

# ETALONNAGE DE L'INTENSITE ET DE LA MICROPHYSIQUE DE LA PLUIE PRODUITE PAR UN SIMULATEUR DE PLUIE.

*Christian SALLES<sup>1</sup>, Patrick ANDRIEUX<sup>2</sup>, Jean/ASSELIN<sup>3</sup> et Philippe COHARD<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Hydrosociences – UMR 5569, case 056, 34095 Montpellier cedex 5

<sup>2</sup> INRA – UMR Science du Sol, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 2

<sup>3</sup> IRD – US Valpedo, B.P. 5045, 911, avenue Agropolis, 34032 MONTPELLIER cedex 1

<sup>4</sup> ISIM – Université Montpellier II, place Eugène Bataillon 34095 Montpellier cedex 5

**Mots clés :** *simulateur de pluie, érosivité, granulométrie, disdromètre, infiltration*

## INTRODUCTION

Les recherches visant à mieux appréhender les processus d'infiltration-ruissellement et/ou d'érosion hydrique des sols sont grandement simplifiées quand l'expérimentateur possède la maîtrise du facteur pluie. Le recours à des simulateurs de pluie (e.g. Leonard et Andrieux, 1998) laisse la possibilité de mener à bien les expériences avec une moindre dépendance vis à vis des événements hydrométéorologiques et permet une bonne reproductibilité des conditions expérimentales. Idéalement les simulateurs doivent produire des pluies pour lesquelles l'intensité couvre une gamme étendue et peut varier au cours du temps. Toutefois, il est impératif non seulement que l'intensité des pluies simulées soient représentative des pluies naturelles observées sur la région d'étude mais aussi que les propriétés microphysique soient semblables à celles de la pluie naturelle.

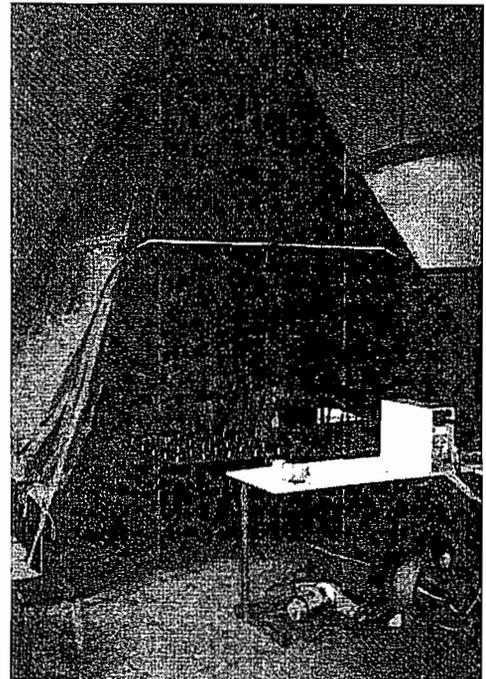
L'objectif de cette étude est de réaliser l'étalonnage du mini-simulateur de pluie mis au point par Asseline et Valentin (1978; 1984 ; Asseline, 1997) à l'aide du Spectro-Pluviomètre Optique (SPO) (Hauser et al., 1984 ; Salles et al., 1998; Salles et Poesen, 1999). L'étalonnage porte sur deux critères qui nous ont paru essentiels. i) L'intensité de pluie simulée doit être représentative des pluies mesurées sur la région d'étude. De plus, malgré la petite taille des surfaces aspersées (de l'ordre de quelques mètres carrés), il convient de produire une pluie dont l'intensité est spatialement uniforme tout en assurant une répartition aléatoire des points d'impacts des gouttes. ii) L'intensité ne peut être considérée comme seule caractéristique des pluies simulées. En effet une même intensité peut être obtenue avec des tailles de gouttes et des vitesses d'impact au sol extrêmement variées. La microstructure de la pluie doit être en conformité avec les observations en conditions naturelles disponibles. L'énergie cinétique de la pluie est capitale pour l'analyse de l'érosion et ne peut être négligée pour l'étude de l'infiltration. En conséquence, on accordera un poids important aux propriétés énergétiques de la pluie.

Dans la section suivante, nous décrivons le simulateur et le SPO. Les résultats et leur interprétation sont l'objet de la section 3. La dernière section fait un premier bilan sur les caractéristiques du simulateur.

## MATERIELS ET METHODES

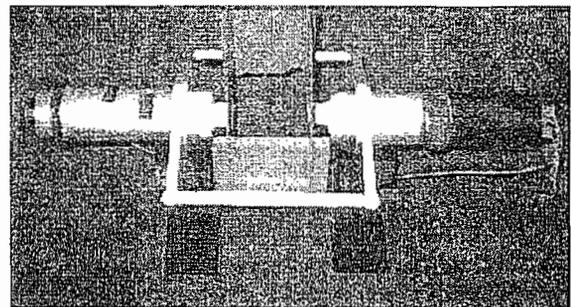
Le mini-simulateur (figure 1) a une structure pyramidale de 3.50 de haut. Le bras oscillant, sur lequel sont positionnés la tête électronique du simulateur et un gicleur, est fixé dans la partie supérieure de la structure. Le gicleur alimenté sous pression constante (0.55 bar) par une pompe. produit un filet d'eau plat en forme d'éventail. Grâce au balancement imprimé par le moteur, le gicleur arrose une surface de l'ordre de quelques m<sup>2</sup>. Lors des utilisations du simulateur, seule une surface de 1m<sup>2</sup> centrée sur la verticale du gicleur sert de zone de mesure, le pourtour arrosé jouant le rôle de zone de garde. La commande par ordinateur de la tête électronique permet d'agir sur l'angle et la vitesse de balancement. Le débit du gicleur est maintenu constant, en conséquence l'angle de balancement définit l'intensité de pluie sur le m<sup>2</sup>. La vitesse de balancement, réglable depuis la dernière évolution du mini-simulateur (Asseline, 1999), agit peu sur l'intensité, mais permet d'obtenir des pluies quasiment continues, sans un temps d'arrêt trop long entre chaque va et vient du bras. [Les valeurs mesurées avec la nouvelle tête électronique CAPELEC à la vitesse maximale de 360°/s sont: pour un angle de 45° soit 140 mm/h = 7 passages du gicleur par seconde; angle 78° soit 90 mm/h 4,7/s; angle 120° soit 60 mm/h 3/s; angle 231° soit 30 mm/h 1,7/s et angle 350° soit 20 mm/h 1,2/s.]

Les résultats reportés ici, sont issus de mesures effectuées dans un bâtiment couvert. La pression d'alimentation du gicleur (0.55 bar) a été maintenue constante tout au long des expériences. L'intensité de pluie et sa répartition spatiale ont été mesurées à l'aide d'un réseau de 25 pluviomètres répartis uniformément sur le  $m^2$ . Afin d'atténuer les perturbations sur la mesure dues aux rejaillissements, les "pluviomètres" furent disposés sur une grille et recouverts de mousseline. Le gicleur utilisé pour cette phase de calibration est un gicleur commercialisé par la société Spraying Systems (référence 210387, TP6560-SS). Trois angles de balancement furent sélectionnés afin de produire des intensités de l'ordre de 15, 30 et 90  $mm\ h^{-1}$ . Cette étalonnage fut aussi l'occasion de quantifier l'influence de la vitesse du balancement sur l'intensité et l'uniformité de la pluie. Les vitesses de balancement sélectionnées pour les expériences sont: 45, 150, 200, 300 et 360  $^{\circ}\ s^{-1}$ .



**Figure 1:** Le mini-simulateur avec le dispositif de caractérisation de la répartition spatiale de la pluie.

En complément avec les mesures de répartition sur la surface de  $1\ m^2$ , la mesure des propriétés microphysique de la pluie simulée fut réalisée par le SPO (figure 2). Cet appareil, dont les performances sont décrites par Salles et al. (1998) et Salles et Poesen (1999), permet la mesure en continu et en temps réel du diamètre et de la vitesse de chacune des gouttes de pluie qu'il détecte. Son principe de fonctionnement est basé sur l'atténuation de l'énergie lumineuse par les gouttes de pluie. Un faisceau lumineux parallélépipédique de section  $4\ x\ 15\ cm^2$  et de hauteur 1 cm est produit par une diode infra-rouge associée à un jeu de lentilles et un masque rectangulaire. Lorsque une goutte traverse le parallélépipède lumineux, l'énergie lumineuse focalisée sur une photodiode décroît en relation avec la section verticale de la goutte. La dimension (diamètre équivalent à la section verticale) de la goutte est déduite de l'amplitude de la variation d'énergie lumineuse et la vitesse est inversement proportionnelle à la durée de l'atténuation si l'on suppose que la goutte a traversé les deux faces horizontales du parallélépipède distantes de 1cm. La gamme de diamètre détectable par le capteur est de 0.3 à 5 mm, la gamme de vitesse est comprise entre 0.2 et 10  $m\ s^{-1}$ . Les informations stockées par le micro-ordinateur qui pilote le SPO sont: le diamètre, la vitesse et la date de passage de chacune des gouttes détectées.



**Figure 2:** Vue du Spectro-Pluviomètre Optique

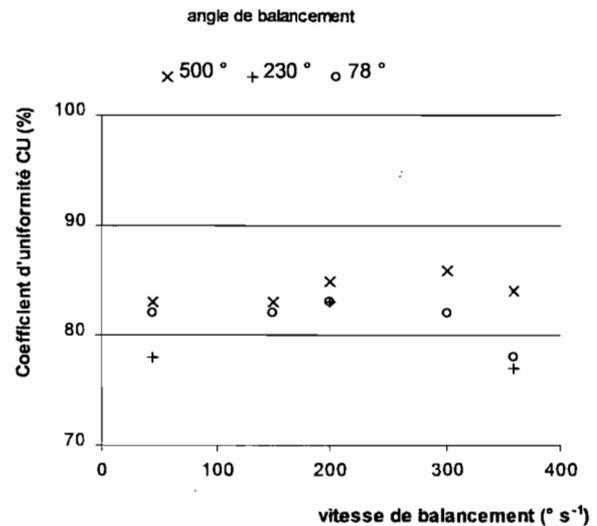
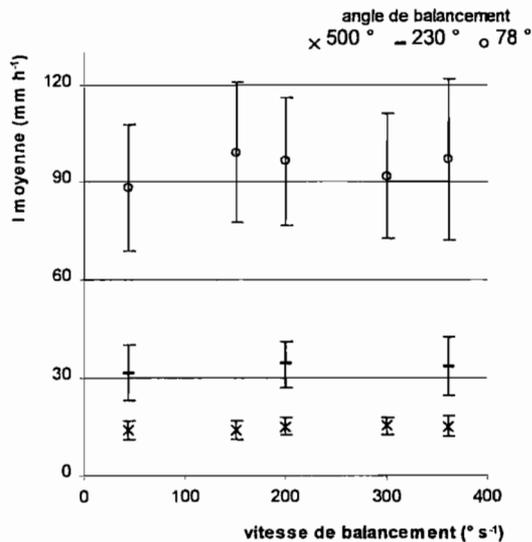
Conjointement aux mesures d'intensité à l'aide des pluviomètres, les propriétés microphysique ont été mesurées pour un maillage constitué de 15 points répartis sur  $1\ m^2$ . Une moquette absorbante a été disposée sur le sol afin d'atténuer les perturbations dues aux rejaillissements, Les informations retenues pour la discussion sont le diamètre volumique moyen ( $D_{50}$ ) représentatif de la distribution des tailles de gouttes et l'énergie cinétique (KE) indicatrice de la capacité érosive de la pluie.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### a. Intensité et répartition spatiale de la pluie

Afin de quantifier l'homogénéité de l'intensité de pluie sur le  $m^2$ , le coefficient d'uniformité (CU) défini par Christiansen (1942) a été retenu. CU est généralement considéré comme acceptable pour des valeurs de l'ordre de 80 à 90 pour cent (Neff, 1979). Au cours de la phase de mise au point du protocole expérimental, une comparaison de l'intensité moyenne de la pluie mesurée sur  $1\ m^2$  par le réseau de pluviomètres et par un bac de  $1\ m^2$  a démontré que la mesure distribuée de la pluie ne

différait pas de plus de 3% de la mesure globale par le bac. La moyenne de l'intensité des 25 pluviomètres sera donc considérée comme représentative de la quantité de pluie produite sur le  $m^2$ . La moyenne de l'intensité mesurée (I) en fonction de l'angle et de la vitesse de balancement sont reportés sur la figure 3a. Pour les 3 angles de balancement sélectionnés, 500, 230 et 78° les intensités moyennes correspondantes sont respectivement 15, 30 et 90  $mm h^{-1}$ . Les barres verticales reportées sur la figure 3a représentent l'écart type de I. Les résultats confirment la très faible sensibilité de l'intensité à la vitesse de balayage. Par contre, les résultats portés sur la figure 3b mettent en évidence un optimum de l'uniformité de la pluie pour des vitesses de balayage de l'ordre de 200 à 300  $^{\circ} s^{-1}$  et ceci quelque soit l'angle du balayage. Cependant, il convient de préciser que malgré des ordres de grandeur de CU de 80%, la pluie mesurée sur le  $m^2$  varie du simple au double selon que l'on se situe au centre ou à la périphérie de la surface de 1  $m^2$ .



**Figure 3a:** Intensité moyenne en fonction de l'angle de balancement et des vitesses de balancement. **Figure 3b:** Coefficient d'uniformité de la pluie en fonction de l'angle et des vitesses de balancement.

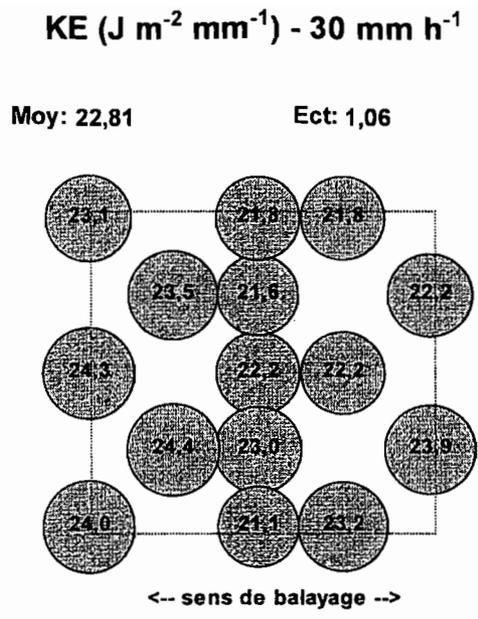
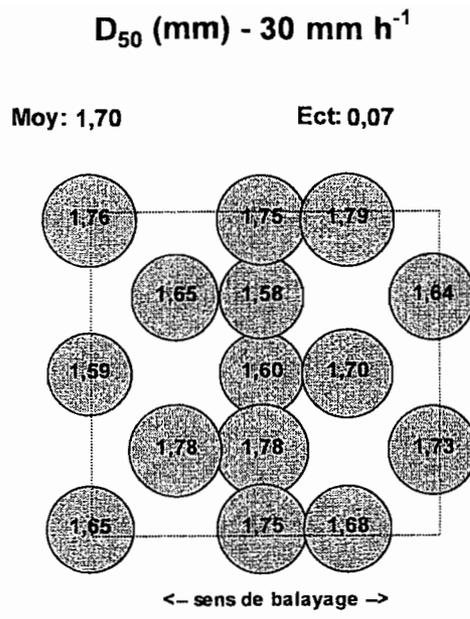
### b. Diamètre volumique moyen et énergie cinétique des pluies simulées

A titre d'exemple, les répartitions spatiales du diamètre volumique médian des gouttes et de l'énergie cinétique de la pluie sont tracées sur les figures 4a et 4b. Les valeurs reportées ici, ont été obtenues pour un angle de balancement de 230° et une vitesse de balancement de 200°/s, soit une intensité moyenne de l'ordre de 30  $mm h^{-1}$ . Le trait pointillé reporté sur les figures délimite la zone de mesure de 1  $m^2$ .

Le diamètre volumique médian ( $D_{50}$ ) varie de 1.6 à 1.8 mm. La répartition des valeurs de  $D_{50}$  concorde cependant avec les observations de Panini et al. (1993). La dimension des gouttes va en augmentant lorsqu'on se déplace du centre vers la périphérie de la surface aspersée. Cependant, le balancement n'affecte pas la granulométrie des gouttes puisqu'une certaine stationnarité de  $D_{50}$  en se déplaçant dans les sens du balayage est constatée.

L'analyse de la répartition de l'énergie cinétique (KE) inspire des commentaires identiques. KE est plus forte aux extrémités du pinceau de pluie. Cependant, le bilan général est positif puisque les coefficients d'uniformité de  $D_{50}$  et KE, calculés comme décrit en (1), restent toujours supérieurs ou égaux à 0.92.

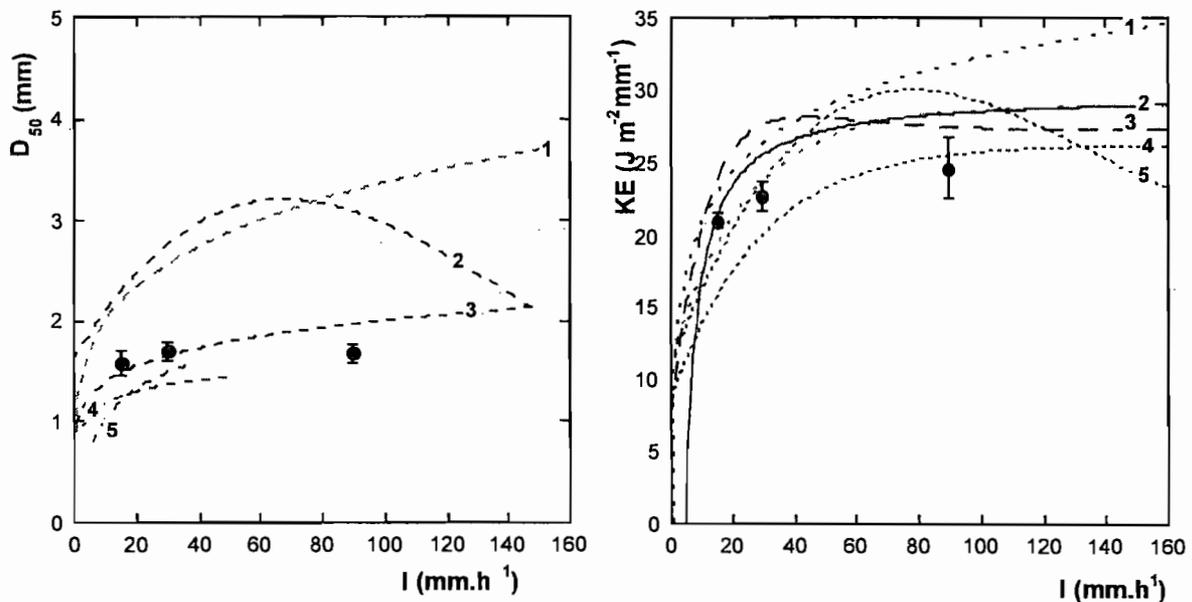
On observe une répartition spatiale relativement homogène des propriétés microphysique des pluies simulées. Les fluctuations sur le  $m^2$  confirment les résultats déjà constatés avec des simulateurs à base de gicleur.



**Figure 4a:** Répartition du diamètre volumétrique médian sur le m<sup>2</sup> d'étude      **Figure 4b:** Répartition de l'énergie cinétique sur le m<sup>2</sup> d'étude

Les résultats portés ici correspondent à une vitesse de balancement du bras de 200°/s et un angle de balancement de 230°. (La taille des bulles est proportionnelle à la valeur mesurée et leur centre coïncide avec le point de mesure)

La moyenne de D<sub>50</sub> et KE sur le m<sup>2</sup> en fonction de l'intensité moyenne sont reportés sur les figures 5a et 5b. Les zones grisées sur les figures 5ab sont données par Salles et Poesen (2000) et couvrent les relations empiriques constatées entre KE et I et D<sub>50</sub> et I lors de pluie naturelles sous diverses latitudes. Pour 15 et 30 mm h<sup>-1</sup>, les caractéristiques de la pluie simulées sont comparables avec celles des pluies naturelles. Pour la plus forte valeur d'intensité considérée, soit 90 mm h<sup>-1</sup>, les valeurs simulées sont à la limite basse des valeurs observées sous pluie naturelle.



**Figure 5:** Comparaison des D<sub>50</sub> et KE obtenus pour les intensités simulées avec la gamme des relations D<sub>50</sub>-I et KE-I observées dans des conditions naturelles sous divers climats et types de pluie. (d'après Salles et Poesen, 2000). Les valeurs obtenues avec le mini-simulateur IRD sont représentées par les points ●.

Cet écart doit être attribué essentiellement au fait que la granulométrie de la pluie simulée est trop fine par rapport aux granulométries observées en conditions naturelles pour de telles intensités. C'est le mode de fonctionnement du simulateur qui en est responsable. La variation d'intensité est due à l'étendue de la surface arrosée (i.e. l'angle de balancement). Les mesures (fig. 5a) ont démontré que D<sub>50</sub> n'évolue pas assez rapidement avec l'angle de balancement, en conséquence

l'énergie cinétique subit la même défaillance. Une augmentation de  $D_{50}$  peut être obtenue par une baisse de la pression d'alimentation du gicleur, mais cela remettrait en cause la largeur du jet, l'intensité de la pluie et surtout son uniformité.

## CONCLUSIONS

Parmi les points positifs relatifs à l'étalonnage du simulateur on retiendra:

i) Le simulateur est capable de générer une large gamme d'intensités représentative des valeurs observées dans nos régions.

ii) La nouvelle tête électronique CAPELEC permet à l'expérimentateur de faire varier l'intensité pendant un essai et réduit les effets d'intermittence de la pluie (8 fois plus de passages/minute).

iii) L'émergence d'un optimum entre vitesse de balayage et uniformité de la pluie a été démontré.

iv) L'énergie cinétique des pluies simulées est proche des valeurs observées sous pluies naturelles et reste relativement uniforme sur la zone d'étude.

Les critiques que l'on peut faire portent sur:

i) Le manque d'uniformité de la pluie sur la surface d'étude.

ii) L'intermittence de l'arrosage pour les faibles valeurs de l'intensité de pluie. Malgré, les améliorations dues au réglage de la vitesse de balancement, l'intermittence de l'arrosage reste considérable, en particulier pour les faibles intensités inférieures à  $25-30 \text{ mm h}^{-1}$ .

iii) La difficulté à produire des fortes intensités avec des granulométries en rapport avec les pluies naturelles.

En s'appuyant sur les mesures pluviométriques et sur les mesures du SPO nous avons pu qualifier le mini-simulateur sur la valeur de deux critères: l'intensité de la pluie et sa microphysique.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Gwenn Trotoux pour son aide lors des mesures et Jean Paul Luc, Professeur à l'UFR Génie des Equipements-Génie Rural de l'ENSA-Montpellier, pour la mise à disposition d'un hall expérimental couvert et l'infrastructure qui nous ont permis de réaliser cette expérimentation. Ce travail a été réalisé en collaboration avec le projet PNRH-RIDES coordonné par A.V. Auzet.

## REFERENCES

- ASSELIN, J. , 1997. Le simulateur de pluies type ORSTOM adapté aux zones arides. *Bull. Réseau Erosion*, 17: 272-281.
- ASSELIN, J. AND C. VALENTIN , 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM XV(4)*: 321-349.
- ASSELIN J., 1984. Particularités du nouvel infiltromètre à aspersion construit à Gabès. *Dir. des sols, Tunis*, 16 pp.
- CHRISTIANSEN, J. E. , 1942. Irrigation by sprinkling. *Univ. California Agric Exp Station Bulletin*: 670.
- COHARD, PH., Utilisation d'un Spectro Pluviomètre Optique dans le cadre de la calibration d'un simulateur de pluie. Mémoire de Projet Industriel de Fin d'Etude, ISIM, filière Sciences et Techniques de l'Eau, Montpellier, 22 p. + annexes.
- HAUSER, D., P. AMAYENC, B. NUTTEN AND P. WALDTEUFEL , 1984. A new optical instrument for simultaneous measurement of raindrop diameter and fall speed distributions. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1(3): 256-269.
- LEONARD, J., AND P. ANDRIEUX, 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in Southern France. *Catena*, 32: 209-223.
- NEFF, E. L., 1979. Proceedings of the rainfall simulator Workshop. Rainfall simulator Workshop, Tucson, Arizona, March 7-9, 185 pp.
- PANINI, T., M. P. SALVADOR SANCHIS AND D. TORRI , 1993. A portable rain simulator for rough and smooth morphologies. *Quaderni di scienza del suolo*, V: 47-58.
- SALLES, C., J. D. CREUTIN AND D. SEMPERE-TORRES , 1998. The Optical Spectro Pluviometer revisited. *J. Atm. Oceanic Techn.*, 15(5): 1215-1222.
- SALLES, C. AND J. POESEN , 1999. Performance of an Optical Spectro Pluviometer in measuring basic rain erosivity characteristics. *J. Hydrology*, 218(3-4): 142-156.
- SALLES C. AND J. POESEN, 2000 Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrological Processes*, 14(2): 271-282.

INSU

BRGM

CEMAGREF

CIRAD

CNES

CNRS/SPI

INRA

IRD

LCPC

METEO FRANCE

*Colloque*  
**PNRH 2000**

**PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE EN HYDROLOGIE**

Centre International de Conférences/METEO-FRANCE  
42, avenue Coriolis – 31 057 Toulouse Cedex

16-17 Mai 2000