



Démarche méthodologique pour la conception d'un Micro- simulateur de pluie pour les milieux rural et urbain. Applications aux phénomènes d'infiltration et de ruissellement

H. Benkhelil^(a,b), NE. Abriak^(a), F.X. Masson^(b), C. Boulemia, E. Henry^(b)

^(a)Département Génie Civil, Ecole des Mines de Douai, France.

^(b)Université d'Artois, France.

Résumé

L'étude des phénomènes d'érosion hydrique, de ruissellement et d'infiltration des sols est essentielle pour la compréhension de nombreux problèmes environnementaux. Ces phénomènes peuvent être à l'origine de la baisse de productivité des sols, de pollution des eaux de surface et souterraine, d'inondations des zones urbanisées et de la mise en péril des infrastructures (route, réseau, barrage..).

Les recherches visant à mieux les appréhender sont grandement simplifiées quand l'expérimentateur possède la maîtrise du facteur pluie.

Nos travaux résultent d'une étude pluridisciplinaire en vue de concevoir et réaliser un nouveau type de simulateur de pluie. Dans cet article, nous présentons l'action érosive de la pluie sur les sols et l'intérêt de disposer d'un simulateur de pluie.

En vue de répondre au mieux aux problématiques du génie civil et de l'agriculture, nous proposons le cahier des charges d'un simulateur de nouvelle génération et la démarche adoptée pour le réaliser.

Abstract

Study of the phenomena hydrous erosion, of streaming and infiltration of the grounds is essential for the comprehension of many environmental problems. These phenomena can be with origin fall of productivity of the grounds, water pollution of underground surface and floods of the residential areas and setting in danger of the infrastructures.

Research aiming to better apprehending them is largely simplified when experimenter has the control of the factor rain.

Our work results one multi-field study in order to conceive and carry out a new type of simulator of rain. In this article, we present erosive action of the rain on the grounds and interest to lay out one simulator of rain.

In order to answer as well as possible the problems of the civil engineering and agriculture, we propose the schedule of conditions one simulator of new generation and the step adopted to carry it out.

Mots-clés: Erosivité, ruissellement, infiltration, simulateur de pluie, lixiviation.

Keywords: Erosivity, streaming, infiltration, simulator of rain, lixiviation

1.Introduction

La résolution des problèmes d'érosion hydrique nécessite l'utilisation de méthodes de mesure pour analyser et quantifier l'infiltration et le ruissellement. Parmi ces méthodes l'estimation de l'infiltration et la mesure du ruissellement peut être abordée à partir de simulation de pluie. La généralisation de ce type de mesure nécessite la simplification et l'amélioration du matériels existants.

2.Le simulateur de pluie

La simulation de pluie consiste à produire une averse artificielle (pluie standard approchant les caractéristiques d'une pluie naturelle) sur une parcelle, afin de mesurer le ruissellement et les pertes en terre induits [1].

Plusieurs types de simulateur de pluie existent, allant d'environ dix à trente mètres de hauteur, et peuvent arroser des surfaces approchant une cinquantaine de mètres carré (Fig.1).

Ces types d'appareil présentent plusieurs inconvénients d'ordre pratique, pour cela en 1975 au Etats-Unis, hydrologues et pédologues ont mis au point un mini-simulateur de pluie permettant d'étudier sur quelques mètres carré les réactions du sol aux précipitations en fonction de ses caractéristiques et de la nature de la végétation.

Cette idée de simulateur fut exploitée et développée par l'ORSTOM dans le cadre de leurs travaux de recherches [2]. La DRAF Nord-pas-de Calais a apporté par la suite des modifications d'ordre pratique qui visaient essentiellement à rendre le matériel plus maniable. Cet appareil modifié a été utilisé par plusieurs organismes tels que le CEMAGREF, l'INA et l'INRA [3].

Le mini simulateur de type ORSTOM a une structure pyramidale de 3.50m de haut et arrose une surface de l'ordre de quelques m² mais seule une surface de 1m² centrée sur la verticale du gicleur sert de zone de mesure.

Dans l'état actuel, le mini-simulateur présente quelques inconvénients d'ordre pratique. Ces inconvénients nous ont conduit à étudier la faisabilité d'un simulateur de moindre dimension (micro-simulateur).

Ce micro-simulateur figure (1) devra reproduire des pluies pour lesquelles l'intensité couvre une gamme étendue et peut varier au cours du temps. Il devra également permettre les études de lixiviation des matériaux de génie civil et le transfert de polluant.

Notre micro-simulateur de pluie aura pour caractéristiques: un support d'environ 1m de haut, une surface d'aspersions inférieure à 1m², une buse montée sur un bras mobile, un dispositif d'aspersion permettant le réglage de l'intensité de la pluie, de l'angle et la force d'impact des gouttes sur le sol, une électropompe à débit variable, un canal collecteur pour récupérer l'eau ruisselée.

3.Démarche

Pour élaborer le micro-simulateur notre stratégie d'étude est axée sur trois approches. [4].

La première approche (théorique) comporte une large analyse bibliographique sur l'érosion des sols, le ruissellement, l'infiltration, la simulation de pluie, les problèmes causés par ce phénomène dans différents domaines notamment ceux du génie civil et de l'agriculture, et enfin les différentes méthodes de mesures et de quantifications.

La deuxième approche (conceptuelle) est constituée de 3 études qui sont traitées successivement : étude énergétique, étude technique et étude de la modélisation des parcelles.

La dernière approche expérimentale comporte: la réalisation de l'appareil, l'étalonnage de l'appareil, le calage et la validation du protocole à travers une campagne d'essais dont les résultats seront comparés avec ceux obtenus à l'aide d'un simulateur traditionnel. On

procédera tout d'abord aux essais d'infiltration et de ruissellement, puis il sera utilisé pour la réalisation d'essais de lixiviation des matériaux et de transport de polluant.

Dans cet article nous n'évoquerons que l'étude énergétique et technique de la partie conceptuelle.

3.1.Approche conceptuelle

A partir des problématiques cernées et des facteurs identifiés [5] l'approche conceptuelle a débuté par une étude énergétique.

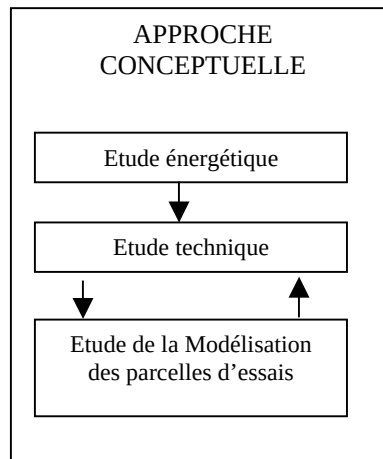


Figure.1:approche conceptuelle

3.1.1.Etude énergétique

Pour répondre au cahier de charges cité précédemment, nous devons minimiser la hauteur de l'appareil tout en assurant la reproduction d'une pluie naturelle d'intensité choisie. Le détachement est induit par l'énergie cinétique produite par le choc des gouttes de la pluie à la surface du sol. Cet impact dépend des caractéristiques des gouttes.

La première composante de l'action érosive de l'eau pluviale est attribuée à l'impact des gouttes de pluie sur le sol. L'action causée par cet impact commence quand la première goutte percute le sol et détache des particules de sa surface.

Vitesse des gouttes de pluie. Pour reproduire l'effet d'une pluie naturelle, les gouttes de pluie simulées doivent atteindre leur vitesse terminale au sol. La vitesse terminale est liée principalement à la taille des gouttes. Les différences notées entre les valeurs trouvées par les chercheurs sont essentiellement dues aux difficultés de mesure, aux effets de la pression atmosphérique, de la température et de l'humidité relative.

Energie cinétique des gouttes de pluie. Il est impératif non seulement que l'intensité des pluies simulées soit représentative des pluies naturelles observées sur la région d'étude mais aussi que les propriétés microphysiques soit semblable [6]. De plus, malgré la petite taille des surfaces aspergées il convient de produire une pluie dont l'intensité est spatialement uniforme tout en assurant une répartition aléatoire des points d'impact des gouttes.

En arrivant sur le sol une goutte de pluie libère une énergie cinétique qui est égale au demi produit de sa masse par le carré de sa vitesse.

La vitesse augmente avec le diamètre des gouttes il en résulte que l'énergie cinétique des gouttes a tendance à croître exponentiellement avec leur dimensions.

A un instant donné la pluie présente un certain éventail de gouttes de dimensions différentes (supposées sphériques) oscillant autour d'une moyenne. Cette dernière augmente avec l'intensité instantanée de la pluie et lorsqu'on se déplace du centre vers la périphérie de la surface aspergée.

Transformation de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Suivant l'importance de l'énergie cinétique et la stabilité structurale du sol on pourra assister à l'éclatement de la goutte d'eau sur le sol sous forme de gouttelettes plus petites qui rejaillissent (effet splash). Ce phénomène provoque un détachement partiel ou total des particules de sol à l'endroit de l'impact et à la projection de ces particules venant ainsi colmater tous les interstices du sol et formant une couche mince continue imperméable et compacte.

Calcul de la vitesse et la hauteur limite du jet. Cette partie adopte une approche théorique pour mesurer la vitesse terminale des gouttes de pluies simulées. La vitesse dépend du diamètre de la goutte, de la pesanteur et de la vitesse initial de la goutte.

Cependant, il y a des variables qui sont extrêmement difficile à prévoir et mesurer et qui peuvent affecter la vitesse terminale des gouttes, comme l'effet du vent. Ainsi dans nos calculs mathématiques on a supposé que la chute des gouttes s'effectue sans déplacement d'air. On introduira par la suite, dans nos travaux l'influence du vent.

Les résultats obtenus de l'étude théorique sont satisfaisant. Ces résultats seront confortés lors des essais. De plus nous souhaitons réaliser des essais en faisant varier les paramètres influençant la chute des gouttes de pluies.

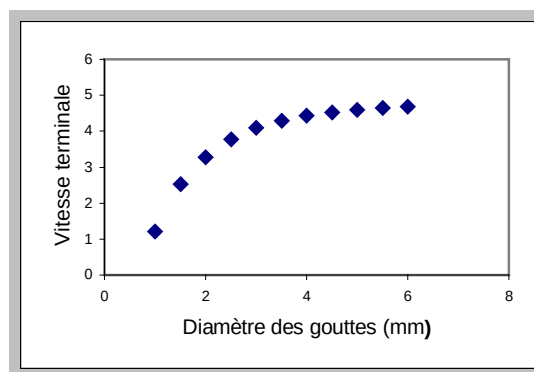


Figure.2: Vitesse des gouttes en fonction de leur diamètre pour une hauteur de 1m.

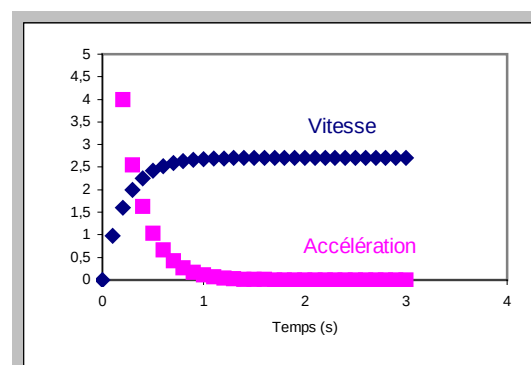


Figure.3: Vitesse et accélération d'une goutte ($\varnothing 1.5\text{mm}$) en fonction du temps.

3.2. Etude technique.

Une partie de notre étude technique a été consacrée à l'intensité des pluies simulées, à l'angle d'application du système de jet et à la dimensionnement du cadre de récupération des eaux ruisselées.

Le Micro- simulateur de pluie développé se compose essentiellement de deux parties (Fig.4): un système d'aspersion des gouttes d'eau et un système de récupération des flux. La hauteur ne dépasse pas le 1m50 et la largeur permet une simulation en laboratoire sur une surface de 1 m².

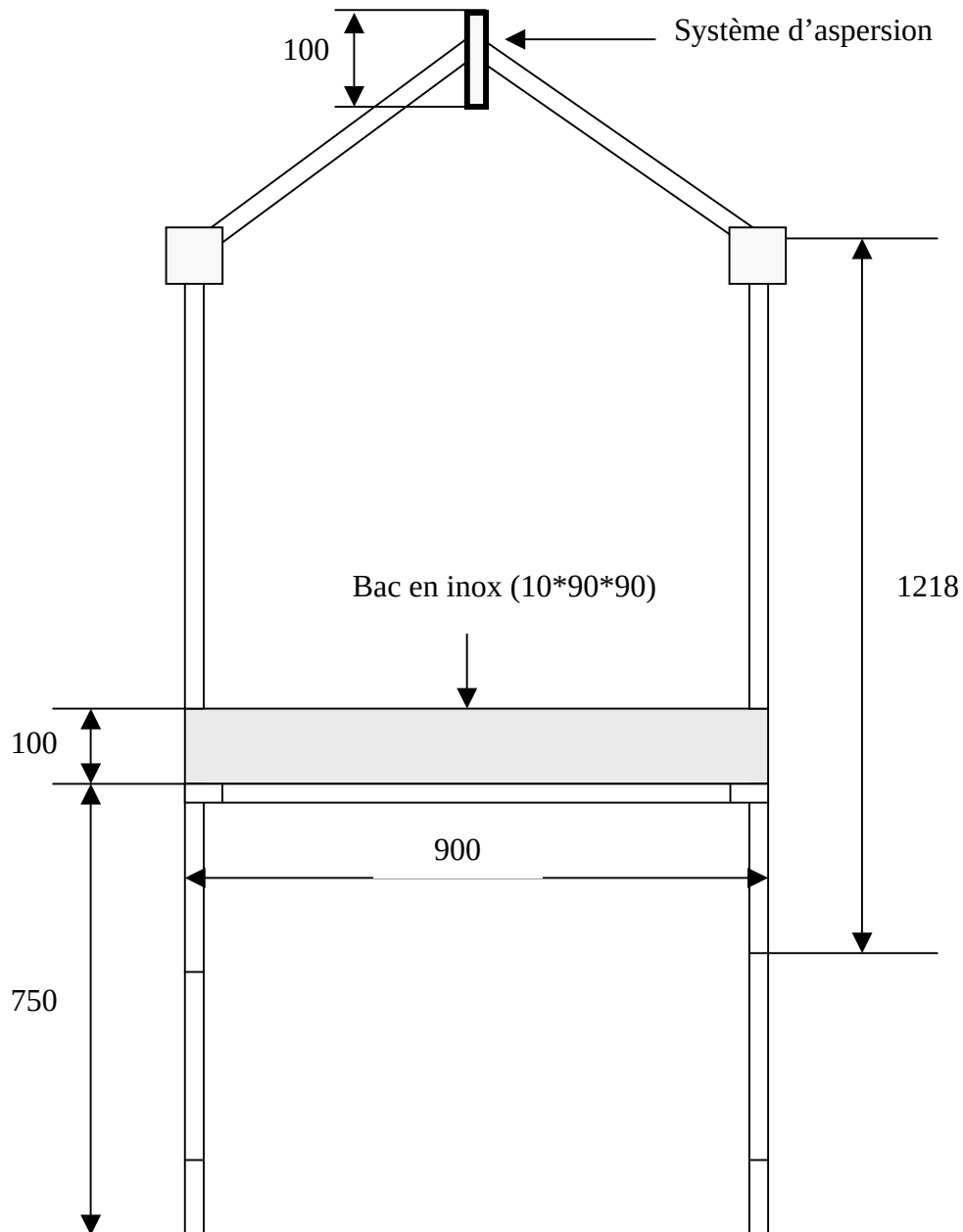


Figure.4 Le Micro- simulateur de pluie

Intensité: Le micro- simulateur de pluie simulera un certain nombre de pluie. Les données sont basées sur des probabilités statistiques, calculées à partir de données météorologiques.

La pluie simulée est souvent exprimé en terme de fréquence de retour. Notons qu'un épisode pluvieux de période de retour de dix ans est souvent employé pour les mesures se rapportant à la conservation du sol.

Angle d'application: Dans des conditions normales (terrain de pente α), les gouttes de pluie tendent généralement à chuter sur le sol suivant une inclinaison ϕ par rapport à la verticale due aux effets du vent. La figure (3) illustre ces phénomènes reproduit par notre système de jet.

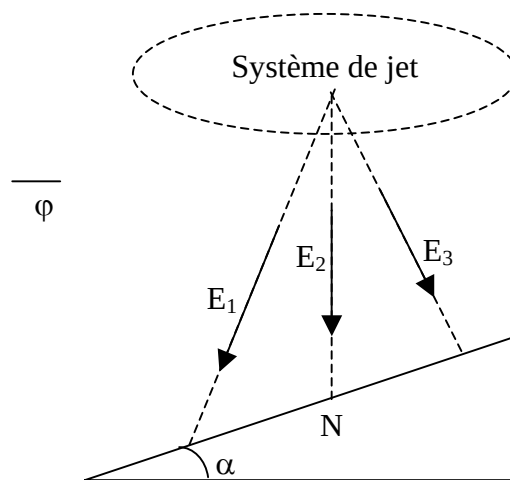


Figure.5:influence de l'angle d'application du jet

L'impact de la pluie sera plus important en amont de la pente (E3) que vers l'aval (E1).

Notre simulateur de pluie sera conçu pour reproduire ces effets de chute des gouttes de pluie.

Dimensionnement du cadre de récupération: Pour dimensionner le cadre de récupération de l'eau ruisselée et des matières en suspensions, notre travail est basé essentiellement sur l'étude de l'organisation et de la dimension des fentes du sol ainsi que le calcul de l'amplitude du jet en rapport avec la dimension du cadre.

La surface arrosée par le simulateur de pluie, comprend la micro parcelle d'essai délimitée par le cadre et une frange extérieure permettant d'assurer l'uniformité des charges dans le sol à l'intérieur de la parcelle expérimentale

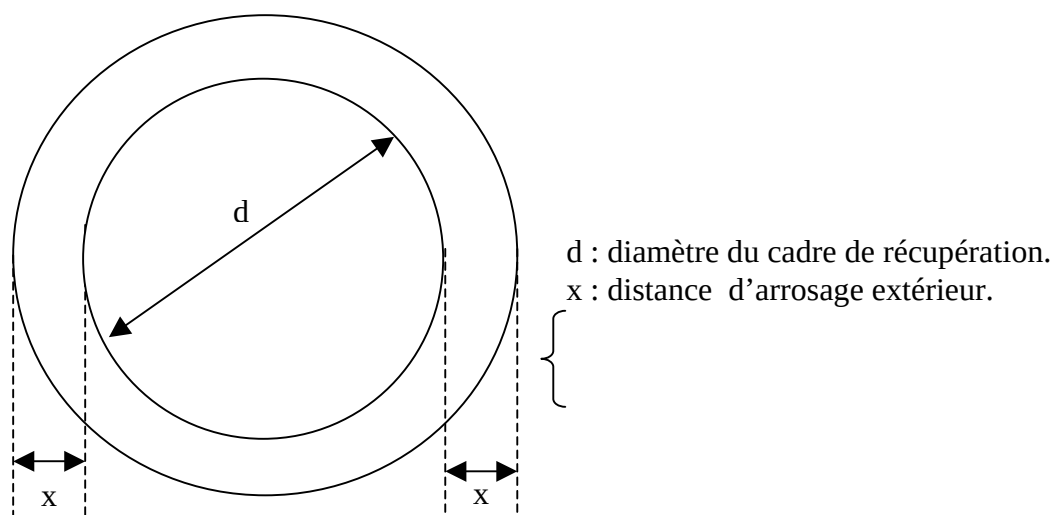


Figure.5: influence de l'angle d'application du jet

Pour avoir une répartition uniforme des charges dans le sol nous avons calculé la largeur de la frange que l'on doit arroser à l'extérieur à la micro parcelle.

$$Y(x) = \sqrt{\frac{H^2 - 2Q \cdot x}{K \cdot I}}$$

La relation donne la distance à arroser au delà de notre surface d'aspersion en fonction de la hauteur de la nappe (H), du débit d'eau (Q), du coefficient de K et des dimensions de la parcelle.

4. Conclusion

L'impact de l'érosion hydrique du ruissellement et de l'infiltration des eaux pluviales sur le génie civil, l'agronomie, l'assainissement et l'environnement nécessite de trouver de nouveaux moyens de mesure et de quantification de ces phénomènes. Le nouveau type de simulateur permettra de multiplier les essais avec plus d'aisance, à moindre coup et d'étudier la dynamique de l'infiltration de l'eau dans le sol dans les études appliquées.

L'approche conceptuelle d'élaboration est en cours, elle sera suivie d'une approche expérimentale permettant la réalisation et la validation de l'appareillage.

5. Références

1. BARTHES B. et al. *Pratique culturales et érodibilité du sol dans les Rougiers de Camarés*.
2. ASSELINE J. VALENTIN C. *Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion*. Cah. ORSTOM XV(4) : 321-349, 1978.
3. MASSON F.X. *Gestion des sols de la région du Nord (France)*. Université de Lille 1, 577p.
4. BENKHELIL H. MASSON FX. HENRY E. ABRIAK NE. BOULEMIA C. *Démarche méthodologique pour la conception d'un micro-simulateur de pluie pour les milieux rural et urbain*. Conférence internationale sur la gestion des milieux urbains, Alger 2002.
5. BENKHELIL H. MASSON FX. BOULEMIA C. ABRIAK NE. HENRY E. *Conception et réalisation d'un simulateur de pluie adapté aux milieux urbain et rural*. Journal of catalytic materials and Environment, Volume I 2003.
6. SALLES C. ANDRIEUX P. ASSELINE J. COHARD P. *Etalonnage de l'intensité et de la microphysique de la pluie produite par un simulateur de pluie*.