investigación ha sido ampliamente multidisciplinaria : geólogos, geomorfólogos, pedólogos, geoquímicos, mineralogistas, metalurgistas, se han asociado, confrontado y sobre todo colaborado para desentrañar progresivamente la complejidad de estas acumulaciones, hasta converger, año tras año, hacia un cierto número de hipótesis comunes en cuanto a su génesis.

Hoy, gracias a estos trabajos, los mecanismos de transferencia en los suelos, los comportamientos geoquímicos de ciertos constituyentes, los yacimientos de ciertas acumulaciones minerales en los suelos y en las series sedimentarias han sido estudiados en todo el mundo según nuevos métodos. El análisis estructural de estas acumulaciones ha permitido a la geoquímica hacer progresos significativos. Por ejemplo, en lo que se refiere a : acumulación relativa de un elemento a partir de diferentes constituyentes, acumulación absoluta por colmatación y huecos y acumulación absoluta por epigénesis o reemplazamiento isovolumétrico.

C - El suelo como agente de elaboración de las formas del relieve

La búsqueda de relaciones entre los suelos y los relieves es una preocupación permanente del pedólogo.

La importancia en el medio intertropical de los fenómenos de alteración química, de los transportes de materia, de las acumulaciones minerales residuales ha permitido mostrar el papel de los mecanismos geoquímicos y de diferenciación de la cobertura pedológica en la elaboración del relieve que no es un proceso tan sencillo como la simple preparación del material más fácilmente erosionable. Hay también rec-  
tificación de relieves : por transformación mineralógica, por transporte geoquímico y por modificación de la circulación del agua tanto en la superficie como en el interior del suelo.

Así, se ha llegado a distinguir tres conjuntos en la mayor parte de las cubiertas pedológicas intertropicales :

1) En la base de los mantos de alteración, hay un conjunto de alteritas, más o menos espesas, donde los mecanismos pedogenéticos no perturban las principales estructuras y los volúmenes originales de las rocas madres. Los transportes, las transformaciones, las epigénesis, la génesis de nuevas estructuras, se realizan con conservación de los volúmenes y no tienen, por tanto, influencia sobre el relieve. Sin embargo, la creación de estructuras, de nuevas discontinuidades puede ya, eventualmente, modificar la circulación de las aguas, y por tanto, modificar la alimentación de las fuentes y de los ríos, quedando alterado su poder de erosión y de transporte.

2) Por encima de los mantos de alteración, la acentuación de las sustracciones de materia provoca la destrucción del isovolumen. Hay una deformación y destrucción de las estructuras litológicas, colmatado de volúmenes y desarrollo de diferencias estructurales pedológicas. La superficie del suelo registra estos acontecimientos. En el seno de este segundo conjunto, las migraciones laterales tienen, a menudo, gran importancia y puede constituir una verdadera erosión interna cuyo papel de aplanamiento es significativo. Por otro lado, ciertas diferenciaciones estructurales pueden facilitar el comienzo de verdaderos deslizamientos del terreno, como consecuencia de la aparición de planos de discontinuidad.

3) Por fin, en la superficie del suelo, la erosión actúa sobre los materiales largamente preparados por los mecanismos pedogenéticos, residuales de la pedogénesis : la intensidad de esta erosión depende a la vez de los tipos de porosidad, de la fragilidad de las estructuras quienes condicionan de una parte la penetrabilidad del agua en el suelo, pues el escurrimiento, de otra parte la resistencia al arrastre y al transporte de las partículas y de los agregados.

Hay que señalar de paso las estrechas relaciones que aparecen entre las estructuras de la cobertura pedológica y los regímenes hídricos : aquí también se sitúa uno de los aportes más fundamentales de la investigación pedológica intertropical.

#### D - El hombre, agente poderoso de la transformación del suelo

La poca adecuación de los criterios de fertilidad establecidos en regiones templadas, a las zonas intertropicales, fue rápidamente tenida en cuenta por los pedólogos que trabajaban en estas regiones. Las razones son múltiples : las soluciones del suelo son más diluidas, el contenido en nutrientes es menor o más disperso, las capacidades de cambio son más débiles, las lixiviaciones son extremas ; la gama de pH es más amplia, ciertos comportamientos orgánicos tienen una estabilidad más débil ; ciertos procesos están bloqueados por la desecación extrema en la estación seca ; al contrario, las renovaciones son más rápidas y en fin, ciertas estructuras son más frágiles y se transforman muy de prisa.

La toma de conciencia acerca de estas diferencias debidas esencialmente al aporte pluvial y a su distribución, a menudo contrastada, fue contemporánea con el progreso de las técnicas de identificación y de cuantificación de los constituyentes. Ello suscitó la puesta a punto de nuevas metodologías analíticas.

Sin embargo, el aporte más importante de los estudios agropedológicos en medio intertropical es la evidencia del papel capital del hombre en la evolución actual de la cubierta pedológica. La comparación de zonas no cultivadas y de zonas roturadas, en lo que respecta a la evolución del suelo en función de las técnicas de roturación y cultivo, revelan que las rupturas del equilibrio provocadas por estos cambios, determinan rápidamente modificaciones morfológicas espectaculares : erosión por supuesto, pero como resultado de modificaciones estructurales más profundas provocadas por múltiples factores : colmata-

ción como consecuencia de las roturaciones, modificaciones completas de la actividad biológica, desecaciones extremas durante las estaciones secas. Todos estos factores afectan a la porosidad del suelo en varias decenas de centímetros, modifica los regímenes hídricos, modifica el sentido de la circulación de las aguas, provoca nuevos arrastres de materia como consecuencia : la destrucción de estructuras y liberación de partículas finas que son lavadas, la aireación reducida que facilita la disolución de elementos que son lixiviados, la disminución de la porosidad que desencadena la erosión. Se ve así que, rápidamente y en el mismo lugar, se suceden : estructuras diferentes, porosidades diferentes, dinámicas nuevas que concurren en general hacia una diferenciación vertical más fuerte, hacia hidromorfías temporales más frecuentes, hacia dinámicas laterales más marcadas y hacia empobrecimientos más intensos. Por otro lado, llama la atención constatar que ciertas transformaciones, entre las anteriores, son análogas, aunque mucho más lentas, que las que marcaron la historia preantrópica de estos suelos, historia que podemos reconstruir a partir del análisis estructural de las cubiertas pedológicas a diferentes escalas.

Las cubiertas pedológicas, al estar frecuentemente estructuradas, fuertemente diferenciadas vertical y lateralmente, y siendo el espacio donde tienen lugar las transferencias verticales y laterales, así como las modificaciones estructurales rápidas e importantes obligan a replantear toda la aproximación existente de la fertilidad de los suelos. La principal lección a sacar de estos hechos es que, cuando hablamos de lo que la fertilidad del suelo es hoy y de lo que deseamos que sea mañana, es preciso tener en cuenta dos cosas :

1) La fertilidad no puede definirse exclusivamente a partir de las características del pedón, sino a partir de un conjunto pedológico más amplio donde es preciso conocer las variaciones verticales, laterales y temporales.

2) Para conocer la fertilidad, es preciso tener en cuenta los caracteres morfológicos detallados y sus relaciones con otras características de los suelos, particularmente físico-químicas, así como sus relaciones con los mecanismos y con las plantas.

Esto obliga a replantear toda la organización de la experimentación agronómica, de forma que sus modalidades y su localización tengan en cuenta, estrechamente, la realidad de las estructuras de la cobertura pedológica.

#### IV - EL PORVENIR

Estos son, resumidos, los principales aportes a la pedología de los trabajos franceses sobre suelos intertropicales. Estos aportes son, evidentemente esenciales, queda sin embargo valorarlos mejor.

- Valorar, quiere decir, primero verificar en todos los sentidos, en las regiones no intertropicales, en qué medida las enseñanzas que nos aportan los suelos intertropicales son transferibles ; qué investigaciones, en este sentido, se han iniciado en Francia ; estas investigaciones tienden a probar una cierta generalidad de las lecciones intertropicales ; hay que multiplicar estas verificaciones e investigaciones.

- Valorar, quiere decir también dar el tiempo y los medios necesarios para replantear ciertas sistemáticas pedológicas. Se trata, en particular, de las sistemáticas de análisis estructural, de las sistemáticas cartográficas, de las de clasificación, de las de experimentación agronómica, de las de diagnóstico de la fertilidad del suelo, de las sistemáticas para la utilización del suelo, etc... : quisiera al respecto, a modo de conclusión de este artículo, trazar algunas líneas.

La pedología, hoy día, después de un ciclo de historia, y sobre todo después de 30 años de desarrollo intenso, está probablemente en un cambio de dirección importante de su historia : es un cambio de dirección que es necesario lograrlo.

Para esto, para saber coger este cambio correctamente, es necesario plantearse cuatro tipos de interrogantes : cuestiones clásicas a las cuales hay que darles nuevas respuestas. Estas interrogantes son las siguientes :

- la pedología para quién, para cuáles objetivos, para cuál utilizador ;

- el suelo que debemos estudiar, cómo lo percibimos, cómo lo definimos ;

- estudiar el suelo, qué quiere decir esto, de qué se trata exactamente ;

- finalmente, en correspondencia con la respuesta dada a las tres primeras preguntas, qué prioridad vemos actualmente para los trabajos de investigación en pedología.

A partir de los aportes del estudio de los suelos intertropicales, las principales respuestas que se le puede dar a esas cuatro preguntas, me parecen deben ser las siguientes :

1 - La pedología para quién, para cuáles objetivos, para cuál utilizador ?

En todas partes del mundo, y en particular donde la intensificación de la utilización de los suelos se acelera, los diversos "utilizadores" de los suelos, así como los responsables de la planificación de la utilización y del mejoramiento del medio, resienten cada vez más la necesidad de disponer de estudios pedológicos detallados, y en particular de mapas pedológicos cada vez más precisos.

Hay a este respecto 5 razones principales :

a) los volúmenes y la calidad de la producción agrícola y forestal dependen de las propiedades de los suelos y sobre todo dependen de la forma que estos son tratados, trabajados, mejorados y protegidos.

b) Los regímenes hídricos, así como la calidad química y biológica de las aguas, de los mantos freáticos y los ríos, están fuertemente influenciados por los suelos, a través de los cuales las aguas pasan más o menos lentamente y a menudo trayectos largos, antes de alcanzar las zonas de drenaje y embalses. Todas las modificaciones morfológicas, físico-químicas y biológicas de los suelos influyen sobre las aguas ; es decir que todas las modificaciones en la utilización de los suelos (tipo de utilizador, modalidades de la utilización) influyen sobre las aguas.

c) La resistencia de una construcción, ya sea de caminos, inmobiliaria e industrial ; su influencia sobre las aguas (régimen hídrico y calidad de las aguas) de los suelos de las inmediaciones (erosión, transformación de algunas propiedades físicas y químicas), sobre la vegetación, etc..., dependen de los suelos sobre los cuales y en medio de los cuales, se realizó la construcción y depende también de la forma en que fueron tratados los suelos durante la construcción. El suelo a menudo es utilizado como material para la construcción y la industria.

d) Los sistemas pedológicos son cada vez más utilizados para la purificación de los residuos agrícolas, industriales y urbanos.

e) En las regiones donde los suelos son profundos (principalmente en medio tropical y ecuatorial), es a través de su estudio que se puede realizar con mayor facilidad la prospección geológica y la

búsqueda de alguna concentración sub-superficial de minerales.

El estudio del suelo no puede reducirse solamente a un objetivo agrícola.

## 2 - Qué es el suelo ?

Hay cuatro respuestas esenciales :

a) El suelo, la estructura pedológica, medio de constituyentes minerales y orgánicos, sólidos, líquidos y gaseosos, inerte o viviente, es un medio organizado y estructurado. La relación entre los constituyentes no presenta una disposición cualquiera. El suelo posee una morfología : es su anatomía. Uno de los aspectos esenciales de esta morfología es la porosidad. El suelo es un medio poroso y ésta juega un papel esencial.

b) El suelo es un medio continuo, en el seno del cual es artificial y peligroso querer continuar a individualizar las unidades definidas por un perfil vertical que después se va a caracterizar, clasificar y a cartografiar. El individuo-suelo, equivalente al individuo-animal, o al individuo-vegetal, no existe a ese nivel. El sueño del perfil individuo-suelo debe ser abandonado.

c) El suelo, es un medio dinámico, y en perpetua evolución :

- hay evolución, transformación, permanente, cíclica o no, de los constituyentes, de la estructura, del sistema poral.

- hay en el seno del suelo, transferencia, permanente o temporal de materias sólidas, líquidas, gaseosas y biológicas.

d) El suelo siendo un medio de perpetua evolución, perpetua transformación, tiene un pasado y un futuro, pasado que debemos reconstruir, comprender, futuro que debemos prever y asumir.

## 3 - Qué quiere decir estudiar el suelo ?

La respuesta a esta pregunta se deduce automáticamente de las respuestas dadas en la pregunta anterior :

a) Estudiar la cobertura pedológica, es primero observar, medir, representar, interpretar las organizaciones morfológicas. Esto es necesario hacerlo a diferentes escalas, hasta el paso de observación al microscopio. Se trata de efectuar un análisis estructural de la cobertura pedológica.

b) Estudiar la cobertura pedológica es, paralelamente al análisis estructural, en función de este análisis, reconocer y analizar los constituyentes, determinar y medir las propiedades de éstos y las

estructuras que los organizan.

c) Estudiar la cobertura pedológica es finalmente observar, seguir, medir los funcionamientos, las transferencias, las actividades actuales del medio pedológico, y esto es necesario hacerlo en función de los constituyentes y sus organizaciones, y en relación con el impulsor, los factores de este dinamismo, a saber : el clima, las rocas, el relieve, las actividades biológicas, las actividades humanas,...

#### 4 - Cuáles son las prioridades para los trabajos de investigación en pedología ?

De las respuestas dadas a las tres preguntas precedentes, se deducen tres prioridades.

##### A - El análisis estructural

Un enorme trabajo de inventario de los suelos se ha realizado a nivel mundial. Este era indispensable y es necesario continuarlo.

Pero paralelamente, es necesario darse a la tarea de afinar este trabajo, es decir profundizar en el conocimiento de la organización de los diversos tipos de estructuras pedológicas inventariadas. Para esto, es indispensable cambiar a la vez la sistemática y la escala.

a) Cambio de sistemática : se trata ante todo, de escoger y privilegiar el análisis estructural objetivo que es independiente de todo sistema de referencia y en particular de cualquier clasificación. A modo de ejemplo, esto quiere decir :

+ como es necesario privilegiar el reconocimiento, el estudio detallado, la cartografía de caracteres y horizontes pedológicos, y no de zonas homogéneas teóricamente caracterizadas por perfiles tipos con referencia a una clasificación específica ;

+ es necesario privilegiar el reconocimiento, el estudio detallado, la cartografía de los límites correspondientes a la modificación de uno o varios caracteres en uno o varios horizontes : es muy importante tener en un mapa una buena leyenda de los límites.

b) Cambio de escala : es decir, por ejemplo, fundar los mapas de escala pequeña, no únicamente con los estudios a estas escalas, sino también tomar en consideración un cierto número de estudios detallados, a escala grande, estudio de zonas testigos ; la precisión de un mapa depende en definitiva del número de estudios a escala gran-

de que tuvimos posibilidad de hacer para fundamentar la generalización a escala pequeña. Esto es muy importante : la precisión de un mapa, la precisión del conocimiento de un medio no puede ser evaluada por el simple número de observaciones por hectárea. La precisión del conocimiento de un medio pedológico debe depender del número de estudios detallados, a escala grande (1/1000, 1/500 con el apoyo microscópico necesario) de zonas de ensayo que son en general pequeños valles de algunas hectáreas, en las cuales se realiza un trabajo esmerado, estos estudios son los que pueden permitir después la extrapolación significativa a escalas pequeñas, a condición de que se haya hecho de manera objetiva sin referencia alguna a los sistemas de clasificación, los cuales son siempre reductores de la transmisión de la información.

#### B - El análisis físico-químico y biológico

Se trata de desarrollar el análisis de los constituyentes y la determinación de las propiedades físico-químicas y biológicas en función de las organizaciones reconocidas a las diferentes escalas.

En este caso, hay que ser categórico : no hay derecho a continuar gastando dinero en la realización de análisis sobre muestras tomadas como quiera, de las cuales la interpretación siempre será errónea.

En todas las escalas, es necesario tratar de reconocer y analizar los constituyentes en función de su localización : localización con respecto a los otros constituyentes y en relación con los vacíos, a la porosidad. En realidad, lo que nos importa no es saber si un horizonte pedológico es pobre o rico en tal o más cual elemento, o saber si la capacidad de cambio de los constituyentes es fuerte o débil. Lo que es importante saber, es si los elementos necesarios a la planta son accesibles a las raíces de las mismas, conocemos que esta accesibilidad depende ampliamente de las estructuras, de las organizaciones y su localización. Lo que nos interesa también es saber si la capacidad de cambio de los constituyentes es accesible o no a la circulación de ciertas soluciones y su intercambio con las raíces ; esto también depende de las estructuras, de las organizaciones y de la localización. Hay que hacer en esto un gran esfuerzo de lógica y precisión.

C - La observación y medidas de funcionamiento

Se trata de desarrollar estas observaciones y medidas que aún son más raras e incompletas :

- evolución de los constituyentes ;
- modificación cíclica o no de las organizaciones : estructuras, porosidad ;
- funcionamiento de la transferencia de sólidos, líquidos, gases ; lo más importante hoy día es mejorar nuestros conocimientos sobre las transferencias hídricas y las soluciones en función de los sistemas estructurales y biológicos : es el amplio problema de las relaciones suelo-agua-planta que rigen una gran parte del comportamiento de la fertilidad y la conservación de los suelos.

En este dominio como en otros, es necesario limitar el contentarse con correlaciones entre observaciones y medidas estadísticas para a partir de éstas deducir sus dinámicas. Es necesario tratar de poner en evidencia, observar y medir estas dinámicas.

Todos estos estudios, de análisis estructural, análisis físico-químicos localizados, medidas de funcionamiento, ya han comenzado en diferentes regiones del mundo. Es necesario hoy día darle su prioridad metodológica y presupuestaria, y también a nivel de la enseñanza técnica superior : para esto es necesario reconsiderar la enseñanza de la pedología y ampliar la clientela de este tipo de enseñanza.

El concepto fundamental, esencial, que debe sostener a las futuras investigaciones en pedología, es la del suelo = medio organizado, medio estructurado : la cobertura pedológica, como una entidad natural, sobre todo un medio estructurado. Esto quiere decir que :

- conocer un suelo, conocer una cobertura pedológica, es en primer lugar conocer su organización morfológica, a todas las escalas, desde el paisaje hasta el cristal ;
- utilizar un suelo, una cobertura pedológica, es también y sobre todo valorar su organización morfológica.

En la pedología, actualmente hay una evolución peligrosa que es necesario frenar, es la que crea un abismo entre :

- por un lado, los que trabajan en el terreno, y a los cuales, no se les quiere dar ni el derecho ni el tiempo de realizar estudios detallados, a los cuales se les pide aplicar recetas, es decir las clasificaciones, glosarios, métodos ya terminados, descripciones

nes y cartografía de suelos.

- por otro, los de batas blancas, que trabajan solamente en el laboratorio haciendo observaciones y análisis muy finos, complejos, de resultados ciertamente excelentes, muy sofisticados, pero con los cuales a menudo somos incapaces de delimitar su campo de aplicación porque las muestras han sido separadas o poseen poca relación con el contexto natural.

La investigación pedológica, al servicio del conocimiento, desarrollo, de los agricultores, mejoradores, forestales y arquitectos, debe ser sobre todo un trabajo de equipo, que asocie varios tipos de especialistas de suelo y sobre todo, para todos un reciclaje entre el terreno y el laboratorio, entre la macro y la micro, entre la observación y la determinación, entre la marcha a pie y la micro-sonda.

La prioridad hoy día está dirigida a la constitución, al desarrollo de esos equipos de pedólogos, los cuales deben entre ellos asociarse a otros especialistas de la investigación del conocimiento y valoración del medio y las sociedades.