

ORGANIZACIONES SUPERFICIALES E INTERACCIONES DE LAS CONDUCTIVIDADES HIDRAULICAS EN SUELOS DE ZONAS ARIDAS Y SEMI-HUMEDAS

Jean Collinet

De la sequía meteorológica a la sequía hidrológica

No existe todavía ningún método para predecir con precisión si va ocurrir, continuar, cesar o repetirse una sequía meteorológica y eso, más aún cuando los regimenes pluviométricos presentan, en zonas intertropicales secas, los más fuertes coeficientes de variabilidad interanuales.

En cambio, se empiezan a conocer más los efectos de la sequía sobre los ecosistemas y actualmente se puede esperar reducir sus efectos analizando los procesos de transformación, de adaptación o de degradación de éstos ecosistemas. Esta investigación necesita análisis, a la vez globales y fundamentales, lo que obliga a utilizar todas las escalas de observación de los medios, y, también para las que no parecen actuar, con toda evidencia, sobre la dinámica de estos ecosistemas.

Sin embargo, entre la sequía meteorológica y la sequía hidrológica, es necesario interesarse en las organizaciones de las coberturas de suelos y, entre estas, considerar interacciones de las organizaciones estructurales de sus superficies con la conductividad hidráulica de todo el espesor del perfil del suelo.

Una ley de la hidrodinámica muy teórica pero necesaria para recordar lo que es la conductividad hidráulica

En un suelo que estaría totalmente homogéneo, (entonces, ¡qué no puede existir!), el flujo de infiltración de agua, debajo de una lámina de agua (si se trata de riego), o casi sin carga hidroestática (si se trata de aspersión artificial o natural) puede compararse con el flujo de filtración cuyas características se describirán con la ley de DARCY. Este flujo de filtración (Q) es proporcional : al coeficiente "K" que es la conductividad hidráulica dependiendo de las características porosas del suelo, y también,

de las del fluido; a la diferencia de carga hidráulica (H) entre dos niveles de profundidad; e inversamente proporcional a (L), que es la porción del medio poroso homogéneo atravesado por el flujo.

Unos compartimientos hidrodinámicos que pueden explicarse por la heterogeneidad vertical de las organizaciones estructurales, o por la inestabilidad de algunas de estas organizaciones

A menudo, el suelo no está, en el medio poroso homogéneo dentro del cual podrían ser demostradas las leyes elementales de la hidrodinámica. Entre las principales causas de heterogeneidad se pueden distinguir : a) las que están ligadas con la naturaleza misma de los suelos que están constituidos de "capas" u "horizontes", teniendo características físicas, químicas y mineralógicas diferentes, en primera evaluación estas características son estables, por lo menos a escala de observación humana; b) las que están ligadas con las modificaciones estructurales de la extrema superficie del suelo bajo el efecto de la energía cinética de las lluvias, o bajo los efectos de duraciones, más o menos largas, de inmersiones; estos efectos son perceptibles a escala de tiempo de las estaciones climáticas.

Primera situación donde la infiltración está principalmente controlada por las interfaces de horizontes

Para simplificar la demostración, consideramos un perfil de suelo donde se encuentra una transición abrupta de materiales con texturas diferentes. Esta situación puede ocurrir en suelos muy evolucionados donde se pasa de un horizonte muy arenoso a un horizonte muy arcilloso, siendo también posible a la inversa. Cualquiera que sea el orden de superposición de las texturas, se comprueba siempre una disminución del régimen de infiltración en el momento que el frente de humedad llega a esta interface.

De hecho, en el primer caso de superposición (arena sobre arcilla), hay una disminución brutal de diámetro de los conductos. Por lo tanto, habrá una disminución de la conductividad.

En el segundo caso de superposición, de arcillas sobre arenas, la infiltración disminuye también porque la tensión del agua contenida dentro de los conductos capilares arcillosos y húmedos es demasiado fuerte como para permitir atravesar la interfaz, y más aún cuando el diámetro de los conductos capilares secos aumentan brutalmente.

En ambos casos habrá que esperar una acumulación del agua, en condiciones saturadas, encima de la interfaz, para que, al final, el potencial de gravitación supere el potencial matricial. Es una de las causas por la cual la velocidad de progresión del frente de humedad es irregular en la mayor parte de los suelos. De hecho, la conductividad hidráulica es controlada por la totalidad de los horizontes del suelo. Cada inflexión corresponde, ya sea con una acumulación de agua por encima de la interfaz, y provoca un aumento de escorrentía, o si no con el atravesamiento de una interfaz por el frente de humectación.

Este comportamiento corresponde a los suelos de zonas húmedas o semi-húmedas donde la actividad biológica es importante y duradera, y donde las conductividades de las superficies están durante todo el año mucho más fuertes que las del conjunto de los horizontes del suelo. Esto será muy diferente en lo que a los suelos de zonas áridas se refiere.

Segunda situación, donde la infiltración pasa a ser controlada por la conductividad hidráulica de la superficie de los suelos, a través de los mecanismos de entarquinamiento de las superficies

En zonas secas, la composición y las organizaciones de los horizontes profundos pierden mucho sus influencias en los comportamientos hidrodinámicos de las coberturas de los suelos. Esta hidrodinámica se vuelve cada vez más superficial y, en resumen, mucho más simplificada. Esta simplificación resulta de cambios estructurales superficiales llevando a un entarquinamiento más o menos importante y rápido.

Lo que a menudo se llama "entarquinamiento de las superficies", o (en inglés) "soil sealing", "soil crusting", pudo ser analizado de manera más detallada con la simulación de lluvia. Estudios recientes que combinaron experimentos y observaciones de campo, en particular los de meso y microestructurales de los primeros centímetros de los suelos, permitieron comprender estos procesos de cambios superficiales en zonas áridas de África del oeste.

El método que fue utilizado consistió en hacer coincidir las tomas de muestras con las fases características de escorrentías demostradas por la simulación de lluvia y por otro lado, en estudiar los efectos evolutivos de las coacciones (por ejemplo, de la energía cinética sobre los microhorizontes de los suelos). Dos ejemplos pueden bastar para explicar los entarquinamientos en zonas áridas de África del oeste.

a) El conjunto de los suelos arcillo-limosos, verticos, en zonas secas. Los suelos estudiados se relacionan con "vertisoles" y "suelos isohumicos con pedoclima caliente durante la estación lluviosa, pardos, sub-áridos, vérticos" (Clas. francesa); estos pueden corresponder con los "pelloxererts", "xerochrepts" (Clas. USDA); o con los "pellic vertisoles", "vertic cambisoles" (Clas. FAO).

El entarquinamiento de la superficie de estos suelos no es demasiado difícil de entender. Conviene entonces distinguir dos situaciones, según el lugar de las observaciones. En efecto, estos suelos con caracteres vérticos presentan una topografía de micro-ondulaciones delimitando zonas bajas sumergibles y zonas altas.

Encima de cada ondulación, la concentración de láminas plásmicas (arcillosas) superficiales resultan de la fusión de la fracción aglomerada bajo el único efecto de la sobresaturación hídrica, y no bajo el efecto de la energía de las gotas de lluvia, lo que se constatará a continuación. Esta fusión es más importante aún y completa que lo que el complejo absorbente puede guarecerse con proporciones importantes de magnesio con relación a las de calcio ($Mg/Ca > 1$). Las alternaciones de humedad y de desecación pueden volver a crear una red de fisuras, o bien una nueva estructura fragmentaria constituida con aglomerados más o menos estables; esta estabilidad está ligada con las proporciones de cationes Ca^{++} y Mg^{++} fijados en el complejo absorbente. Entonces, el régimen de infiltración se parte en dos intensidades límites muy distintas, antes y después del cierre de las fisuras superficiales.

En las depresiones, se producen estratificaciones de láminas de arcillas y de láminas arenosas. Se trata de depósitos de decantación de los sedimentos que quedan en las partes sumergibles al terminarse cada escorrentía. El conjunto constituye una "barrera hidrodinámica" particularmente espesa y estanca.

La infiltrabilidad de toda esta cobertura de suelo depende así :

- de la naturaleza mineralógica particular de las arcillas que son Esmectitos, más precisamente Monmorilonita,
- de la naturaleza y de las proporciones de sus cationes intercambiables,
- de la microtopografía del campo donde los puntos elevados corresponden a zonas ocasionalmente más permeables, debido a sus dinámicas estructurales estacionales.

b) El conjunto de suelos arenosos a areno-arcillosos, en zonas secas y semi-húmedas. Los suelos que fueron estudiados son, todavía, "suelos isohúmicos, pardos, sub-áridos" pero no "vérticos" o "suelos con sesquióxidos de hierro, ferroginos, tropicales, más o menos lavados" (Clas. francesa); estos pueden corresponder a los "haplustalfs", "plinthustalfs" (Clas. USDA), a los "orthic-, ferric-, plinthic-luvisoles" (Clas. FAO).

Los efectos evolutivos descritos a continuación, corresponden a una textura de menos de 25 % de arcilla + limo fino. Las arcillas mineralógicas son Iilitas con Caolinitas o, a veces, arriba de las vertientes, en antiguas superficiales morfológicas, únicamente Caolinitas poco o no dispersables a causa de la fijación más o menos irreversible de sesquioxidos de hierro sobre la laminillas de estas arcillas.

En este segundo caso, el procedimiento de entarquinamiento de las superficies es más complejo. Pudo ser demostrado con el análisis de los efectos evolutivos a partir de la descripción y de la comparación de 150 laminillas de muestras de suelos.

El aspecto final de las organizaciones estructurales pueden cambiar un poco a través de las diferentes coberturas de suelos de los diferentes medios estudiados, pero los mecanismos provocando la repartición de los elementos y sus organizaciones son comunes a través de todos los sitios.

Como se dijo anteriormente, este proceso se demostró interpretando las observaciones de laminillas de muestras tomadas durante las diferentes fases características de la escorrentía.

El estado inicial al final de la estación lluviosa, enseña una "matriz" donde el "plasma"(arcillas granulométricas) y el "esqueleto" (granos de arena) están ligados; se encuentra entonces una gran porosidad que resulta de la actividad de la fauna del suelo.

Durante la fase de imbibición, el fondo matricial se disloca, los elementos se dispersan bajo los efectos conjugados de la transmisión de vibraciones que resultan de la disipación de la energía cinética de las lluvias y de la sobresaturación hídrica.

Durante la fase del régimen constante de escorrentía, o de régimen permanente de la infiltración (porque se trata de simulación de lluvia con intensidad constante), y durante la fase de vaciado, al final de la lluvia, el plasma se organiza en capa laminaria cuyos límites inferiores son abruptos.

Esta lámina plásmica no corresponde, como se podría suponer, con un detenimiento de la migración de plasma encima de un horizonte que estaría más compacto o que presentaría una heterometría granulométrica particular. Este límite corresponde, en cambio, al límite de una capa de aire que proviene del suelo y que está comprimida cuando la lámina de agua de escorrentía cubre el suelo. La distensión del aire al fin de la escorrentía provoca la reunión de los elementos plásmicos que estaban, hasta este momento, dispersos en la matriz del suelo.

Durante la desecación del suelo, los granos del esqueleto se juntan y, a partir de este momento, conviene distinguir dos modos de concentraciones plásmicas que dependen de la granulometría de los elementos del esqueleto y también de la naturaleza mineralógica de las arcillas :

- si la fase plásmica es coloidal (Ilita o Smectita que pueden rehidratarse), los elementos muy finos de arcillas se introducen fácilmente entre los granos de arena, se condensan entre ellos y construyen una lámina continua, estanca y estable.

- si la fase plásmica perdió, en parte, sus características coloidales a causa de la fijación de sesquióxidos de hierro sobre las laminillas de arcillas, el traslado de partículas es más rápido, moderado por una aglomeración entre los intersticios de los granos. Así se forman también concentraciones laminarias pero están menos densas, menos estancas y estables que antes.

La infiltrabilidad de este tipo de cobertura de suelos va a depender entonces :

- de la repartición granulométrica de los elementos. Así es como una hermeticidad máxima se observa para arenas finas y tasas de arcillas + limo fino entre 15 y 25 %,

- de la naturaleza mineralógica de las arcillas así como de sus estados de saturación con cationes intercambiables o con óxidos de hierro,

- de la tasa de cobertura vegetal, porque esta se opone mucho al mecanismo descrito anteriormente, tanto en lo que concierne la intercepción de la energía cinética de las lluvias, como por la formación de zonas con drenajes preferenciales, sin concentraciones plásmicas.

Conclusión

El estudio de donde son extraídas las informaciones precedentes permitió una comparación latitudinal de los compartimientos hidrodinámicos de coberturas de suelos en el oeste de Africa. Se distinguió así : una hidrodinámica superficial, lateral y simplificada en las coberturas de las zonas áridas, en cambio, una dinámica profunda, vertical o oblicua

en las coberturas de las zonas húmedas.

La partición entre los dos tipos de regímenes de infiltración, anteriormente analizados, es relativamente abrupta porque corresponde a un límite bioclimático dando el predominio a los cambios físicos en las zonas secas, y biológicos en las zonas húmedas :

- en las zonas secas la hidrodinámica depende de la construcción, después de la estabilidad, de organizaciones meso y micromorfológicas, que controlan desde la superficie, la conductividad hidráulica de los suelos; esta simplificación de las dinámicas limita de manera importante la significación y la utilización de las informaciones de tipo morfopedológicas (mapas de suelos y sus leyendas),

- a partir de la zona semi-húmeda (10 grados de latitud norte en Africa Occidental), la reanudación de toda una serie de procesos destruye durante numerosos meses las organizaciones anteriores. Estos procesos son la consecuencia de numerosos efectos: perennidad de las actividades biológicas vegetales, permanencia de un sistema radical, crecimiento de la actividad de la fauna del suelo. Estos efectos restauran así una conductividad hidráulica profunda de lo que también resulta una complejidad creciente de la hidrodinámica en los vertientes.

Los límites de utilización de los datos experimentales dependen precisamente de esta simplificación o de esta complejidad de ambos sistemas.

En zonas áridas, el énfasis, desde hace algunos años, en los esfuerzos sobre una identificación y la caracterización hidrodinámica conjuntas de los estados de superficies están totalmente justificados en lo que concierne a una predicción de las escorrentías sobre las vertientes y después en la red hidrográfica; por otra parte estas informaciones pueden fácilmente evaluarse con los datos de la teledetección de alta resolución.

A partir de la zona semi-húmeda, la extrapolación de los datos experimentales dan ocasión a una pérdida de información, en efecto, esta extrapolación trata más generalmente de volúmenes de los suelos antes que de sus superficies. La única vía de predicción de las escorrentías consistirá en la identificación muy precisa de las organizaciones de "sistemas de suelos" a escala de las vertientes, desde la cobertura vegetal hasta la roca madre, y esto, para prever el trayecto de los flujos hídricos. Sin embargo, es necesario saber que esta investigación necesitó mucho más trabajo de campo, con relación a la situación precedente, aunque sea solamente porque los datos de la teledetección son más difíciles de utilizarse en esta zona.