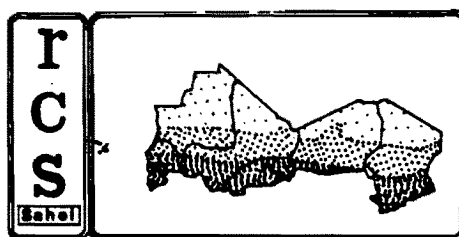


CRISTOM



Atelier de Formation aux Techniques d'Etude de l'eau dans le système Sol - Plante - Atmosphère

Mbour, 30 Novembre - 10 Décembre 1992

Cours d'hydrologie n°3

La simulation de pluie et l'étude des processus hydrologiques à l'échelle de la parcelle

Par Jean Albergel & Alain Bernard

INTRODUCTION

Un simulateur de pluie est un appareil qui reproduit, sur une surface réduite, une averse dont les paramètres physiques sont les plus proches de ceux observés dans la nature : hauteur, intensité, énergie cinétique des gouttes de pluie, répartition de la lame précipitée au sol.

Utilisé en sciences de la terre, il sert à caractériser les propriétés hydrodynamiques d'un sol et ses modifications de surface : érodibilité, battance, ruissellement.

Si plusieurs techniques ont été utilisées pour la réalisation d'un tel système, LE MINI SIMULATEUR DE PLUIE ORSTOM présente les avantages suivants :

- reproduction fiable d'une averse de type tropical ou de type orageux à intensité variable sur une parcelle de 1 m²;
- utilisation et maniabilité très bonnes dues à des dimensions réduites et à l'automatisation de ses principales fonctions ;
- dérivant d'un prototype ayant servi depuis 1980 dans de nombreuses campagnes de terrain pour des objectifs scientifiques variés et sous des climats différents : Afrique Tropicale et Equatoriale, Afrique Méditerranéenne, Amérique Latine, France, il répond aux exigences d'expérimentations dans les conditions les plus variées et les plus complexes.

La mise au point de ce simulateur de pluie de seconde génération a été décidée sur les principes suivants :

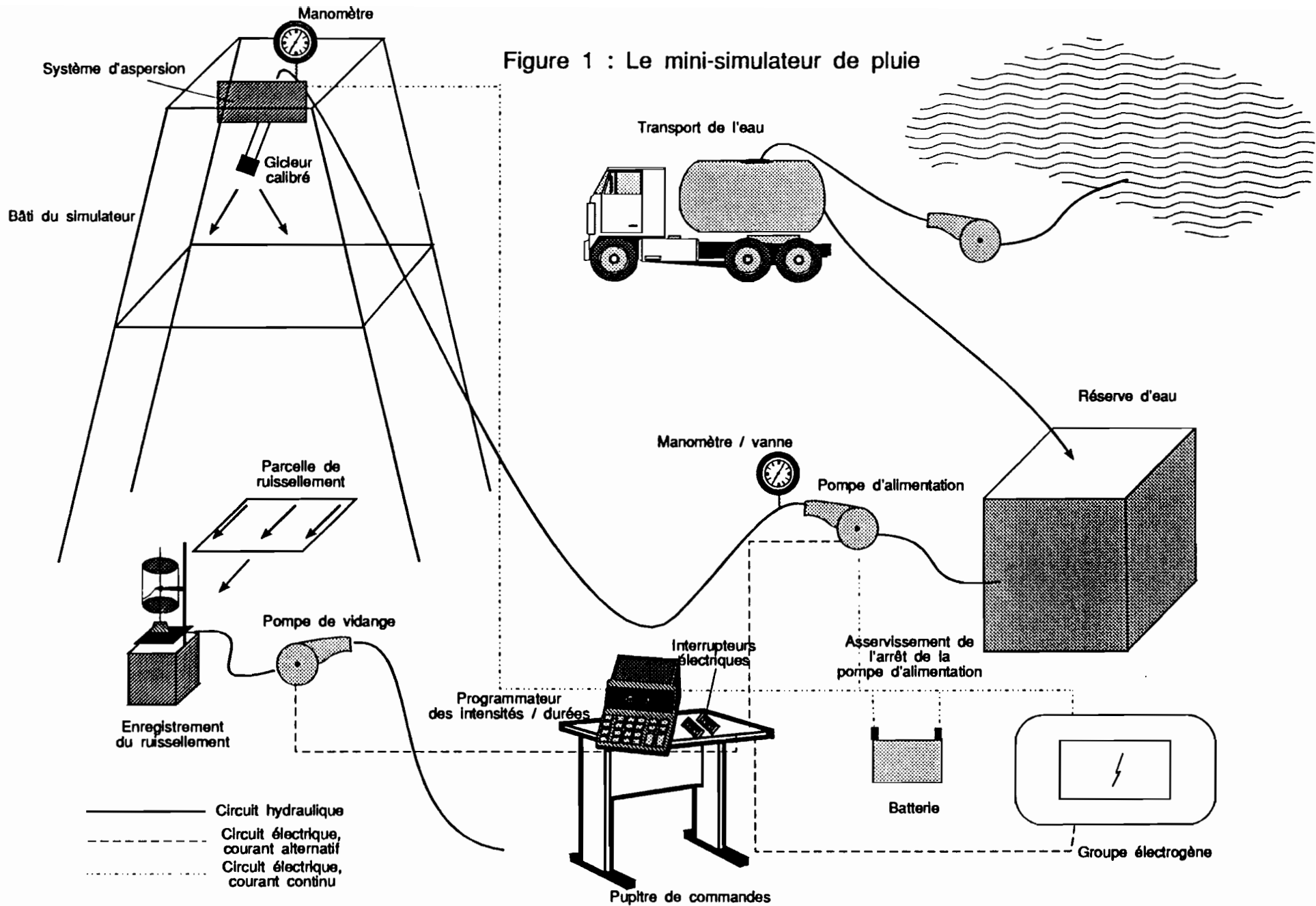
- conserver l'idée de produire une averse artificielle à intensité variable sur une parcelle de 1 m², en faisant varier la surface arrosée au sol à l'aide d'un gicleur calibré monté sur un bras oscillant,
- chercher à obtenir un balayage à vitesse constante,
- faciliter l'utilisation de cet outil en automatisant ses principales fonctions, et en réduisant ses dimensions,
- améliorer ses capacités en élargissant les gammes d'intensités produites, surtout vers les faibles valeurs.

L'utilisation d'un moteur «Hybride» pas à pas piloté par un microprocesseur s'est avérée comme la solution qui permet de simplifier au maximum les parties mécaniques nécessaires pour obtenir la cinétique voulue.

Ce matériel dont les organes électroniques dérivent des technologies de pointe est d'une fiabilité supérieure aux systèmes entièrement mécaniques même en conditions tropicales.

1. Le mini-simulateur de pluie, Type ORSTOM (figure 1)

Il s'agit d'une tour en forme de tronc pyramidal en tubes carrés démontable et suffisamment légère pour être transportée par quatre hommes (100kg environ) protégée du vent par des bâches plastiques.



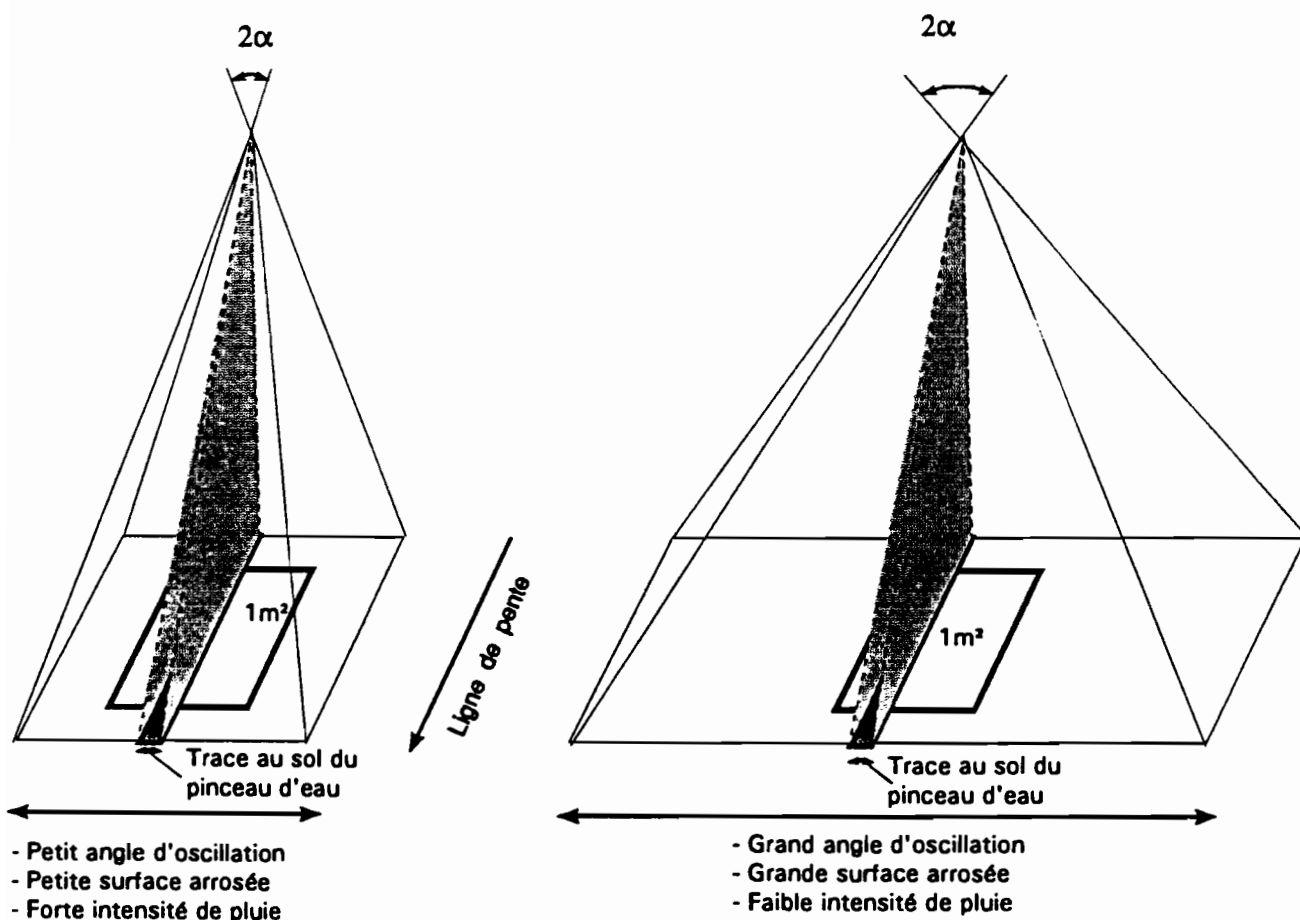
La surface au sommet est un rectangle de 2.0 m sur 1.40 m, la base occupe une surface au sol de 4.0 m sur 2.8 m. La hauteur est de 4.10 m. Ce bâti est fixé au sol par des haubans.

Au sommet de la tour est fixé le système d'aspersion composé d'un moteur, "hybride", pas à pas piloté par un microprocesseur actionnant un bras oscillant sur lequel est monté un gicleur calibré qui arrose la parcelle et son voisinage suivant un faisceau plan parallèle à la ligne de plus grande pente (figure 2). En modifiant l'angle de balayage du gicleur, on fait varier la surface de sol arrosée et donc la quantité d'eau reçue par la parcelle de 1 m² à l'aplomb du système. Le réglage de l'intensité de la pluie se fait par modification de l'angle d'oscillation qui est programmable entre 2° et 360°. Lorsque l'on programme un angle supérieur à 180°, le gicleur s'arrête en position horizontale le temps qu'il mettrait pour poursuivre sa course jusqu'à l'angle programmé. La gamme des intensités possibles varie de 20 à 140 mm/h. Il est ainsi possible de programmer le hétérogramme d'une averse; on affiche le nombre de séquences de l'averse, pour chaque séquence on affiche sa durée et l'angle d'oscillation du gicleur. Une table de correspondance (figure 3) donne l'intensité en fonction de l'angle d'oscillation mais un étalonnage avant chaque expérimentation est conseillé.

L'alimentation en eau du gicleur est réalisée par une pompe électrique dont l'arrêt en fin de pluie est asservi au microprocesseur. La pression d'eau, visualisée sur un manomètre au sommet de la tour, est réglable à tout moment par une vanne en aval de la pompe d'alimentation.

L'alimentation électrique (220 v et 12 v) est fournie par un groupe électrogène et des batteries en tempon. Un système d'éclairage permet l'expérimentation de nuit. Toutes les commandes électriques sont regroupées dans une armoire qui permet le démarrage ou l'arrêt instantané d'un appareil ou d'un éclairage.

Figure 2 : Principe du réglage des intensités



L'énergie cinétique des gouttes de pluies ($1/2 mv^2$) dépend de la masse m et de la vitesse d'impact des gouttes de pluies. Valentin (1981) démontre que la composante tangentielle de la vitesse donnée par le mouvement de balayage de l'asperseur est annulée avant l'arrivée des gouttes au sol et que les gouttes ne sont soumises qu'aux forces de pesanteur et résistance de l'air. Pour déterminer le diamètre des gouttes de pluie, Valentin (1981) a utilisé la méthode proposée par Bentley (1904) qui consiste à recueillir les gouttes de pluie dans un bac de farine. Les agrégats qui se forment sont tamisés et se répartissent en plusieurs classes de tailles. La buse du gicleur choisie est celle qui a donné la répartition la plus proche de celle obtenue sur un ensemble d'averses naturelles tropicales observées à Adiopodoumé près d'Abidjan.

La parcelle est constituée d'un cadre métallique de 1 m de côté que l'on enfonce dans le sol. Le côté perpendiculaire à la ligne de plus grande pente est percée d'une rangée de trous qui permettent de recueillir le ruissellement dans une goulotte.

Le ruissellement est recueilli dans une cuve de 0.1 m^2 de section afin qu'un cm d'élévation du niveau d'eau représente un millimètre de ruissellement. Cette cuve est surmontée d'une table à pieds réglables supportant un limnigraphe de précision à déroulement horaire qui permet d'apprécier les hauteurs ruisselées au dixième de mm et le temps à 10 secondes près.

Dans l'anneau de garde, autour de la parcelle, des dispositifs du suivi de l'infiltration peuvent être installés : tube de sonde à neutrons, tensiomètres ...

Sur le cadre de la parcelle peut se fixer un bac à fond plein de même dimension permettant de recueillir la totalité de la pluie et de caler les intensités des pluies moyennes sur le mètre carré. Cette opération est appelée étalonnage des intensités de la pluie. La surface de l'anneau de garde est également protégée de la pluie pendant l'étalonnage.

2. Calcul théorique de la hauteur d'eau précipitée en chaque point de la parcelle

Pour étudier la répartition des hauteurs précipitées au sol durant un pas de temps où l'intensité de la pluie est constante on part de l'équation du mouvement du gicleur et du débit émis par ce gicleur. Le mouvement donné au gicleur par le moteur pas à pas est de type sinusoïdal (fig. 3) :

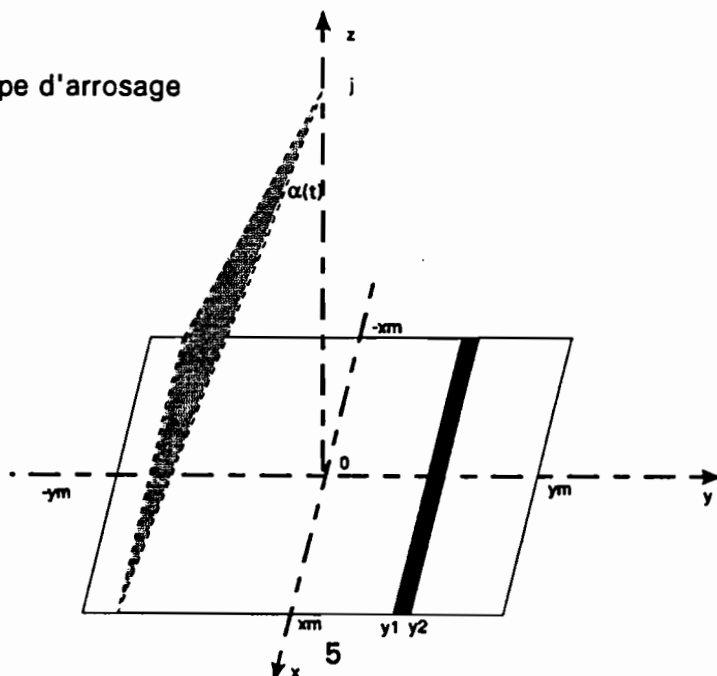
$$\alpha(t) = \alpha_m \sin \omega t \quad (1)$$

où $\alpha(t)$ est l'angle du plan du jet avec le plan vertical oxz à l'instant t (rd)

α_m est l'amplitude maximum restant constante pendant une phase opératoire (rd)

ω est la vitesse de rotation uniforme du moteur (rd/s)

Figure 3 : Principe d'arrosage



La quantité d'eau reçue par la bande hachurée entre y_1 et y_2 est :

$$Q_{y_1 y_2} = \int_{t_1}^{t_2} q dt \quad (2)$$

où $Q_{y_1 y_2}$ est la quantité d'eau reçue par la bande $[y_1 y_2]$ (m^3)
 q est le débit du gicleur (constant) ($m^3 s^{-1}$)
 t_i est l'instant de passage du jet sur y_1 (s)

$$\text{or } y_t = H \operatorname{tg} \alpha(t) \quad (3)$$

où $H = OJ$ hauteur du gicleur (m)

en utilisant l'équation (1) :

$$y_t = H \operatorname{tg} (\alpha_m \sin \omega t)$$

$$\alpha_m \sin \omega t = \operatorname{Arctg} \frac{y_t}{H} \quad (4)$$

l'expression exacte de t en fonction de y_t s'écrit alors :

$$t = \frac{1}{\omega} \operatorname{Arcsin} \left(\frac{1}{\alpha m} \operatorname{Arctg} \frac{y_t}{H} \right) \quad (5)$$

l'équation (1) s'intègre alors aisément (q constant) et donne :

$$Q_{y_1 y_2} = q \frac{1}{\omega} \left(\operatorname{Arcsin} \left(\frac{1}{\alpha m} \operatorname{Arctg} \frac{y_2}{H} \right) - \operatorname{Arcsin} \left(\frac{1}{\alpha m} \operatorname{Arctg} \frac{y_1}{H} \right) \right) \quad (6)$$

Q en m^3 , q en $m^3 s^{-1}$, ω en $\text{sr} d^{-1}$ et αm en rd

l'équation (6) donne sur toute la surface arrosée de $-y_m$ à y_m :

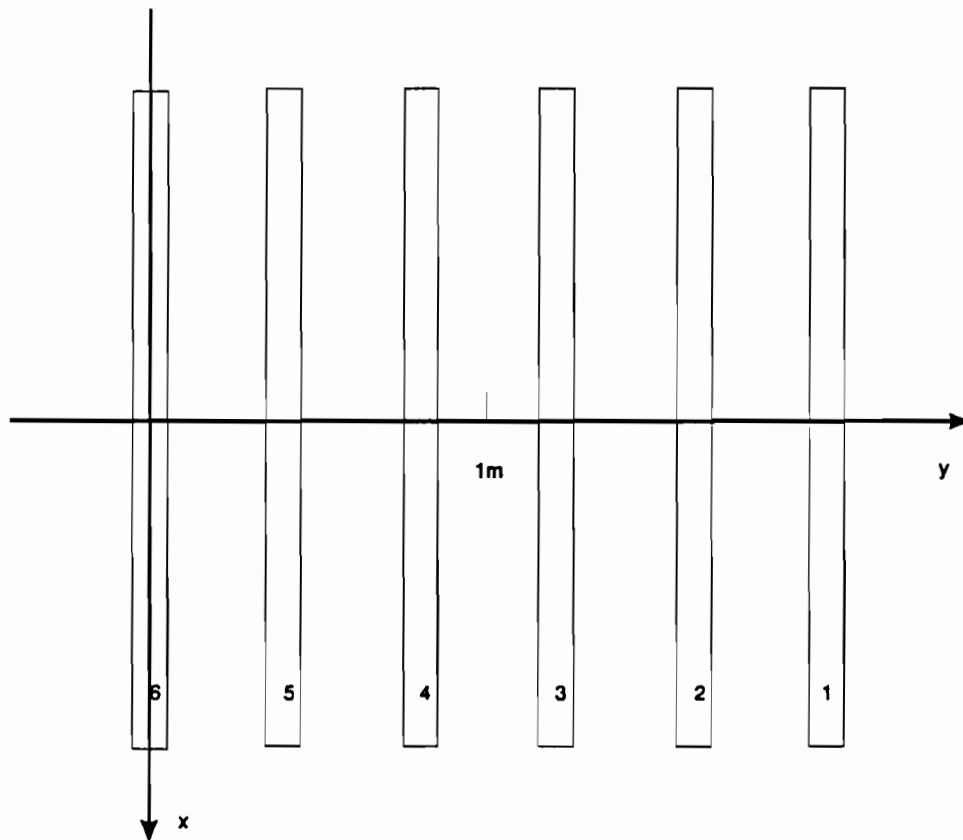
$$Q_{-y_m y_m} = q \frac{1}{\omega} \left(\operatorname{Arcsin} \left(\frac{\alpha m}{\alpha m} \right) - \operatorname{Arcsin} \left(\frac{-\alpha m}{\alpha m} \right) \right)$$

$$Q_{-y_m y_m} = q \frac{1}{\omega} \pi = q \frac{T}{2} \quad (7)$$

T est la période du mouvement sinusoïdal et $Q_{-y_m y_m}$ est la quantité d'eau reçue par la surface arrosée.

Si l'on veut connaître la répartition de l'eau reçue sur la surface balayée, on peut calculer la quantité d'eau reçue par des tranches de sol parallèles à la ligne de pente (axe oy). Ces tranches ont pour longueur L_x et pour largeur L_y . Ce résultat théorique peut être vérifié expérimentalement en plaçant un jeu de boîtes rectangulaires disposées dans l'axe du pinceau d'arrosage (fig.4).

Figure 4: Dispositif expérimental de calcul de la répartition de l'eau précipité



Pour une tranche i à un instant t , le débit effectif à prendre en compte n'est pas tout le débit q du gicleur mais seulement la fraction du pinceau qui est reçue sur la largeur L_y :

$$\frac{q}{L_x} \frac{2xm}{2\pi} \text{ avec } xm = H \operatorname{tg}\beta \text{ et } \beta = \text{ouverture transversale du gicleur}$$

on fait l'hypothèse réaliste de l'uniformité du jet sur $[-xm, xm]$, pour un temps t_0 il y a :

$$\frac{2t_0\omega}{2\pi} = \frac{2t_0}{T} \text{ passages}$$

la quantité d'eau recueillie dans la tranche i est suivant l'équation (6) et les données géométriques de la tranche :

$$Q_i = \frac{qL_x}{2H\operatorname{tg}\beta} \frac{t_0}{\pi} \left(\operatorname{Arcsin}\left(\frac{1}{\alpha m} \operatorname{Arctg}\left(\frac{y_i}{H}\right)\right) - \operatorname{Arcsin}\left(\frac{1}{\alpha m} \operatorname{Arctg}\left(\frac{y_i - L_y}{H}\right)\right) \right) \quad (8)$$

Il est possible de faire une application numérique pour une surface arrosée au sol égale à l'embase de la tour (2.8 x 4m)

$$2H\operatorname{tg}\beta = 2.80\text{m}, \alpha m = \operatorname{Arctg}\frac{2}{4.10} = 0.54, H = 4.10\text{m}$$

on note Q^*i le pourcentage de volume retenue dans la tranche i par rapport au volume émis:

$$Q^*i = \frac{Q_i}{qt_0} \times 10$$

On vérifie que pour l'ensemble de la surface arrosée ($L_x = 2.80\text{m}$, $L_y = 4\text{m}$, $y_i = y_m = 2\text{m}$), on

$$a: Q^*i = \frac{Q_i}{q_{t_0}} \times 10 = 100\%$$

On calcule la quantité d'eau reçue par une parcelle de 1m^2 située au centre de la surface arrosée ($L_x = 1\text{m}$, $L_y = 1\text{m}$, $y_i = 0.5\text{m}$ centré en y) :

$$Q^*i = \frac{Q_i}{q_{t_0}} \times 10 = 6.15\%$$

Ce pourcentage d'eau reçue par la parcelle peut être comparé aux rapport de surface : parcelle/ surface arrosée :

$$\frac{1}{4 \times 2.8} = 9$$

Si l'on diminue la course du gicleur de moitié ($y_m/2$), Q^*i devient 12.1%. La parcelle reçoit alors 12% du volume d'eau émis alors qu'elle représente 18% de la surface arrosée.

Pour un gicleur de débit donné, la quantité reçue par la parcelle globalement, dépend donc uniquement de l'angle d'oscillation du gicleur. Il reste à vérifier l'homogénéité de l'arrosage sur la parcelle. Pour cela, on réalise une application numérique de l'équation (8) pour une série de tranche i de 1m de long disposée tous les 40cm de part et d'autre de l'axe y (Fig.4).

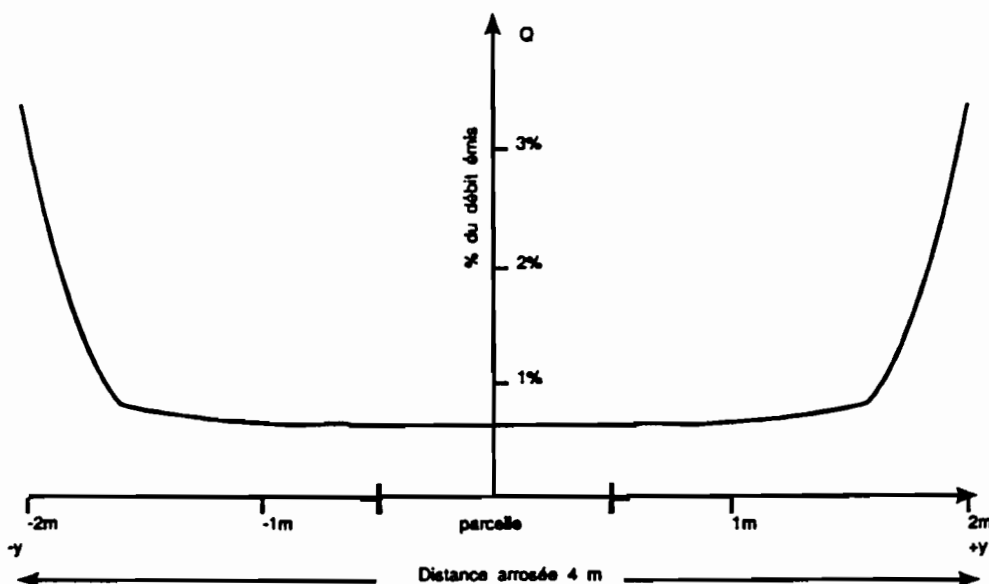
$$2H \tan \beta = 2.80\text{m}, \alpha_m = \text{Arctg} \frac{2}{4.10} = 0.54, H = 4.10\text{m}, L_y = 0.10\text{m}, L_x = 1\text{m}$$

Le tableau 1 donne les résultats de cette application numérique et la figure 5 montre la répartition de l'eau sur la surface arrosée.

Tableau 1 : Distribution de l'eau reçue sur la surface arrosée

Tranche i	1	2	3	4	5	6
$Q^*i\%$	3.38	0.89	0.71	0.64	0.63	0.62

Figure 5 : Distribution de l'eau reçue sur la surface arrosée



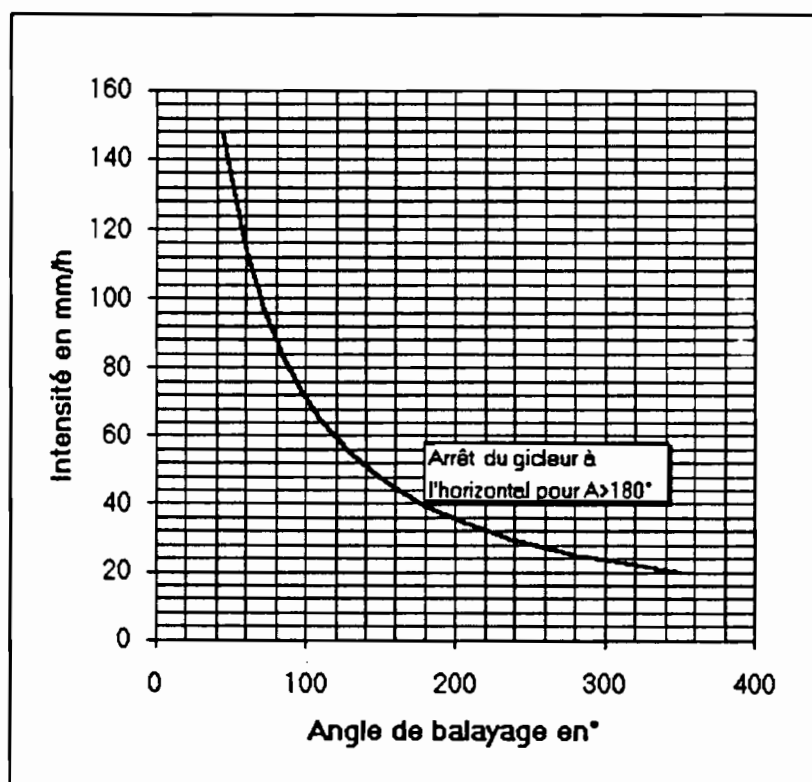
La non uniformité de l'aspersion se fait sentir d'autant plus que l'on se rapproche des extrémités (lieu où la vitesse du bras oscillant s'annule. On voit sur la figure 4 que l'on peut considérer que tous les points situés de part et d'autre de l'axe centrale jusqu'à 1,50 reçoivent grossièrement la même quantité d'eau. Ceci permet d'installer une parcelle de 1 m² et de disposer d'un anneau de garde de 1 m pour faire des prélèvements ou suivre la cinétique d'infiltration sans perturber la parcelle.

Le calcul de la quantité d'eau reçue par la parcelle pour un angle donné de balayage permet de construire un abaque d'étalonnage (intensité de pluie = f(angle)) pour les données expérimentales idéales :

- Gicleur bien centré à 4,10m de la parcelle,
- Pression stabilisée à 0.4 bars

Cet abaque est donné par la figure 6. Le positionnement de l'appareil par rapport à la parcelle étant difficile (pente du terrain, déléger décentrage de la tour lorsqu'on tire sur les haubans de fixation), il est conseillé d'étalonner l'appareil à chaque mise en place. On peut citer une conclusion de Toebes et Ourivaev (1970) d'une étude sur différents infiltromètres à aspersion utilisés en sciences du sol : "La fiabilité des infiltromètres à aspersion dépend surtout des étalonnages d'intensité de la pluie effectuée avant ou après la pluie".

Figure 6 : Abaque des intensité de la pluie simulée en fonction de l'angle de balayage du gicleur



3. Les paramètres hydrologiques accessibles par la mesure sous pluie simulée.

Le ruissellement est mesuré très près de la bordure aval de la parcelle. On néglige dans toute l'étude les temps de transfert de l'eau à partir des points les plus éloignés de l'exutoire et le temps de transfert entre l'exutoire et la «cuve» enregistreuse qui recueille l'eau ruisselée.

Cette approximation est justifiée par les faibles dimensions du dispositif. Le limnigramme donne la hauteur des lames ruisselées cumulées en fonction du temps. La pente de la tangente en chaque point du diagramme donne l'intensité de ruissellement. La précision des mesures est de 1/10 mm pour les hauteurs d'eau ruisselée et de 10 secondes pour le temps.

Le graphique 3 représente le hyétogramme d'une pluie simulée sur une parcelle de 1 m². Les intensités contrôlées de la pluie sont notées $I(t)$, et l'intensité de ruissellement mesurée en chaque point du limnigramme, $R(t)$.

Du début de la pluie jusqu'au temps t_i on n'observe aucun ruissellement, c'est la phase d'imbibition. Une première quantité d'eau (très faible) est interceptée par la végétation (I_{nt}). L'infiltration est ensuite totale, l'intensité potentielle d'infiltration est en chaque point de la parcelle supérieure à l'intensité de la pluie. L'intensité d'infiltration $F(t)$ est égale à $I(t)$. La capacité d'infiltration diminue tandis que le sol s'humecte, elle devient en plusieurs points inférieure à l'intensité de la pluie et l'eau commence à remplir les dépressions de la parcelle. On note ce temps t_p (pounding time). $F(t)$ diminue tandis que le stockage de l'eau en surface $S(t)$ augmente.

Au temps t_i les flaques débordent, l'eau se met en mouvement et parvient à l'exutoire. L'hydrogramme prend une forme de S allongé, l'intensité de ruissellement augmente, celle d'infiltration diminue. Si toutes les flaques débordent la totalité de la superficie de la parcelle participe au ruissellement. La hauteur moyenne de la lame d'eau en mouvement à la surface (D_m) augmente. Cette phase correspond à un régime transitoire.

A partir du temps t_m s'établit un palier de ruissellement, dont l'intensité a atteint un maximum, l'infiltration est alors constante, il s'est établi un régime permanent (D_m constant).

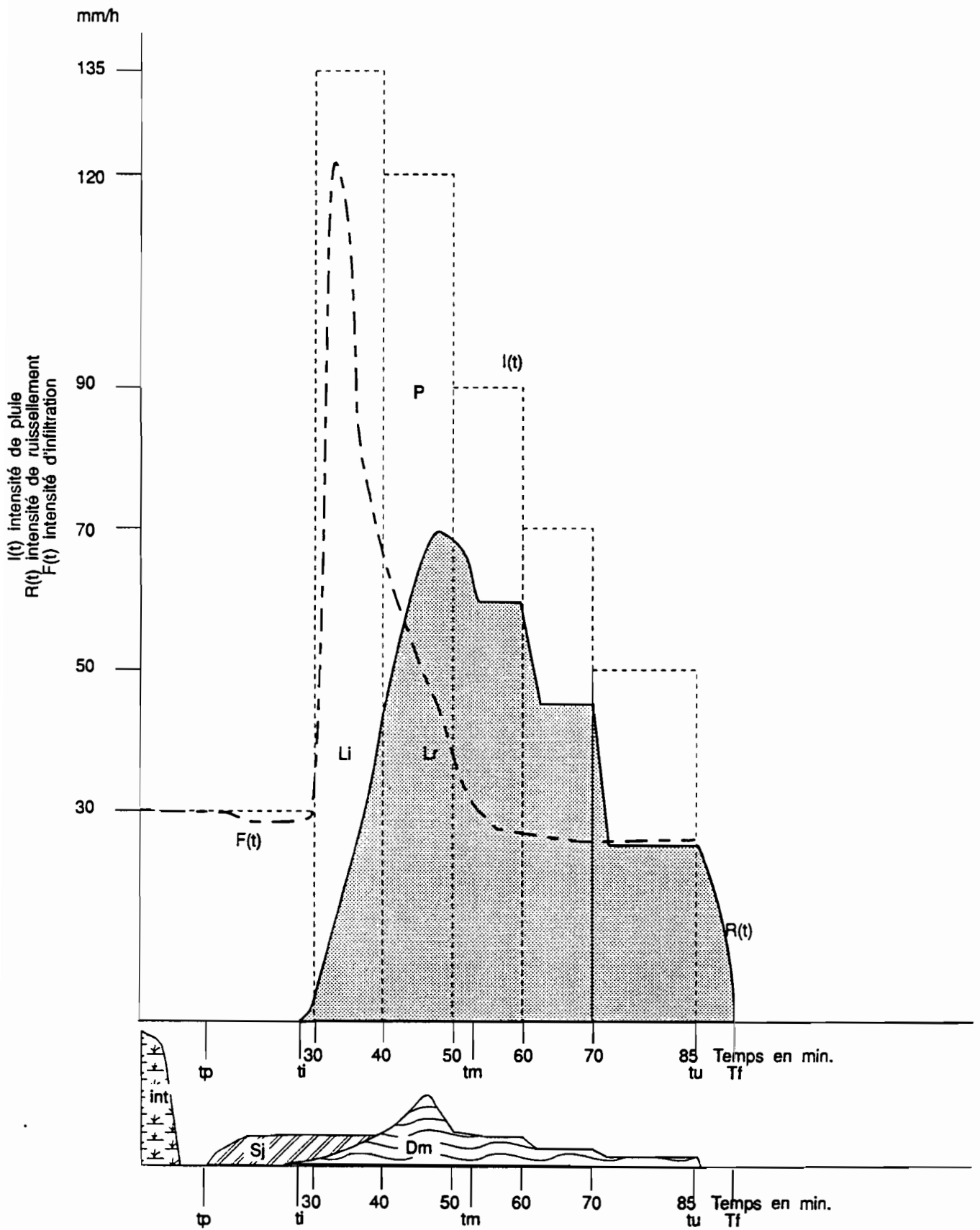
Au changement d'intensité de la pluie, la lame d'eau mobilisable (D_m) varie dans le même sens que $I(t)$. La charge en surface varie, les conditions de ruissellement et d'infiltration se modifient. Le régime permanent cesse jusqu'à un nouvel équilibre entre les variables en jeu : épaisseur de la lame d'eau ruisselante, intensité d'infiltration et intensité de ruissellement. On retrouve un palier caractéristique du nouveau régime permanent.

Lorsque la pluie cesse, le ruissellement décroît lentement pour s'annuler au temps t_f . C'est la phase de vidange, la quantité d'eau qui s'écoule représente la détention superficielle récupérable (D_r) ; c'est la partie non infiltrée des réserves superficielles acquises à la fin de la pluie (D_m).

Pour chacune des phases décrites on peut faire le bilan et en tirer les équations entre les grandeurs mesurées (LAFFORGUE, 1977). Pour cela, on utilise les notations suivantes:

- $P_u(t)$: hauteur de pluie à l'instant t
- $L_r(t)$: lame ruisselée à l'instant t
- $S(t)$: lame stockée en surface à l'instant t
- $D_m(t)$: détention superficielle mobilisable à l'instant t
- $D_r(t)$: détention superficielle récupérable à l'instant t
- $I(t)$: intensité de la pluie à l'instant t
- $R(t)$: intensité de ruissellement à l'instant t
- $F(t)$: intensité d'infiltration à l'instant t
- R_x : intensité maximale de ruissellement pour une intensité donnée
- F_n : intensité minimale d'infiltration pour une intensité donnée
- t_i : temps correspondant à l'apparition du ruissellement
- t_m : temps correspondant à l'apparition du régime permanent
- t_u : temps correspondant à la fin de la pluie
- t_f : temps correspondant à la fin du ruissellement.

Figure 7 : Processus hydrologiques sur la parcelle



- Pour la totalité de la pluie l'équation du bilan s'écrit :

$$Pu(t) - Lr(t) - Dm(t) - S(t) - Li(t) = 0 \quad (1)$$

- Pendant la phase d'imbibition

$$Lr(t) = 0, Dm(t) = 0, Pu(t) - Li(t) - S(t) = 0 \quad (2)$$

- Régime transitoire

$$\text{en dérivant l'équation(1)} \quad I(t) - R(t) - \frac{dDm}{dt} - \frac{dS}{dt} = 0 \quad (3)$$

- Régime permanent

$$I(t) = I, R(t) = Rx, F(t) = Fn, \frac{dDm}{dt} = 0, \frac{dS}{dt} = 0$$

$$I - Rx - Fn = 0 \quad (4)$$

- Phase de vidange

$$Pu(t)=0$$

$$Lr(tf) - Lr(tn) = Dm(tu) + S(tu) - S(tf) + Li(tu) - Li(tf) \quad (5)$$

soit en désignant par Dr (Détection superficielle récupérable pour le ruissellement) la hauteur de la lame d'eau que l'on récupère après l'arrêt de la pluie ; Lif celle qui s'infiltré :

$$Dr = Dm(tu) + S(tu) - S(tf) - Lif \quad (6)$$

4. Le protocole de pluie simulée

Les études sous pluie simulée ont montré que sur une surface élémentaire, les facteurs principaux du ruissellement sont la hauteur et l'intensité de la pluie ainsi que l'état d'humectation du sol (CASENAVE, 1982). Le protocole doit permettre de déterminer pour chacune des parcelles les liaisons existant entre ces différents paramètres. L'influence de l'état d'humectation du sol sur le ruissellement est quantifiée à partir d'une série de pluies simulées séparées par des temps de ressuyage plus ou moins longs. Chacune des pluies simulées est constituée d'une séquence de 5 à 7 intensités différentes, déterminées à partir des caractéristiques des pluies naturelles de la région. Cela permet d'étudier le rôle de l'intensité de la pluie sur le ruissellement pour une gamme d'états d'humectation de sol donnée.

Pour rester proche des conditions naturelles, on a estimé que ce protocole devrait répondre aux critères suivants :

- Le total pluviométrique reçu par la parcelle doit être inférieur au total annuel médian.
- Le nombre d'averses doit être suffisant pour avoir des temps de ressuyage des sols différents.
- Les hauteurs d'eau reçues par chaque parcelle en cours d'averse doivent être suffisantes pour permettre de définir une relation lame ruisselée-pluie utile. Les pluies sont donc suffisamment longues. Nous avons choisi de reproduire des averses de récurrence au moins annuelle ou décennale.
- La forme de la pluie tient compte des intensités obtenues dans l'étude des courbes intensité - durée - fréquence et de leur répartition dans le temps pour qu'elle ressemble aux précipitations les plus courantes dans la zone d'étude. En zone sahélienne, il s'agit de tornades simples composées d'une ondée préliminaire, un corps prédominant et une traîne d'intensité plus faible et de courte durée (Cf TP).

Deux pluies types ont été définies à partir de l'étude des averses sahéliennes (Brunet-Moret, 1963). Elles sont données dans le tableau 2.

Le tableau 2 forme des pluies simulées.

Pluie type 1	Pluie type 2
10 minutes à 40 mm.h-1	30 minutes à 30 mm.h-1
10 minutes à 120 mm.h-1	10 minutes à 135 mm.h-1
10 minutes à 90 mm.h-1	10 minutes à 120 mm.h-1
10 minutes à 70 mm.h-1	10 minutes à 90 mm.h-1
10 minutes à 50 mm.h-1	10 minutes à 70 mm.h-1
	15 minutes à 50 mm.h-1
H = 61,7 mm	H = 96,7 mm

Si on se réfère aux études statistiques sur les données aux stations de référence de la zone sahélienne, on remarque que la pluie de type 1 correspond à une averse de récurrence annuelle celle de type 2 une averse décennale.

Le tableau 3 donne la succession des averses utilisée dans plusieurs protocoles (Albergel, 1987)

Tableau 3: Succession des pluies simulées

Forme de la pluie	Hauteur mm	Temps d'arrêt entre 2 pluie
Type 2	96,7	72
Type 1	61,7	72
Type 1	61,7	12
Type 1	61,7	48
Type 2	96,7	12

Ce protocole est réalisé en saison sèche, un mois, au moins, après la dernière pluie, pour être sûr de débiter l'expérimentation sur un sol bien sec et pour s'affranchir des pluies naturelles. Chaque événement est réalisé le matin très tôt ou la nuit, pour ne pas être perturbé par les vents de saison sèche et pour profiter des meilleures conditions de travail pendant l'expérimentation (chaleur, évaporation). Le calendrier expérimental tient compte de l'éloignement des parcelles pour pouvoir les traiter par lot de trois ou quatre et réaliser de 3 à 5 pluies par jour

5. Exemples de travaux ayant mis en oeuvre les techniques de simulation de pluie

Les travaux de recherches menées à l'ORSTOM et utilisant les techniques de simulation de pluie sont essentiellement de trois types.

a) En hydrologie de petits bassins versants, le simulateur de pluie a été utilisée pour réaliser un référentiel des aptitudes au ruissellement des sols en Afrique sahélienne (Casenave & Valentin, 1989). Cette étude portant sur les facteurs explicatifs de l'infiltration a mis en relief l'aspect prépondérant des états de surface : couvert végétal, activité de la mésofaune, organisation pelliculaire de l'horizon superficiel du sol.

Une autre étude s'est intéressée à définir la perméabilité globale de différents bassins à partir des essais au simulateur de pluie dans le but de prédéterminer les crues de projet. Pour se faire, on a recherché les liaisons existantes entre les mesures ponctuelles de ruissellement aux observations d'écoulement à l'exutoire. Un premier travail sur les bassins forestiers de Côte d'Ivoire a permis de montrer qu'il est possible de prédéterminer la crue de projet à partir des résultats de simulation de pluie observés sur trois sites judicieusement installés sur une toposéquence (Casenave et al, 1982). Sur les bassins versants sahéliens Albergel, 1987 établit un modèle de prédétermination de la crue de projet à partir d'une carte des états de surface et d'essais de pluie simulée. Rodier (1992) publie une étude faisant la synthèse des travaux menés au Sahel pour prédéterminer la crue de projet à partir des essais de simulation de pluie sur parcelles.

Les tests de simulation de pluie ont été également utilisés dans la recherche de fonction de production dans des modèles pluie-débit à discrétisation spatiale (Chevallier et al, 1983, Albergel, 1987, Albergel et al 1988) ou des modèles par aires contributives dans un modèle d'hydrologie urbaine dans la ville de Niamey (Bouvier & Desbordes, 1990).

b) En physique des sols le simulateur de pluie a été utilisé pour caractériser les propriétés physiques et hydrodynamiques des organisations superficielles (Valentin, 1981). Une comparaison de la détermination in situ des propriétés hydrodynamiques des sols par la méthode de l'infiltration dans un double anneau et celle du simulateur de pluie a montré l'utilité du second appareil pour comprendre le ruissellement sous pluie naturelle (Touma & Albergel, 1992). Un modèle physique du ruissellement en nappe sur des sols du Togo a été mis au point en utilisant la simulation de pluie (Bader, 1990). Un programme de recherche en cours essaye de coupler les expérimentations sous simulation de pluie à la caractérisation des sols par rétractométrie. Cette dernière technique mise au point par Braudeau, 1988 a, b, détermine la capacité de recharge en eau d'un sol en mesurant le gonflement de ses argiles en phase d'imbibition ou leur rétraction en phase d'assèchement.

c) En agronomie le simulateur de pluie a été utilisé essentiellement dans deux domaines. Le premier est l'amélioration de l'estimation du ruissellement dans le bilan hydrique des plantes cultivés (Mil au Mali, arachide au Sénégal) (Albergel & Al, 1991). Le second est le test de techniques culturales sur l'aptitude au ruissellement (Lamachère 1991).

Bibliographie

ALBERGEL J., (1987) Genèse et prédétermination des crues au BURKINA FASO. Du m² au km². étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. *Thèse de Doctorat es sciences de l'université PARIS VI PARIS, Col Etudes et Thèses de l'ORSTOM* 336 p

ALBERGEL J., CHEVALIER P., LORTIC B. (1987). D'OURSIS à GAGARA: transposition d'un modèle de ruissellement dans le SAHEL (BURKINA FASO) *Hydrologie continentale, ed de l'ORSTOM. vol 2 n°2* pp 77-86

ALBERGEL J, PEREZ P., VAKSMANN M. (1991) Amélioration des modèles du bilan hydrique sur parcelles par la prise en compte du ruissellement. *in Soil Water Balance in the Soudano Sahelian Zone. SIVAQUMAR M.V.K., WALLACE J.S., RENARD C., GIROUX C., éditeurs. IAHS publ N°199, Niamey proceedings of the Int. Workshop 18-23 Fev. 1991* pp 483-496.

Bader J.C. (1990) Extrapolation de mesures ponctuelles de ruissellement à l'échelle d'un versant homogène. *Rapport ORSTOM. Lomé.* 56 p.

Bentley W.A. (1904) Studies of raindrops and raindrop phenomena. *Monthly weather review* 32 pp 450-456

Bouvier C., Desbordes M. (1990) Un modèle de ruissellement urbain pour les villes d'Afrique de l'Ouest. *Hydrologie Continentale Vol.5, n°2, Ed de l'ORSTOM* pp 77-86

Braudeau E. (1988 a) Méthode de caractérisation pédo-hydrigue des sols basée sur l'analyse de la courbe de retrait. *Cahiers ORSTOM, ser. Pédol, Vol XXIV*, pp 179-189

Braudeau E. (1988 b) Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait. *C.R. Acad. Sci Paris, t 307, Serie II* pp 1933-1988

Casenave A., Valentin C. (1989) Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. *Col. Didactiques. Ed. de l'ORSTOM* 229 p.

Casenave A., Guiguen N., Simon J.M. (1982) Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique tropicale. *Cahiers ORSTOM, Ser. Hydrol. Vol XIX n°4* pp 229-252

Casenave A. (1982) Le minisimulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. *Cahiers ORSTOM, Ser. Hydrol. Vol XIX n°4* pp 207-228

Chevallier P., Claude, J., Pouyaud, B., Bernard A. (1985). Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi. Burkina Faso. Travaux et documents n°190 ORSTOM PARIS, 251 p.

Laforgue, A. (1977) Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. *Cah. ORSTOM, ser. Hydrologie. Vol XIV n°4* pp 299-344

Lamachère J.M. (1991) Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Soil Water Balance in the Sudano Sahélian Zone. *Proceedings of Niamey Workshop, Fev. 1991. IAHS publ n°199*, pp 109-119

Rodier J; (1992) Du simulateur de pluie aux bassins versants représentatifs sahéliens. *Coll Etudes et hèses. Ed de l'ORSTOM*, 76p.

Touma J. & Albergel J. (1992) Determining soil hydrologic properties from rain simulator or double ring infiltrometer experiments : a comparison. *Journal of Hydrology*,

Valentin , C. (1981) Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques. Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. *Col., études et thèse de l'ORSTOM. Thèse docteur 3°cycle. Université PARIS VII*, 229 p.