

Programme de travail de F. X. HUMBEL

(Centre ORSTOM de Yaoundé)

Méthodologie utilisée pour obtenir des aperçus sur le régime eau-gaz actuel de quelques sols du Cameroun, sous culture et sous végétation naturelle, à partir de certaines de leurs propriétés intrinsèques et de profils hydriques établis au voisinage des extrêmes saisonniers.

Plan

- 1 Raisonnement méthodologique
- 2 Définition du programme
- 3 Choix des caractéristiques et des techniques
 - 31 Variations d'humidité
 - 32 Caractéristiques intrinsèques
 - 33 Uniformité du matériel pédologique
 - 34 Caractéristiques pluviométriques
- 4 Coordination des résultats
- 5 Mesures dynamiques de vérifications

1. Raisonnement méthodologique

La quantité d'eau qui pénètre dans le sol per descensum et le devenir ultérieur de celle-ci dépendent à la fois des modalités de l'apport pluvial et de certaines caractéristiques de la matière pédologique in situ. A cet égard les premiers horizons du sol jouent un rôle déterminant : or ce sont précisément ces horizons que l'activité humaine modifie le plus. La connaissance du régime hydro-gazeux actuel du sol sous végétation naturelle offre un intérêt pédo-génétique dans la mesure où ce régime renseigne sur celui qui a présidé à l'évolution du sol. Mais les terrains qui ont été perturbés par des interventions humaines couvrent de grandes superficies et les pratiques subies y diversifient nettement les destinées de l'eau de pluie. L'évolution du régime hydro-gazeux sous culture, feu et pâturage offre donc un double intérêt : agronomique et hydrologique. Dans ces deux optiques il reste indispensable de connaître le régime correspondant sous végétation naturelle, à titre de référence et de complément.

Les teneurs en eau et gaz étant des variables saisonnières fonctions du support pédologique, il faut mesurer ces régimes sous les mêmes événements pluviométriques et sur le même matériel pédologique.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : B29379, ex 1

Cote : B

L'approche la plus simple consiste alors à choisir la toposéquence sous végétation naturelle mais en bordure d'un champ cultivé. On suit les variations d'humidité simultanément de part et d'autre de la bordure après avoir vérifié par des méthodes non perturbantes que le matériel pédologique présente dans les deux secteurs une analogie suffisante.

Du but recherché, qui peut être pédogénétique, agronomique ou hydrologique, dépend le choix des échelles de temps et de mesure : échelle de la grosse pluie pour apprécier l'érosion et le lessivage, extrema saisonniers pour juger des stocks d'eau et des gonflements potentiels, échelle de la confection ou de l'agrégat pour appréhender la genèse de ces constituants, échelle du mètre carré pour mesurer l'infiltration globale etc. Un balancement d'échelle peut être en outre nécessaire pour cerner certaines caractéristiques malaisément mesurables ; la porosité biologique et de fissures, par exemple, est estimée par différence entre la densité apparente de l'agrégat et celle de l'horizon.

Quel que soit le but recherché, il est préférable de cerner d'abord les grands traits hydrodynamiques du couple sol - climat considéré. Ce dégrossissage du problème permet en effet de déceler les déterminants essentiels de la dynamique : Si l'humidité du sol au maximum d'humectation franchit largement la limite de retrait, les compressions résultantes jouent un rôle important dans la dynamique saisonnière du profil. Il faut alors rechercher quand et où cette limite est franchie et de combien, et surtout quelles en sont les conséquences sur la porosité, la structure, l'infiltration, la dynamique des horizons sus-jacents, etc. Cette "clef" de la dynamique des sols n'a plus d'intérêt si la limite de retrait n'est pas franchie. Les mesures d'humidité aux extrema saisonniers permettent de mesurer les stocks d'eau emmagasinés dans le sol. Mais c'est à l'échelle d'une grosse pluie qu'il faut descendre pour chiffrer les conséquences des refus à l'infiltration. La dynamique actuelle intègre ainsi certains traits du bilan annuel et certains événements exceptionnels. Il n'est pas toutefois indispensable d'attendre un événement exceptionnel pour en étudier les effets : simulateurs de pluie, charges d'eau et raisonnements à partir des propriétés intrinsèques permettent de calculer ces effets.

Quant aux méthodes culturales, elles sont très variées et peuvent modifier de façons très diverses le régime hydro-gazeux d'un même matériel pédologique. Or la connaissance de ce régime hydro-gazeux sous végétation naturelle constitue un préalable indispensable. Il est donc intéressant de coupler l'étude de ce régime de référence à celui induit par un type de culture choisi parmi les plus communs ou les plus intéressants. On peut préciser ensuite l'influence des autres méthodes culturales sur des emplacements situés à proximité du champ étudié et après une étude plus sommaire du régime de référence.

L'intérêt de connaître un régime hydro-gazeux est très augmenté si une comparaison peut être effectuée avec des matériels pédologiques différents sous le même climat et avec des matériels voisins

situés sous des climats différents. Beaucoup des tests utilisés actuellement pour l'appréhender ont d'ailleurs une valeur essentiellement comparative. Un des objectifs à long terme des études de régime actuel est de chercher à connaître le régime qui a présidé à l'élaboration de chaque matériel pédologique existant, afin de savoir si celui-ci est actif ou fossile (intérêt géomorphologique) et surtout d'en comprendre la formation et l'évolution (intérêt pédogénétique).

2 . Définition du programme.

Ces réflexions initiales ont conduit à proposer sur les sols du Cameroun (largement étalés en latitude) le programme suivant qui vise à une première exploration des principaux régimes hydro-gazeux de ce pays, par les moyens les plus économiques et dans un laps de temps réduit à une ou deux années :

- Sur des paysages pédologiques jugés représentatifs par les travaux cartographiques antérieurs, à proximité de plantations dont les techniques culturales sont connues et répandues et sous les principaux types de climats représentés dans ce pays, les grands traits hydrodynamiques actuels desdits matériels pédologiques sont dessinés en confrontant celles de leurs propriétés intrinsèques qui paraissent conditionner le cheminement de l'eau à diverses observations et mesures d'humidité effectuées au voisinage des extrema saisonniers et lors d'événements climatiques efficaces. Chaque régime gazeux est déduit par complément du régime hydrique, la modification annuelle de la phase solide étant négligée.

3 . Choix des caractéristiques à étudier et des techniques.

31 . Variations d'humidité.

L'humectation d'un sol a deux types d'effets : des effets réversibles qui agissent sur les modalités même de l'humectation (stockages d'eau et de gaz, modifications structurales dues au franchissement de la limite de retrait) et des effets physico-chimiques et biologiques modifiant de manière irréversible la matière du sol (érosion, lessivage, néosynthèse, altération). Les premiers, qui conditionnent en partie les seconds, sont à étudier au préalable et il est préférable de se limiter à eux dans un premier stade.

Connaître les quantités volumiques d'eau retenues par le sol aux extrema annuels permet lorsque l'apport pluvial est connu, de calculer la somme des quantités refusées à l'infiltration et des quantités restituées à l'atmosphère ou au réseau hydrographique entre ces mesures.

Connaître les quantités de gaz contenues par le sol à ces extrema renseigne sur les conditions d'aération qui y règnent compte tenu de la porosité totale et des possibilités d'échange avec l'atmosphère.

Le franchissement de la limite de retrait fait naître des tensions qui s'expriment par une dilatation ou par une modification de la porosité interne. Ces changements structuraux agissent sur le stockage et l'infiltration de l'eau, l'atmosphère du sol, la dynamique des agrégats.

Le moment où se situent ces extrema hydrique ou gazeux du sol par rapport à celui des extrema climatiques est une caractéristique intéressante du couple sol-climat.

Les prélèvements sont faits à la tarière Hélix, sauf lorsque l'humidité approche l'état de saturation ou que le terrain est impénétrable (on opère alors par trou). Les couches résistantes isolées sont pré-perforées au pénétromètre équipé d'une pointe de moindre diamètre. Les différentes phases (concrétions, cailloux, terre fine) sont séparées et leur humidité dosée séparément. Les prélèvements sont effectués sur une même verticale, d'abord tous les 5 cm puis tous les 10 cm puis tous les 20 cm à partir de 1 m de profondeur. La prise est examinée pour éliminer les causes d'hétérogénéité, matière biologique ou caillou isolé. Deux fois par an les mesures d'humidité effectuées pour rapporter au poids de terre sèche les densités apparentes in situ doublent les mesures par sondage. Ces mesures de densités apparentes permettent l'expression volumique des humidités. Il n'est pas effectué d'autres répétitions statistiques en un même point. Le nombre de prises sur une même verticale et le nombre de profils étudiés sur une même toposéquence compensent dans une certaine mesure l'absence de répétitions statistiques. La courbe moyenne a priorité sur les valeurs individuelles.

32 . Caractéristiques intrinsèques.

Elles sont de deux sortes, celles qui influencent la dynamique de l'eau (porosité, perméabilité, limite de retrait, discontinuités à rupture de capillarité) et celles qui sont éventuellement en partie influencées par elle : répartition du fer, de la matière organique, de l'argile, des cations, des sels, etc. Ces dernières sont déterminées au laboratoire par les méthodes habituelles.

Le terme de porosité a deux acceptations complémentaires : pourcentage volumique des "vides", et forme, taille et disposition de ceux-ci. On accède à la porosité totale du sol par calcul à partir des densités apparentes et réelles, à condition de mesurer celles-ci à l'échelle globale de l'horizon. C'est le pourcentage du volume occupé par l'eau et le gaz au moment de la mesure de densité apparente. S'il y a gonflement, c'est une variable saisonnière. La porosité des agrégats peut être mesurée sur mottes (Méthode Rennie-Pioger), mais elle est alors sous-estimée et caractérise le matériel après séchage (porosité minimale). Il est donc préférable de l'obtenir par des mesures de densité apparente sur mottes, en fonction de l'humectation (étude du gonflement). La différence entre les porosités mesurées à ces deux échelles (horizon et agrégats), et pour des humidités inférieures à la limite de retrait, donne la valeur de la porosité biologique et de fissure dans cet état du sol. Au-dessus de la limite de retrait, il faut tenir compte du gonflement éventuel qui affecte soit l'agrégat seul, soit l'agrégat et l'horizon dans son ensemble. La mesure de l'humidité à l'état de saturation devrait permettre d'approcher la valeur de la porosité totale utilisable au maximum de gonflement.

L'étude morphologique des pores nécessite la consolidation du matériel pour examen et mesures sur lame mince, la matérialisation des pores les plus grossiers par la parafine et enfin des examens et mensurations directes. L'étude des potentiels capillaires renseigne indirectement sur la granulométrie des vides. Tous les examens qui s'effectuent sur échantillon desséché ou décomprimé ne renseignent pas sur la dynamique saisonnière des pores qui n'est alors, appréhendée que par déduction. Par exemple, si on constate dans un profil qu'une tranche de sol se distingue par une imperméabilité relative, et par une plus grande quantité d'eau retenue en saison humide avec franchissement de la limite de retrait sans variation décelable de densité apparente, on peut envisager que les tensions résultantes ne s'y sont pas exprimées par un gonflement global mais par l'effacement de la porosité servant à l'écoulement de l'eau de gravité au profit d'une forme de porosité plus fine servant au stockage de l'eau. Si en outre cette tranche retient aussi relativement plus d'eau en saison sèche, c'est que la réduction des pores y est acquise de façon permanente, ce qui peut être vérifié par la micromorphologie.

Le gonflement d'un échantillon de sol commence lorsque l'humidité y dépasse une valeur appelée limite de retrait. L'augmentation de volume devient alors proportionnelle à l'augmentation d'humidité jusqu'à ce que l'échantillon perde sa cohésion (déformation au-dessus de la limite de plasticité, fluidification au-dessus de la limite de liquidité, en d'autres termes, dégradation de la structure suivie de dispersion). Un tel gonflement traduit en fait l'apparition de pressions d'humectation. Dans le sol en place, l'échantillon considéré est soumis à des contraintes de la matière environnante qui orientent le travail de ces forces lorsqu'il peut s'exprimer par des déplacements de matière ; dans les horizons superficiels, la matière pédologique peut effectivement augmenter son volume aux dépens de l'atmosphère (gonflement linéaire vertical). En dessous, ce sont les formes les plus fragiles de porosité (macroporosité par exemple) qui vont absorber la matière en excès. Théoriquement, c'est par des variations de densité apparente qu'on devrait pouvoir apprécier ces déplacements de matière, mais il faudrait pouvoir mesurer ces variations à l'échelle de ces déplacements, ce qui n'est pas possible que s'ils déforment des volumes suffisants, accessibles aux méthodes de mesure. Encore faut-il que l'amplitude du gonflement soit supérieure à l'hétérogénéité densimétrique, ce qui est rarement le cas, et que le gonflement soit le seul facteur de variation densimétrique (milieux abiotiques). Enfin la technique utilisée doit permettre d'obtenir le volume réel occupé par la matière avant sa décompression. La rapidité de celle-ci n'étant pas connue la méthode à volume constant est donc seule recommandable (cylindre).

Par contre, l'apparition saisonnière de structures fragmentaires de rupture ou de pressions est un indicateur sûr de l'existence de tensions dues aux alternances de retrait et gonflement. Certaines mensurations in situ permettent même d'en apprécier l'amplitude.

Une mesure directe du gonflement est difficile, puisque toute coupe ou prélèvement fait disparaître certaines des forces naturelles appliquées. On peut cependant admettre qu'il y a apparition de tensions internes lorsque l'humidité du sol en place dépasse la limite de retrait mesurée sur une motte décompressée. Il faut être plus prudent si l'on ne dispose que d'une mesure classique sur un échantillon remanié par malaxage à l'eau. Cette mesure indique en fait l'humidité que doit atteindre la matrice du sol abstraction faite de sa porosité grossière. La comparaison entre humidité du sol et limite de retrait est mieux acceptable si l'humidité considérée est celle du sol ressué et non celle qui peut être atteinte momentanément après une pluie. Dans le sol en place, la répartition de l'humidité peut en effet n'être pas homogène, inférieure en certains points à la limite de retrait, supérieure en d'autres et ceci quelle que soit sa valeur moyenne.

Il est ainsi préférable d'observer le démarrage du gonflement à la fois sur une motte libérée de ses contraintes et sur un échantillon global placé dans ses conditions naturelles de contrainte (variation linéaire dans un cylindre vertical de prélèvement) et d'observer in situ à différentes saisons les effets structuraux qu'il provoque.

En résumé les tensions d'humectations sont délicates à enregistrer directement et il n'est généralement possible d'en apprécier la réalité et l'intensité que de manière assez indirecte par leurs effets structuraux in situ et par des mesures de gonflement sur des échantillons triturés, ou mieux, des échantillons intacts mais dégagés de leurs contraintes naturelles. Les tensions d'humectations sont un facteur important de la dynamique des pores. Elles agissent sur la matière ce qui rend leur effet en principe accessible aux mesures de densité apparente mais l'échelle des déplacements atteint rarement celle de l'horizon ou même d'un volume mesurable. Les mesures directes de porosité en lames minces à partir d'horizons figés dans leur organisation spatiale constitueraient en définitive la meilleure approche du phénomène.

La perméabilité. La vitesse de transit de l'eau de gravité à travers une tranche de sol dépend de l'état d'hydratation de celle-ci, des possibilités d'évacuation des gaz, de la charge et de la viscosité de l'eau qu'elle supporte, des forces de succion existant à sa partie inférieure, de la direction imposée au flux et enfin de propriétés intrinsèques de l'horizon liées essentiellement à la porosité sensu lato (taille, forme, abondance, disposition relative et dynamique des pores).

Dans la méthode directionnelle utilisée en 1969 - 70, la succion des horizons sous-jacents est supprimée et la direction du flux est imposée par le cadre de prélèvement (verticale descendante et latérale, aval généralement). L'échantillon étant préalablement humecté per ascensum, le régime permanent est immédiat. Des calculs correctifs permettent de compenser l'influence de la charge d'eau et de la viscosité. Cette méthode fait donc accéder, d'une manière au moins comparative, à une propriété intrinsèque de perméabilité de l'horizon. Le "gonflement interne" pouvant se poursuivre lentement, il importe pour apprécier son influence, soit de renouveler les mesures à différentes

soit de reprendre la mesure après un ressuyage de plusieurs heures. L'adjonction d'un répartiteur à la base de l'échantillon renseigne sur l'hétérogénéité du flux à ce niveau ou encore sur différentes échelles possibles de perméabilité (en grand et en petit) et d'éliminer un "effet péritonite" éventuel (tube naturel traversant de part en part l'échantillon, et artificiellement ouvert à sa base).

Par ailleurs, l'humidité d'un échantillon de terre prélevé immédiatement après l'imbibition totale permet de connaître la porosité réellement disponible pour l'eau. Le prélèvement est effectué à la base du cadre sortant de son bac d'imbibition.

Dans la méthode Münz, la charge est fixée à 3 cm et les forces de succion sont celles des horizons sous-jacents non perturbés. Grâce à l'anneau de garde, la perméabilité mesurée est verticale s'il ne se produit pas un ralentissement du drainage per descensum qu'un drainage latéral viendrait compenser. La poursuite des mesures sans anneau de garde renseigne sur le drainage latéral.

Il est remarquable de noter qu'un "régime permanent" finit effectivement par s'établir et qu'il se maintient au moins plusieurs heures, dans la plupart des sols où il existe un drainage annuel. La perméabilité change toutefois si l'on procède à un ressuyage de quelques heures.

Le procédé suivant permet de multiplier les mesures tout en diminuant la section du flux : le régime permanent étant acquis dans un grand cylindre de garde on y effectue successivement en différents points des mesures élémentaires de durée réduite (dix minutes par exemple) avec un petit dispositif Münz. C'est à peu près l'équivalent en méthode Münz du répartiteur des perméabilités directionnelles. Ces dispositifs permettent de cerner l'hétérogénéité naturelle du matériel pédologique étudié.

Exploitation des résultats : Les profils de perméabilités obtenus par ces méthodes sont tracés et comparés : Münz à anneau de garde avec la directionnelle verticale, Münz sans garde avec les perméabilités directionnelles verticale et horizontale, Perméabilité élémentaire avec la perméabilité moyenne, etc. Les zones de ralentissement de la perméabilité verticale sont étudiées soigneusement et on calcule la charge d'eau nécessaire pour qu'un ralentissement du drainage s'y produise au profit du drainage oblique ou de l'engorgement. On compare alors ces profils de perméabilité aux profils hydriques saisonniers pour discuter de l'origine des "creux et ventres" d'humidité révélés par ceux-ci. Si l'apport pluvial peut fournir le stock d'eau nécessaire au déclenchement d'un drainage oblique, on recherche l'existence effective de celui-ci, à la fois par son expression morphologique éventuelle, par des mesures d'humidité espacées après une pluie efficace, par des mesures directes de circulation (chapitre 4) et par la variation à ce niveau d'autres caractéristiques intrinsèques (densités apparentes, porosités, granulométrie).

33 . Uniformité du matériel pédologique.

La morphologie du matériel pédologique est étudiée dans les fosses qui servent à la détermination des propriétés intrinsèques. Les prélèvements pour l'établissement des profils hydriques saisonniers se font de part et d'autre de chaque fosse, sur la même courbe de niveau, dans le champ cultivé d'un côté, sous végétation naturelle de l'autre et à une vingtaine de mètres environ de la ligne de fosses. Malgré cette proximité, il importe de vérifier que le matériel pédologique est partout identique (sauf horizon cultivé) mais sans perturber celui-ci. Le pénétrromètre vertical permet de contrôler l'existence et la profondeur des limites pédologiques qui s'accompagnent d'un changement de résistance à la pénétration : horizon grossier ou cimenté, roche dure, roche altérée, front d'humectation ou de dessiccation, horizon de compacité, etc. Une même résistance à la pénétration de ces tranches de sol est en outre un excellent présage d'uniformité. Un sondage est toujours possible en cas de doute. Mené aussi d'une fosse à l'autre, l'étude pénétrométrique permet d'apprécier la représentativité de chacune d'elle et de suivre le devenir des principaux horizons.

Le prélèvement par sondage réalisé à l'occasion des profils hydriques permet de contrôler que l'analogie morphologique, chimique et minéralogique est satisfaisante.

Lorsqu'il s'agit de vérifier que les deux emplacements ont un même comportement dynamique, la méthode de variations de résistance électrique avec l'humidité et les ions dissous peut être utilisée : on enregistre l'arrivée d'un flux d'humidité en mesurant périodiquement (à l'aide d'un pont de Kohlraush) la résistance électrique entre des broches métalliques enfoncées dans le sol à différentes profondeurs. Le point et l'instant de départ de l'eau étant connus, on en déduit la direction, la profondeur et la vitesse de déplacement de cette humidité. Cette étude est nécessaire lorsqu'il existe un écoulement latéral hiérarchisé (horizon caillouteux drainant ou colmaté selon les points).

34 . Caractéristiques pluviométriques :

Un pluviomètre est nécessaire sur, ou à proximité, de la séquence. La somme des précipitations totales reçues, au moment d'une mesure d'humidité, depuis le début de la saison des pluies ou depuis la précédente mesure est une donnée essentielle. Certaines petites pluies qui ne pénètrent pas sont à éliminer mais le taux d'infiltration dépend en outre de l'état d'hydratation général. Au total, la quantité d'eau infiltrée est difficile à apprécier par le biais des seuls relevés journaliers et de quelques observations sur les fronts d'humectation et de dessiccation en saison des pluies. Le stock d'eau du sol au maximum saisonnier sera donc rapporté à l'apport pluvial antérieur global.

La pluviométrie de l'année de mesure doit être comparée à celle du plus grand nombre possible d'autres années afin de savoir si les événements dynamiques observés ont des chances de se produire d'une manière fortuite, ou au contraire habituelle, et d'en apprécier les variations d'intensité.

Des mesures et observations in situ lors de quelques grosses pluies complètent utilement les résultats précédents. Une surface protégée de la pluie et du ruissellement sert de référence.

4. Coordination des résultats.

Caractéristiques intrinsèques et mesures saisonnières doivent être minutieusement confrontés pour renseigner sur la dynamique hydré-gazeuse de chaque matériel considéré.

La composition du sol au moment de chaque mesure périodique est établie sous forme de tableaux de chiffres et de diagrammes de composition volumique comprenant : la teneur en eau, la porosité des agrégats, la porosité totale. Le profil est considéré d'abord dans son ensemble, puis horizon par horizon, puis phase par phase : dans un horizon concrétionné, par exemple, on distinguera ainsi séparément la teneur en eau-graz-matière des phases concrétions et matrice. On distinguera de même les deux phases d'un horizon bicolore, ou d'un horizon à deux structures juxtaposées, ou d'un horizon à constructions biologiques.

Ces diagrammes saisonniers sont alors confrontés aux observations morphologiques, aux données climatiques de l'année et aux profils de variations des propriétés intrinsèques (tout particulièrement celles qui n'interviennent pas dans l'établissement des diagrammes comme la perméabilité, le gonflement potentiel et la résistance à la pénétration). On relève alors les cas de coïncidence et d'indépendance entre les caractères, par exemple :

- 1 tranches de sol engorgées, signes d'hydromorphie et répartition du fer.
- 2 tranches de sol où l'humidité franchit la limite de retrait, caractères structuraux et profils de densité-porosité-perméabilité.
- 3 creux ou ventres d'humidité, profils de perméabilité directionnelles et caractères de lessivage ou d'accumulation.
- 4 traces d'érosion, intensité des pluies, perméabilité et rétention d'eau de l'horizon superficiel.
- 5 stock d'eau du sol et apport pluviométrique antérieur.

Une étude critique comparative entre les caractères intrinsèques, les données saisonnières et les fournitures climatiques est alors tentée dans l'ordre "phase-horizon-profil-interfluve" avec deux préoccupations majeures :

- 1 la dynamique observée actuellement n'est pas forcément celle qui a présidé à la formation du support pédologique.
- 2 sans présumer à priori des relations de cause à effet ou d'indépendance entre les caractères en coïncidence, chercher à établir s'ils sont en harmonie ou en contradiction apparente, entre eux d'abord, avec la morphologie ensuite, puis tenter de les relier dans un schéma cohérent de dynamique actuelle.

En fait, cette tentative aboutit généralement plutôt à préciser les vérifications nécessaires pour confirmer le schéma dynamique proposé, ou même à poser les vrais problèmes de dynamique actuelle en fournissant des données approchées sur le lieu, le moment, la durée, la nature et l'intensité

des événements dynamiqués. Une telle approche se justifie par le coût et la durée des mesures approfondies de dynamiques.

5. Mesures dynamiques de vérification.

Jusqu'au stade précédent, la dynamique du sol était appréhendée uniquement par des mesures ou observations statiques. Des observations et mesures dynamiques sont encore nécessaires pour cerner les grands traits de la dynamique actuelle du système avant de proposer un plan d'étude plus approfondi. Ces études dynamiques peuvent être menées de deux façons qui constituent en fait deux étapes complémentaires : en apportant artificiellement de l'eau au système, ou au contraire en respectant le jeu naturel du couple sol-climat. Dans le premier cas, l'eau apportée au sol sec peut servir elle-même d'indicateur ; dans le second, par contre, il est nécessaire de la "marquer".

La dynamique de l'eau est rarement visible par une simple exploration du support pédologique parce que les fosses d'exploration perturbent sa circulation et parce que celle-ci s'effectue rarement sous forme d'eau libre à écoulement suffisamment rapide. Toutefois cette technique a permis d'observer un écoulement latéral dans un horizon grossier peu profond et caviteux. L'eau était apportée en quantité suffisante et des relais d'alimentation étaient nécessaires pour suivre la hiérarchisation de l'écoulement oblique interne de haut en bas de l'interfluve. Il semble qu'avec l'eau pluviométrique seule cette observation directe aurait encore été possible à condition de se placer au maximum saisonnier d'humectation.

Parmi les méthodes non perturbantes, l'utilisation d'éléments radioactifs ou même d'isotopes stables est une des plus intéressantes. Sa place est cependant plutôt dans le cadre des études approfondies du fait de son coût et de la durée possible des mesures.

Pour matérialiser rapidement un écoulement éventuel, on peut utiliser des substances colorantes mais il faut creuser l'interfluve pour suivre leur propagation. La substance doit être à la fois entraînée par l'eau et fixée par le sol, sans modifier celui-ci. Son choix dépend donc du type d'écoulement étudié (libre ou capillaire) et de la couleur propre du support. La réaction colorée du sulfocyanure de potassium sur l'alun de fer ne convient pas dans un sol rouge par exemple.

La méthode des résistances électriques est plus intéressante car elle ne perturbe pas l'interfluve : on enfonce à différentes profondeurs des écrans de broches métalliques sur le trajet supposé du flux d'humidité dont l'arrivée se manifeste par une chute de la résistance électrique, mesurée périodiquement au pont de Kohlraush. Ce système a été employé avec succès pour des écoulements latéraux à faible profondeur le long d'un contact plan et même dans des cas d'infiltration verticale (l'enfoncement des broches s'effectue alors obliquement sous le point d'injection d'eau).

L'apport d'eau peut se faire en surface dans un cylindre de garde plus ou moins enfoncé ou dans un trou de profondeur donnée. L'injection en profondeur par un tube creux n'a pas réussi dans les matériels étudiés. La position de l'extrémité de la broche métallique dans le support pédologique est connue par la profondeur d'enfoncement et par le type de résistance rencontré. L'écoulement ne peut être suivi que sur quelques mètres à cause de la diffusion du flux ou de la lenteur de la propagation. On répète donc l'opération en différents points de la pente pour appréhender l'écoulement dans son ensemble.

Les mesures dynamiques ainsi obtenues précisent la réalité des schémas d'évolution tirés de mesures statiques des caractéristiques intrinsèques et des états successifs de composition volumique du sol.