

PROGRAMME D'ANALYSE DU RUISSELLEMENT, DE L'INFILTRATION
ET DE L'ÉROSION À L'AIDE DES TECHNIQUES
DE SIMULATION DE PLUIE

A. CASENAVE

Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, B.P. V51 ABIDJAN
(Côte d'Ivoire)

I. HISTORIQUE

Pour comprendre comment se sont développées les études sous pluies simulées, il est nécessaire de faire un bref historique de ce programme.

Entre 1975 et 1980, une équipe multidisciplinaire du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, a mis en oeuvre un simulateur de pluie de type SWANSON, sur huit sites : ADIOPODOUME, TAI, SAKASSOU, KORHOGO (Côte d'Ivoire), KONGOUSSI, LOUMBILA, OURSI (Burkina Faso) et GALMI (Niger), échelonnés depuis la zone tropicale humide jusqu'en zone sahélienne. Du fait de sa composition - hydrologues, pédologues et agronomes - cette équipe a été amenée à aborder des sujets de recherche très variés allant d'applications pratiques d'intérêt agronomique : Conservation des sols (techniques anti érosives) et des eaux (techniques culturales favorisant l'infiltration), optimisation de l'irrigation des cultures, à des études plus théoriques : étude expérimentale des potentialités de pédogénèse actuelle, analyse et quantification des principaux facteurs entrant en jeu dans les processus d'infiltration et de ruissellement. Un des principaux acquis de cette équipe a été la mise en évidence de l'intérêt de la simulation de pluie dans l'étude des caractéristiques hydrodynamiques des sols.

En 1976, le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques demande à l'ORSTOM d'essayer de résoudre le problème de la détermination des crues décennales des petits bassins versants en zone forestière tropicale. Une première analyse des études classiques de bassins représentatifs, montre que l'hétérogénéité des résultats semble provenir de l'appétitude au ruissellement très variable des différents

sols forestiers. Le simulateur de pluie de type SWANSON étant, du fait de sa taille, difficilement compatible avec les études extensives en zone forestière, il est décidé, sous l'impulsion de J.A. RODIER, d'utiliser le mini simulateur de pluie, nouvellement mis au point par ASSELINE et VALENTIN (1978), pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de ces différents sols. Cette étude débute fin 1977 et se termine, pour la Côte d'Ivoire, en 1981, par la mise au point d'une nouvelle méthode permettant d'évaluer de façon rapide, la crue décennale des petits bassins en zone forestière.

Parallèlement, pendant la saison sèche 1980-1981, une première tentative d'utilisation du simulateur, en zone sahélienne, à des fins hydrologiques, était faite sur deux bassins de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). Un essai de reconstitution, non seulement de la crue décennale, mais de l'ensemble des crues observées sur les bassins était fait à cette occasion.

Les résultats de ces deux études étant prometteurs, le Comité Technique d'Hydrologie décide d'étendre cette nouvelle technique à d'autres pays. De nouveaux simulateurs sont construits et des programmes de mesure développés au Cameroun (1982), au Congo, au Togo et en Tunisie (1983) et enfin au Niger et au Brésil (1984).

II. INTERET DES ETUDES SOUS PLUIES SIMULEES

Les nombreuses études réalisées jusqu'à présent dans le domaine des relations eau-sol (bassins versants, cases d'érosion, bilans hydriques des sols, etc...) se heurtent à quatre problèmes :

- un problème d'analyse des paramètres entrant en jeu dans les processus d'infiltration et de ruissellement. Du fait de leur nombre et de leurs interactions, il est difficile, sous pluies naturelles, de mettre en évidence le rôle respectif de ces différents paramètres. Le simulateur de pluie, qui permet de fixer à volonté les caractéristiques des averses (intensité, durée, hauteur totale), l'état d'humectation des sols par des arrosages successifs, de tester différents types de sols, d'état de surface, de couvertures végétales ou de pentes, autorise une analyse beaucoup plus fine des phénomènes ;

- un problème de durée des études : Pour obtenir un résultat fiable sous pluies naturelles, il est nécessaire de prolonger les mesures sur plusieurs années, surtout en zone sahélienne où les pluies sont rares et irrégulières. Les mesures sous pluies simulées permettent de réduire de façon très sensible la durée des études pour un résultat d'une précision sensiblement égale, sinon supérieure dans

certaines domaines, à celle des mesures classiques. A titre d'exemple, en zone forestière, la détermination de la crue décennale demande au minimum deux à trois années de mesures sur bassin versant et seulement un mois et demi à deux mois pour une campagne de simulation et une cartographie pédologique sommaire ;

- un problème d'extension spatiale des résultats. Du fait de leur durée, les mesures classiques ne sont effectuées que sur un petit nombre de sites. Les mesures sous pluies simulées beaucoup plus rapides permettent pour un même investissement de tester un nombre de sites bien plus élevé. De plus alors que l'extrapolation des résultats était faite, le plus souvent à partir des unités cartographiques fondées sur une classification morphogénétique des sols, les mesures sous pluies simulées ont permis de mettre en évidence, qu'en zone soudano-sahélienne, seule la cartographie fine des états de surface permet une extrapolation fiable des résultats acquis sur parcelles, au moins à l'échelle de l'unité morphostructurale ;

- un problème d'expérimentation : Les mesures d'infiltration ont pratiquement toujours été réalisées à l'aide de techniques interdisant le ruissellement (Müntz, Pioger ...) qui ne tiennent pas compte des réorganisations superficielles et sont donc très éloignées de la réalité physique des phénomènes. Les études sous pluies simulées ont déjà montré que les valeurs d'intensité d'infiltration ne peuvent être déduites de tests infiltrométriques de type Müntz ; en effet, non seulement les valeurs ne sont pas du même ordre de grandeur, mais elles ne correspondent même pas au même classement, les réactions de la surface du sol à l'impact des gouttes de pluie n'étant pas les mêmes que pour l'apport d'une épaisse lame d'eau. Ce sont les réorganisations superficielles provoquées par la pluie qui conditionnent très souvent l'infiltration, particulièrement dans les zones semi-arides où les sols pauvres en matière organique, présentent les instabilités structurales les plus fortes.

III. OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET FINALITES EN TERME DE DEVELOPPEMENT DES ETUDES SOUS PLUIES SIMULEES

Comme nous le verrons au cours de cette journée, la technique des pluies simulées a de multiples applications. Les principaux objectifs scientifiques du programme sont :

- L'analyse du rôle des différents facteurs influençant le ruissellement, l'infiltration et "l'érosion" (Pluie, sol ou état de surface, état d'humectation du sol, couverture végétale, pratiques culturales etc...).

- La détermination des crues de fréquence rare, particulièrement les crues décennales, très fréquemment utilisées pour le dimensionnement d'ouvrages d'art, par une méthode plus rapide et moins onéreuse que celle des bassins versants représentatifs.

- L'étude de la genèse des crues. La détermination sous pluies simulées, des caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sols ou d'état de surface, doit permettre de mieux comprendre comment se fait la composition des écoulements des différentes zones d'un bassin et, par là, de mieux cerner les processus de genèse des crues.

- L'étude des lois théoriques de l'infiltration.

Il existe à l'heure actuelle un grand nombre de formules permettant théoriquement de calculer l'infiltration. Il s'avère en réalité que la majeure partie de ces formules, mises au point en laboratoire, sont inapplicables dans la réalité. Le simulateur de pluie, qui permet de maîtriser les caractéristiques de la pluie, couplé à des mesures d'humidité du sol (sondes à neutrons, chocs thermiques, tensiomètres) paraît être un instrument privilégié de l'étude au champ de lois théoriques de l'infiltration et du ressuyage.

- Le calage de modèles mathématiques permettant d'étudier les ressources en eau des petits bassins versants.

Les modèles mathématiques développés par le Service hydrologique donnent des résultats très satisfaisants à condition de pouvoir les caler sur des valeurs réellement observées. Cela suppose souvent plusieurs années d'études de terrain intensives et rend très difficile la transposition de ces modèles à des bassins n'ayant fait l'objet d'aucune étude. Une des voies de recherche les plus importantes du simulateur nous paraît être d'essayer de caler ces modèles uniquement à partir des caractéristiques déterminées à l'aide du simulateur, ce qui réduirait les mesures de terrain à 1 ou 2 mois et permettrait une utilisation beaucoup plus étendue de ces modèles.

- Etude des réorganisations superficielles des sols, dont les mesures sous pluies simulées ont montré l'importance primordiale sur l'infiltration en zone soudano-sahélienne et sub-désertique.

- Etude des stocks hydriques des sols et donc des possibilités d'alimentation en eau des plantes. Calage de modèles agroclimatologiques à partir des lames d'eau réellement infiltrées et non de la pluie.

- Etude de l'efficacité des dispositifs destinés à se prémunir contre la formation de pellicules de battance favorisant ainsi l'infiltration utile aux cultures.

- Détermination des intensités limites de ruissellement en fonction de la nature du sol et de son état d'humectation,

permettant ainsi de maintenir une irrigation par aspersion en dessous du seuil de déclenchement du ruissellement.

- Etude de l'érodibilité des sols. Bien que la longueur des parcelles ne permette pas de prendre en compte le facteur pente, très important dans les phénomènes d'érosion, le mini-simulateur permet cependant de chiffrer la détachabilité des différents sols et peut donc servir de test à l'érodibilité des sols.

On peut constater à l'énumération des objectifs scientifiques de ce programme, l'intérêt vital que ses implications hydrologiques, pédologiques ou agronomiques ont pour les pays en voie de développement.

Nous allons essayer de montrer au cours de cette journée qu'une partie non négligeable de ces objectifs a déjà été atteinte.

PRINCIPALES PUBLICATIONS

- ALBERGEL (J.), TOUIRI (H.) - 1982 - Un nouvel outil pour estimer le ruissellement sur un petit bassin versant : le mini-simulateur de pluie. Expérimentation sur le bassin de BINNDE. ORSTOM, Ouagadougou, 117 p., 28 fig.
- ALBERGEL (J.) - 1983 - Estimation de la lame ruisselée sur un petit bassin versant à partir des pluies simulées. Notes et documents voltaïques. CNRST Ouagadougou, 14, 1, pp. 16-28.
- ALBERGEL (J.) ; BERNARD (A.) - 1984a - Calage du modèle simulateur. Prévision de la crue décennale sur le bassin versant de BINNDE. ORSTOM Ouagadougou, 50 p., 15 fig.
- ALBERGEL (J.) ; BERNARD (A.) - 1984b - Etude des paramètres hydrodynamiques des sols sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin versant de KAZANGA. ORSTOM Ouagadougou, 79 p., 25 fig. + annexes.
- ALBERGEL (J.) ; CASENAVE (A.) - 1984 - Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des petits bassins versants : les études sous pluies simulées. CIEH. Douzième réunion du Conseil des Ministres. Yaoundé, 20-25 février 1984. Comptendu des journées techniques, pp. 515-525.

- ASSELIN (J.) - 1981 - Notice Technique. Construction d'un infiltromètre à aspersion. ORSTOM Adiopodoumé, 26 p., 30 fig.
- ASSELIN (J.) ; VALENTIN (C.) - 1978 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XV, 4, pp. 321-349.
- CASENAVE (A.) - 1981 - Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Rapport final. CIEH-ORSTOM Adiopodoumé, 59 p., 6 fig..
- CASENAVE (A.) - 1982 - Le mini-simulateur de pluie : conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp. 207-227.
- CASENAVE (A.) - 1982 - Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique Tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp. 229-252.
- CASENAVE (A.) ; GUIGUEN (N.) - 1978 - Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de sols forestiers. Campagne 1977 - CIEH-ORSTOM Adiopodoumé, 62 p., 32 fig. + annexes.
- CASENAVE (A.) ; GUIGUEN (N.) ; SIMON (J.M.) - 1979 - Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Campagne 1978. CIEH-ORSTOM Adiopodoumé, 51 p., 34 fig. + annexes.
- CHEVALLIER (P.) - 1982 - Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi - Haute Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp. 253-297.
- COLLINET (J.) ; VALENTIN (C.) - 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVII (4) : 283-328, 26 fig., 16 tabl., 27 réf..
- COLLINET (J.) ; VALENTIN (C.) - 1979 - Un schéma des interrelations hydrodynamiques dans les milieux naturels et cultivés, valorisation des données morphologiques, *in* : Informatique et Biosphère : actes du Colloque d'Abidjan : 155-177, 5 tabl., 10 fig., 13 réf..

- COLLINET (J.) ; VALENTIN (C.) - 1982 - Effects of rainfall intensity and soil surface heterogeneity on steady infiltration rate. XII Cong. Int. de Sci. du Sol, New Delhi, février 82, 10 p., 2 fig., 13 réf..
- COLLINET (J.) ; VALENTIN (C.) - 1983 - Field studies on erosion in Western Africa using rainfall simulators. A review of ORSTOM works. Int. Conf. on Soil Erosion and Conservation, 16-22 janvier 1983, Honolulu (E.U.), poster : 3 tabl., 27 photos, 7 réf..
- COLLINET (J.), VALENTIN (C.) - 1984 - Evolution of water erosion factors in Western Africa using rainfall simulator. Article soumis à publication in : Int. Symp. on Challenges in African Hydrology and water Resources. HARARE - ZIMBABWE, 23-27 juillet 1984. ORSTOM, Adiopodoumé, 16 p., 6 tabl., 3 fig., 17 réf. biblio., muligr..
- GERAEDTS (J.) ; CASENAVE (A.) ; SIMON (J.M.) - 1981 - Etude des caractéristiques hydrodynamiques de sols tropicaux à l'aide d'un simulateur de pluie. ORSTOM Adiopodoumé, 16 p., 5 fig. + annexes.
- HUNINK (J.A.) ; CASENAVE (A.) ; SIMON (J.M.) - 1980 - Study of hydrological characteristics of forest soils with the aid of a rain simulator. ORSTOM Adiopodoumé, 44 p., 20 fig.
- POSS(R.) ; FORGET (A.) ; SARAGONI (H.) - 1984 - Quelques propriétés physiques et hydrodynamiques des terres de barre. Etude des sols de la Station Agronomique de Davié. ORSTOM, Lomé, 32 p., 13 réf., 13 tabl., 17 fig.
- POUYAUD (B.) ; CHEVALLIER (P.) ; VALENTIN (C.) - 1980 - Notice d'utilisation de l'humidimètre à chocs thermiques, 16 p.
- RUIZ FIGUEROA (J.F.) 1983 - Les micro-organisations pelliculaires superficielles formées sous pluie simulée sur des sols ferrallitiques de savane (Centre Nord de la Côte d'Ivoire). Comportement hydrodynamique et mécanique de ces pellicules de battance en relation avec la texture, la couverture du sol, et la levée du riz pluvial. Thèse de Docteur-Ingénieur, soutenue le 9 septembre 1983, à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 167 p., 21 tabl., 36 fig..

- RUIZ FIGUEROA (J.F.) ; VALENTIN (C.) - 1983 - Effects of various types of cover on soils detachment by rainfall. 22 p., 4 tabl., 2 fig., 19 réf.. Communication présentée au 3ème Colloque BENELUX sur les processus géomorphologiques, Liège, 12-17 septembre 1983.
- VALENTIN (C.) - 1978 - Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. *in* Actes du Colloque : "Erosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen". Strasbourg-Colmar, 20-23 septembre 1978. Univ. de Strasbourg-INRA : pp. 117-122, 4 fig., 2 tabl..
- VALENTIN (C.) - 1981 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de region sud-désertique (Agadez-Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie de l'eau. Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. Paris VII, 229 p., 43 fig., 22 tabl., 472 réf., 2 annexes, 67 photos, Collection Etudes et Thèses de l'ORSTOM.
- VALENTIN (C.) ; HUMBEL (F.X.) - 1983 - Water-induced sealing features in a alluvial soil from a sub-desertic area (Agadez -Niger). Int. Col. C.N.R.S. Petrology of weathering and soils. 4-7 juillet, 1983, Paris (France), poster : 3 tabl., 2 fig., 6 photos., 2 réf..
- VALENTIN (C.) - 1983 - Effects of grazing and trampling around recently drilled water holes on soil deterioration in the Sahelian zone. *in* : "Soil erosion and conservation". Soil Cons. Soc. Amer. : 51-65.