

Titre du projet : Mesures, Observation pour une Modélisation à base physique des écoulements de deux petits bassins sahéliens

Volet : Observation (2012, AO2) – Recherche (2013, AO3)

Porteurs du projet : Jean-Pierre Vandervaere, Sylvie Galle (resp. SO Amma-Catch)

Laboratoires impliqués : LTHE

Bilan du projet pour l'année/la période

Bilan d'activité (1 page max)

Dans le cadre de l'Observatoire Amma-Catch et face à l'augmentation préoccupante des crues du Niger à Niamey, nous avons souhaité équiper un nouveau bassin versant situé en zone exoréique (granitique), c'est-à-dire contribuant directement au débit du fleuve, afin de faire le pendant des sites existants en zone endoréique (sédimentaire). Deux petits bassins ont ainsi été instrumentés, en étroite collaboration avec la JEA Sapalote, en zone de socle granitique et leurs écoulements ont été mesurés et modélisés en suivant une approche économe en paramètres (congrès #3).

1. Aspects Observation (financement AO2)

La modélisation des écoulements au Sahel en zone sédimentaire endoréique échouait à prédire les ruissellements de petits bassins (5 à 30 ha) dans la mesure où 25 à 50% de la pluie se ré-infiltre dans les ravines avant leur arrivée à l'exutoire. Depuis 2011, les études que nous avons menées, avec le financement Labex, en zone de socle, sur le site de Mele Haoussa ont montré, par rapport aux zones sédimentaires, des conductivités hydrauliques plus faibles (échelle ponctuelle) et des ruissellements plus forts (échelle de 10 m²) à usage du sol similaire (cultures, jachère). Mais surtout, nous avons pu montrer, ce qui constituait une inconnue de fonctionnement, que les pertes dans les ravines sont de l'ordre de 4 à 5% de la pluie seulement en raison des faibles épaisseurs de couverture sableuse. Ainsi, l'additivité des ruissellements de parcelles (Fig. 1) permet de très bien prédire les volumes ruisselés aux exutoires sans aucun calage à l'échelle de ces bassins. Les conductivités hydrauliques sont mesurées à l'échelle ponctuelle et les pressions de front de Green et Ampt sont mesurées à l'échelle de la parcelle. De plus, une simple vitesse d'écoulement de surface constante et uniforme (5 cm.s⁻¹) permet de bien reproduire les hydrogrammes de crue, même bi-modaux (Fig. 2). La modélisation des zones cultivées exige des caractéristiques hydrodynamiques variables dans le temps. En effet, le sarclage augmente l'infiltration à court terme mais la perméabilité, pouvant dépasser 150 mm/h, est réduite jusqu'à être égale à celle des jachères (20 mm/h) après 70 mm de pluie et diminue même jusqu'à celle des surfaces encroûtées (10 mm/h) après 200 mm de pluie (Fig. 3).

Par ailleurs, sur le site de socle, on a pu constater la non-dépendance du volume ruisselé à l'état hydrique initial qui témoigne bien du comportement gravitaire des sols sableux. Il est donc nécessaire, du point de vue de l'observation, de faire porter l'effort de mesure sur les intensités de pluie plutôt que

sur la surveillance de l'état hydrique des bassins. De plus, la modélisation événementielle s'avère ainsi suffisante pour prédire les écoulements annuels.



Fig. 1. Cartographie des parcelles, site de Mele Haoussa (MH1).

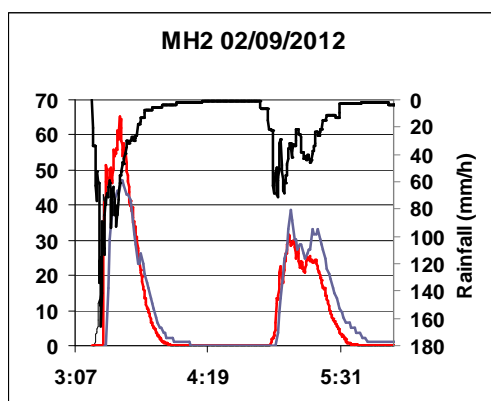


Fig. 2. Hydrogramme mesuré (bleu) et modélisé (rouge), pour une pluie bi-modale (noir). Débits en mm/h (échelle de gauche)

L'absence de ré-infiltration dans les versants et les faibles pertes dans les ravines de tête des bassins permettent d'envisager maintenant une modélisation hydrologique sur des bassins beaucoup plus grands, allant jusqu'à la taille des affluents directs du fleuve Niger (Fig. 4). Il sera nécessaire, pour cela, de bien observer et modéliser l'hydraulique des écoulements dans le réseau hydrographique. Cette modélisation mécaniste, conservant les principes de simplicité validés à petite échelle, permettra de quantifier le rôle de l'évolution des usages du sol sur les écoulements et, notamment, sur la fréquence accrue des inondations à Niamey.

2. Aspects Recherche (financement AO3)

Les deux campagnes de mesure menées à Mele Haoussa en 2012 et 2013 ont constitué un cadre expérimental idéal pour l'application du simulateur de pluie léger (SPL) financé par le Labex. Cet appareil a été depuis rebaptisé "saturomètre" pour plus de clarté. Rappelons qu'il s'agit d'un appareil original dont les principes ont été développés au LTHE lors d'un stage de M2R. Le principe consiste à appliquer, à la surface du sol, non pas une condition de pression comme le font la plupart des appareillages existants (double-anneau, infiltrmètre à disques) mais une condition de flux, ce qui correspond mieux aux conditions naturelles. Ainsi, sous flux, la surface du sol suit deux phases successives, (i) une phase non saturée où l'humidité augmente et (ii) une phase saturée où le ruissellement se produit.

Contrairement aux anciens simulateurs de pluie ORSTOM, basés sur l'obtention d'un débit ruisselant plus ou moins permanent, le principe du saturomètre est d'analyser la phase de montée en saturation et d'en déduire les caractéristiques du sol souhaitées grâce à une formulation analytique du temps de saturation.

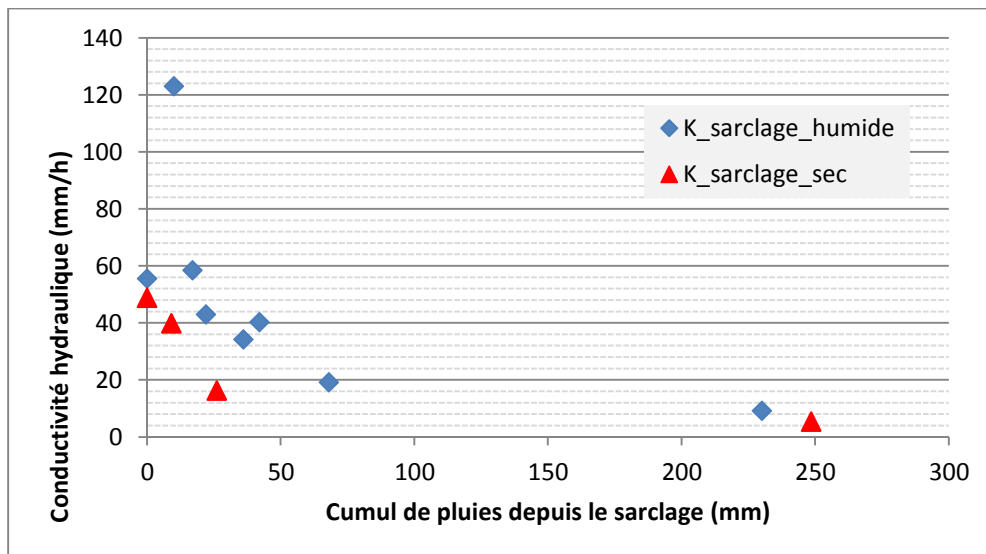


Fig. 3. Conductivité hydraulique de la surface cultivée en fonction du cumul de pluie reçu après sarclage, selon la méthode employée.

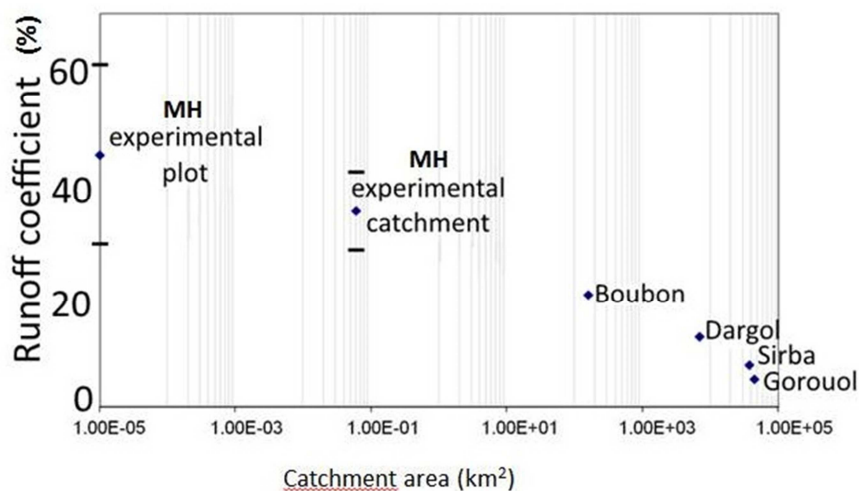


Fig. 4. Décroissance du coefficient d'écoulement avec la taille du bassin en zone de socle.

On ajuste cette relation sur un jeu de données de temps de saturation en fonction de l'intensité appliquée (Fig. 5) pour en déduire conductivité hydraulique et sorptivité capillaire du sol, ce qui constitue le côté novateur de notre approche. 272 essais ont ainsi été effectués avec des intensités variant de 5 à 300 mm/h sur six états de surface distincts (jusqu'à 900 mm/h dans les ravines, très infiltrantes). Ce jeu de données est unique.

Les résultats de cette méthode de caractérisation ont bien entendu été comparés avec ceux d'une méthodologie plus classique, menée en parallèle sur les mêmes parcelles (volet Observation) et ont montré une bonne cohérence. En particulier, les parcelles cultivées ont pu être suivies temporellement afin de détecter l'évolution des surfaces après travail du sol, ce qui était plus précisément l'objet de la

demande de financement. L'avantage du sarclage en humide a pu être précisément quantifié par rapport au sarclage à sec (Fig. 3), les deux étant pratiqués dans cette région. Ce travail a été fait conjointement par infiltrométrie monodimensionnelle (publication acceptée dans BASE) et par saturométrie. La comparaison fera l'objet d'une autre publication à soumettre.

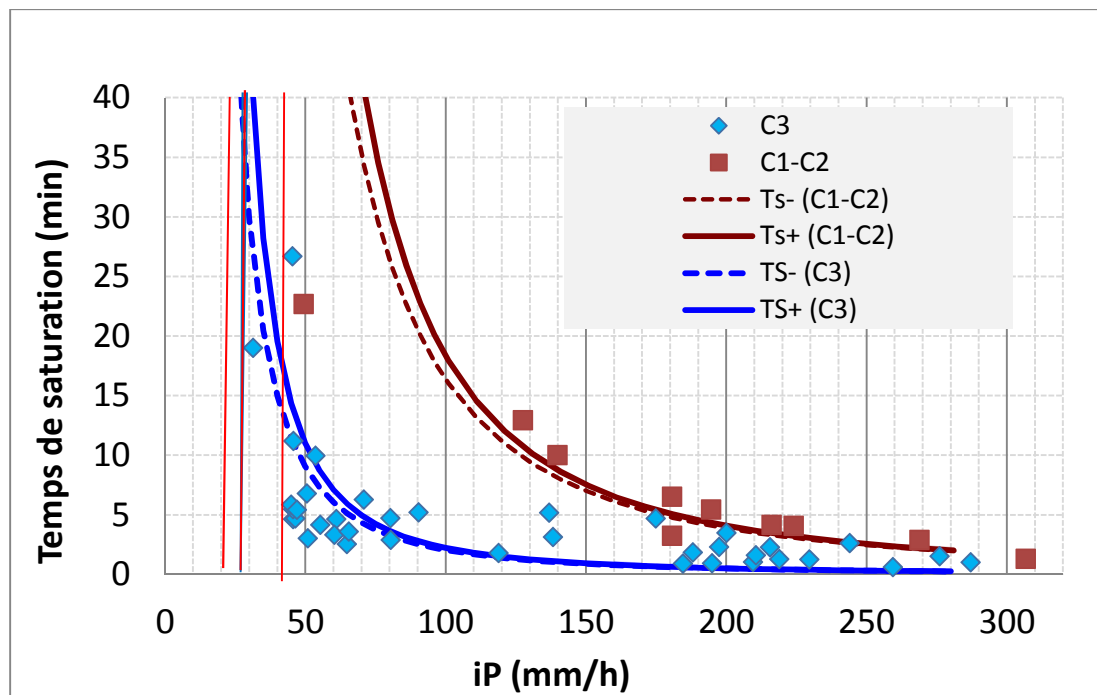


Fig. 5. Temps de saturation mesurés (points) et ajustés (courbes) sur les parcelles cultivées. C1-C2 correspond à l'état sarclé et C3 à l'état dégradé. Ts- et Ts+ sont les valeurs min-max de l'expression analytique ajustée. Les barres verticales représentent les saturations non obtenues.

Le projet d'ensemble s'est déroulé en phase avec les deuxième et troisième années de thèse de Moussa Malam Abdou, en co-tutelle UJF / Univ. De Niamey, thèse qui a permis la réalisation de tous les objectifs annoncés.

Production scientifique (*articles scientifiques, actes de congrès...*)

Thèse :

- Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; études expérimentales en zones cristalline et sédimentaire. Thèse de l'Univ. Grenoble I et de l'Univ. Abdou Moumouni Niamey.

Articles :

- Evolution temporelle de la conductivité hydraulique d'un sol cultivé de l'Ouest du Niger. Malam Abdou, M., J.-P. Vandervaere, L. Descroix, I. Bouzou Moussa, O. Faran Maiga, S. Abdou, B. Bodo Seyni et M. L. Ousseini Daouda. Accepté dans Biotech. Agron. Soc. et Envir.
- Genèse des écoulements sur deux petits bassins cristallins de l'Ouest du Niger : approche multi-échelles du fonctionnement hydrodynamique. Malam Abdou, M., J.-P. Vandervaere, I. Bouzou Moussa, L. Descroix, I. Mamadou, O. Faran Maiga. Soumis à Géomorphologie.

Congrès :

- Hydrodynamic behaviour of crusted soils in the Sahel: a possible cause for runoff increase? Malam Abdou, M., J.-P. Vandervaere, I. Bouzou Moussa, L. Descroix. European Geophysical Society, 22-27 April 2012, Vienna.
- Compared hydrodynamic behaviour in sedimentary and crystalline sahelian contexts at the point, parcel and small catchment scales. Malam Abdou, M., J.-P. Vandervaere, I. Bouzou Moussa, O. Faran Maiga, L. Descroix. European Geophysical Society, 7-12 April 2013, Vienna.
- Modelling the hydrology of small granitic basement watersheds in the Sahel with parsimony. Vandervaere, J.-P., M. Malam Abdou, L. Descroix. AGU Chapman Conference on Catchment Spatial Organization and Complex Behavior, 22-26 Sept. 2014, Luxembourg.

Bilan financier succinct (avec suivant les cas : co-financements éventuels, équipements achetés, missions, recrutements divers, fonctionnements divers...)

FINANCEMENTS		(demandé)	
Labex OSUG@2020 AO2 Observation	6900	(6900)	équipement, fonctionnement
Labex OSUG@2020 AO3 Recherche	4000	(9000)	missions sur place
SO Amma-Catch (IRD 2012)	800		
Univ. Paris I (2012)	1200		
SCAC (2012)	1200		
AO interne LTHE (2012)	800	fléché :	mission (2012)
Equipe Hybis, LTHE (2013)	2000	fléché :	mission n°1 (2013)
SO Amma-Catch (IRD 2013)	1400	fléché :	mission n°2 (2013)
TOTAL 2012 =	10900		
TOTAL 2013 =	7400		

DEPENSES	2012	2013
Petit matériel	3950	650
Rémunération stagiaires	1715	1145
Manœuvres et gardiennage	370	370
Missions France-Niger	1800	3400
Prises de vue avion	700	
Missions locales	2365	1835
<i>dont : carburant</i>	<i>590</i>	<i>490</i>
Total :	10900	7400

Annexes si besoin ou lien sur des sites existants et pérennes jusqu'à la fin du Labex (2020)