

# Rôle de l'encroûtement superficiel des sols sur leur fonctionnement hydrique : Conséquences hydrologiques et hydro-pédologiques.

VALET S.<sup>1</sup>, Ph. Le COUSTOMER<sup>2</sup> & M. MOTELICA-HEINO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Consultant. PASSERELLES, 9, rue du Bât d'Argent, 69001, Lyon France, Email : [valet.serge2@wanadoo.fr](mailto:valet.serge2@wanadoo.fr) ; <sup>2</sup> Université de BordeauxI, av. France. <sup>3</sup> Unité : UMR6113 Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), France ; [stefan.motelica-heino@univ-orleans.fr](mailto:stefan.motelica-heino@univ-orleans.fr).

## RESUME

*Tous les sols, du climat tempéré à tropical, sont susceptibles de s'encroûter superficiellement pour de très larges conditions d'utilisation et d'environnement. Des études à différentes échelles montrent que ces croûtes contrôlent les flux hydriques superficiels des éco(agro)systèmes. En zone soudano sahélienne, elles sont à l'origine de la variabilité, à différents niveaux scalaires, des transferts hydriques, de fertilité, de matériaux érodés et de la salinité fortement modifiée par le changement climatique. Sur les périmètres irrigués, la formation des croûtes sous les pluies et sous le ruissellement est grandement accélérée par la salinisation croissante due à une eau du fleuve Niger déséquilibrée dans le pôle alcalin (Niger) ou de plus en plus chargée en sels dans le fleuve Syr Daria (Kazakhstan). L'encroûtement provoque alors la sécheresse édaphique avec chute des rendements.*

*Aucune classification taxonomique pédologique ne prend en compte l'existence de ces croûtes et de leur effet hydropédologique ni hydrologique. On comprendra le parti que pourrait tirer la recherche pédologique et agronomique par la refondation d'une nouvelle classification taxonomique des sols prenant en compte ces processus en accord avec leur susceptibilité intrinsèques à s'encroûter.*

**Mots clés :** *Croûtes, ruissellement, report hydrique, stocks hydriques, salinisation, fonctionnement hydrique et hydrologique.*

## ABSTRACT

**SOIL CRUST EFFECT ON HYDRIC FUNCTIONNING: HYDROLOGIC AND HYDROPEDOLOGIC CONSEQUENCES.**

**Key-words:** *Crust, run off, run on, water storage, salinization, hydric & hydrologic functioning.*

## 1. INTRODUCTION

Tous les milieux, des climats arides à tropical voire tempéré, sont en proie aujourd'hui à de sérieux problèmes de dégradation des ressources naturelles dus à l'agressivité des facteurs climatiques (pluies et vents violents) et aux activités anthropiques (intensification agricole). Cette dégradation se manifeste par la formation d'un encroûtement superficiel des sols qui

contrôle les flux hydriques en culture pluviale et irriguée (Moore et Singer, 1990). Elles sont à l'origine de la variabilité, à différents niveaux scalaires, des transferts hydriques, de fertilité, de matériaux érodés et de la salinité. La facilité d'un sol à former des croûtes dépend de sa stabilité structurale (Le Bissonnais et al., 2005). Les principaux facteurs qui affectent la stabilité structurale des agrégats et des mottes sont d'ordre physicochimique, texturaux et du type d'argile et organique (Feller, 1995 ; Le Bissonnais et al., 2005 ; Valet et Le Coustumer, 2004). Cette étude porte sur la grande variabilité spatiale sur de faibles distances de l'effet des croûtes sur le transfert hydrique et de la fertilité, négligée à l'échelle du champ dans la plupart des études, et de ses conséquences hydropédologiques et hydrologiques.

## 2. MATERIELS ET METHODES

Les études ont été réalisées en climat soudano sahélien sur différentes unités morphopédologiques au Niger, Sénégal, Burkina Faso et désertique au Kazakhstan, à différentes échelles spatio temporelles. Le bilan hydrique a été calculé à l'aide d'un modèle capacitair (BIPODE). Le report hydrique a été considéré comme une irrigation simultanée à la pluie qui l'a généré. Les mesures sur bassin versant ont été réalisées en collaboration avec l'IRD.

## 3. RESULTATS

### 3.1. Conséquences hydro pédologiques

#### 3.1.1. Effet des croûtes sur la réserve en eau utile réelle

En zone soudano sahélienne, l'encroûtement généralisé fournit un ruissellement à l'échelle des versants comme à celle du champ sur des distances de quelques mètres où leur redistribution révèle une structure géospatiale. Au Niger, sur versants d'une centaine de mètres, les croûtes altèrent fortement les propriétés des sols en réduisant leur capacité d'infiltration (Fig. 1A) entraînant la limitation de l'installation en profondeur et en masse du système racinaire du mil quelle que soit leur texture (Fig. 1B). Cette réduction provoque une baisse significative de l'alimentation en eau du mil avec chute de son rendement. Cette chute s'accuse plus fortement en présence de fertilisation minérale ( $5,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  d'eau consommée contre 2,7) (Fig. 1C).

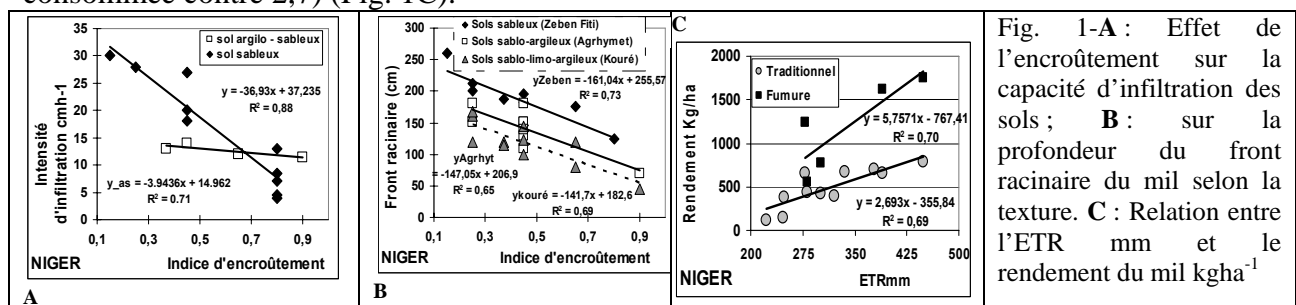


Fig. 1-A : Effet de l'encroûtement sur la capacité d'infiltration des sols ; B : sur la profondeur du front racinaire du mil selon la texture. C : Relation entre l'ETR mm et le rendement du mil  $\text{kg ha}^{-1}$

#### 2.1.2. Effet des croûtes sur la variabilité des stocks hydriques

Sur versant l'instabilité structurale croissante des sols vers le sommet est à l'origine de croûtes de plus en plus imperméables. En année très sèche, le ruissellement est dominant sur la partie sommitale cuirassée, puis est équilibrée à mi pente sur la partie non cuirassée pour enfin être inférieur au report hydrique en bas de pente (Fig. A).

Sur deux unités morphopédologiques la capacité d'infiltration plus faible sur glacis ( $3$  à  $5 \text{ cm h}^{-1}$ ) que sur la terrasse ( $7$  à  $14 \text{ cm h}^{-1}$ ) explique les stocks hydriques cumulés les plus faibles et voisins avec et sans report hydrique (Fig. B1-2). Au contraire sur la terrasse l'apport dû au report hydrique maximise les stocks (Fig. C1-2). La capacité d'infiltration est modifiée à la hausse par le labour.

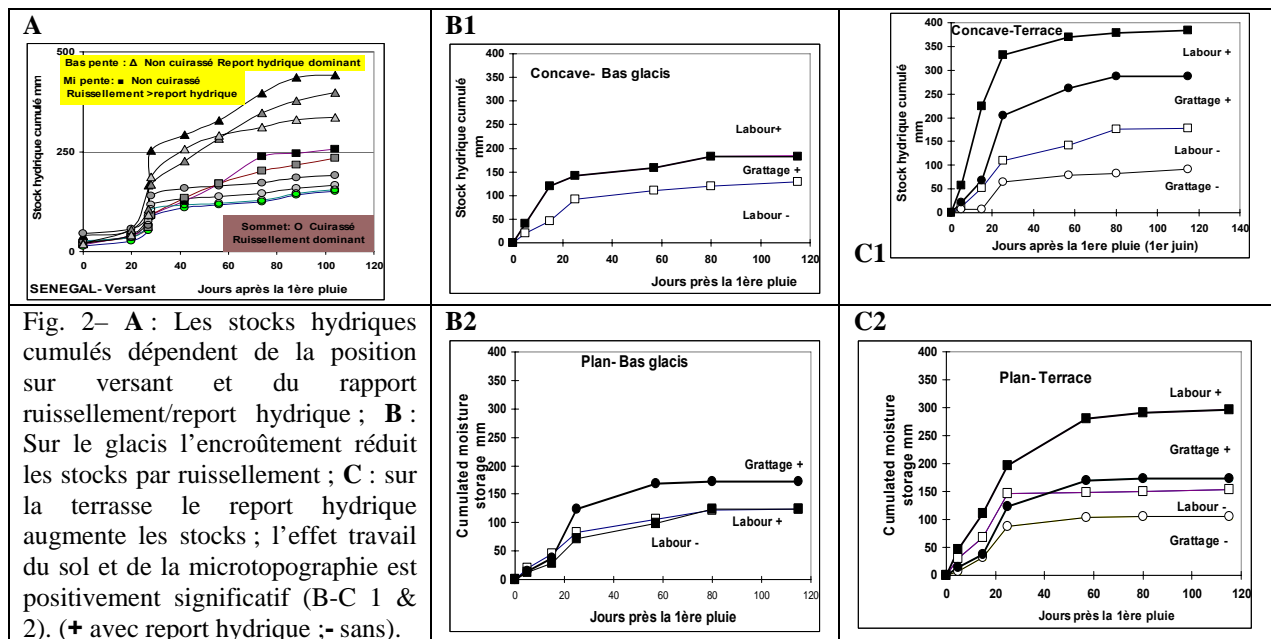
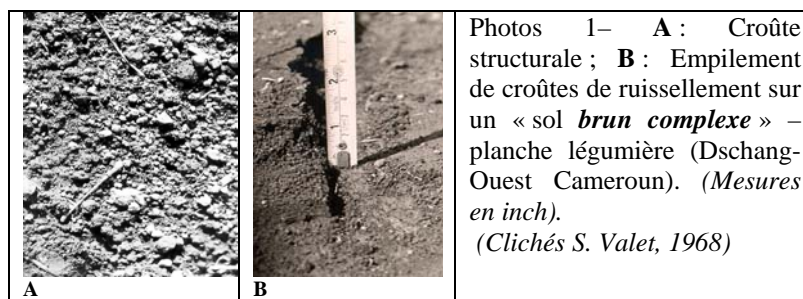


Fig. 2– **A** : Les stocks hydriques cumulés dépendent de la position sur versant et du rapport ruissellement/report hydrique ; **B** : Sur le glacis l’encroûtement réduit les stocks par ruissellement ; **C** : sur la terrasse le report hydrique augmente les stocks ; l’effet travail du sol et de la microtopographie est positivement significatif (B-C 1 & 2). (+ avec report hydrique ; - sans).

Sur la terrasse, la microtopographie joue un rôle significatif dans le piégeage du report hydrique. En année à pluviométrie déficitaire le drainage n’est observé que dans les zones concaves recevant de forts reports hydriques. Ce drainage est une perte hydrique car il réduit le ruissellement et donc le report hydrique pour les unités aval.

### 2.1.3. Effet sur la séquestration du carbone et des nutriments

En zone équatoriale dans l’Ouest-Cameroun, l’effet « splash » des gouttes de pluie provoque l’éclatement des agrégats et le transport par ruissellement et le dépôt des particules triées sur plusieurs épaisseurs quel que soit le type de sol (Photos 1).



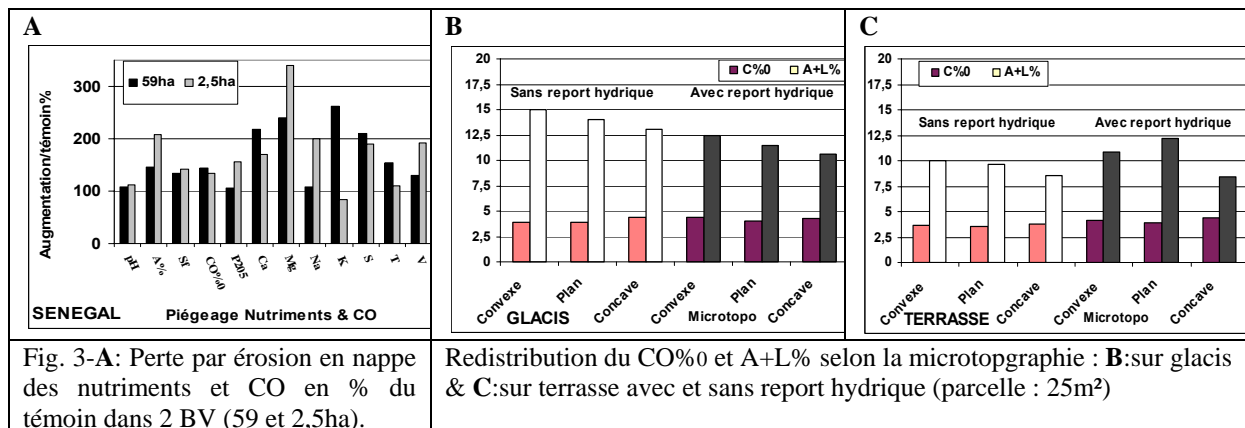
Sur un sol ferrallitique rouge sur basalte ancien (culture de maïs) on observe sur un espace réduit une grande variabilité spatiale de croûtes de comportement différent hydrique et physico chimiques (Tableau 1).

Ces croûtes qui se succèdent dans le temps et dans l’espace s’appauvrissent en carbone organique et en nutriments à l’exclusion des croûtes de décantation dans lesquelles il y a une petite concentration des nutriments et d’argiles. L’instabilité structurale inversement proportionnelle à la teneur en carbone organique croît avec la destruction des agrégats, explique cette variabilité physicochimique spatio temporelle des croûtes.

Tableau 1– Effet de croûtes sur la répartition spatiale du carbone organique, des nutriments, du pH et de l’instabilité structurale après 2 ans de maïs intensifié (Koumelap- Ouest-Cameroun).

Etat de la surface du sol (mai : 2,5 mois après le semis).	Argiles %	Somme cations éch. Méq/100g	pH	C %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimil % <sub>0</sub>	Is (Hénin)
Témoin grumeleux	26.1	4.16	5.5	10.0	0.43	0.05
Croûte de ruissellement	24.8	0.35	5.0	5.0	0.15	0.35
Croûte de ruissellement	29.2	0.61	4.8	1.0	0.16	0.14
Croûte de décantation	50.0	2.18	5.7	2.7	0.10	1.00

Au Sahel, le pourcentage des sédiments érodés apparaissent plus importants dans un bassin versant de 2,5ha que de 59ha par rapport au sol en place (Fig. 3A). Outre les argiles et les limons, le report hydrique exerce un transfert de fertilité par l'accumulation de CO, de P2O5 assimilable et de cations échangeables, avec augmentation du pH, Sur des placettes de 25m<sup>2</sup>, l'augmentation moyenne significative, sur 20cm d'épaisseur de sol, du pH. de 5,8 à 5,9 et de 5,75 à 6,0 et du CO de 3,5 à 3,86 et de 3,62 à 3,9 respectivement sur le glacis et sur la terrasse dans les placettes soumises au report hydrique confirme ce transfert (Fig. 3B & C).



La microtopographie intervient dans la redistribution et la séquestration du CO<sub>2</sub>, des éléments fins et des autres nutriments dans les parcelles protégées du ruissellement (l'année seulement des mesures) et non protégées.

Dans les deux écorégions, cette diversification par taches des propriétés physicochimiques et organiques des sols en modifie la pédogenèse et les potentialités agronomiques.

### 2.1.3. Effet sur la sécheresse édaphique sous irrigation

Sur les périmètres irrigués, la formation des croûtes sous l'effet cinétique des pluies et sous le ruissellement est grandement accélérée par la sodisation et l'alcalinisation (Keren, 1990). Pour le fleuve Niger elle est due au déséquilibre dans le pôle alcalin de l'eau ou dans le fleuve Syr Daria à cause d'une eau de plus en plus chargée en sels car ils sont relargués par les périmètres irrigués situés le long du fleuve (Kazakhstan) (Photos 2A, B & C).



Photos 2A- Croûte sodique structurale & de déposition ; **B**- Croûte alcalino-sodique de décantation (Niger). (Clichés Valet, 1978 et 2002) **C**- Croûte de décantation sodique (Kazakhstan)

Cette salinisation favorise la déstructuration des sols avec baisse de leur réserve en eau utile (Fig. 4). Cette baisse démarre à un seuil faible qui ne confère pas encore à l'horizon le statut d'alcalin ni de sodique (SAR=13,5) (Valet et Le Coustumer, 2004).

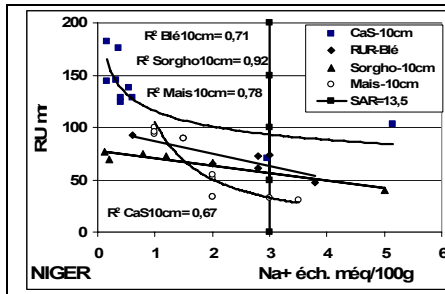


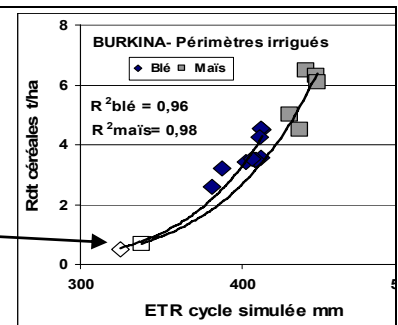
Fig. 4- Relation entre la teneur en  $\text{Na}^+$  échangeable du sol (0-10cm) et la réserve en eau utile (RUmm sur 2m) sous différentes cultures irriguées : Blé, sorgho, maïs et canne à sucre (CaS).

Au Burkina Faso, sur les périmètres irrigués, sur sol brun, c'est le labour exécuté avec une charrue non réversible qui crée des bandes compactées qui s'encroûtent (Photo 3). Leur prise en masse empêche qu'elle puisse être éclatée par des bœufs à faible force de traction.



Photo 3- Cultivateur fabriquant une « bande stérile » encroûtée (Périmètre irrigué de Di) (Cliché S. Valet, 1990).

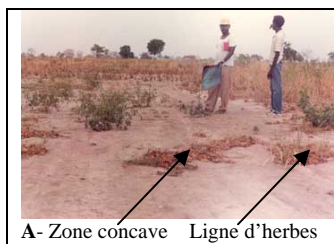
Fig. 5- Effet de l'encroûtement sur l'évapotranspiration réelle et le rendement de céréales (Burkina Faso).



Dans les deux cas, ces croûtes, réduisent proportionnellement l'infiltration et l'alimentation en eau des cultures créant une sécheresse édaphique. Celle-ci explique la variabilité du rendement des cultures obtenues sous irrigation (Coton, arachide, céréales) (Fig. 5).

### 3.2. Conséquences hydrologiques

Au Sénégal, au début de la saison des pluies, l'encroûtement généralisé abrasant toute rugosité sur l'ensemble des bassins versants provoque le ruissellement quasi total d'une première pluie de 31mm (01/06/1984) (Photo 4A). Après le grattage mécanisé sur 65% des bassins (15/06/1984) qui brise la croûte localement la deuxième pluie de 40mm (20/06/1984) pénètre presque totalement (Photo 4B). Le suivi de l'humidité des sols, sur un versant type



A- Zone concave Ligne d'herbes



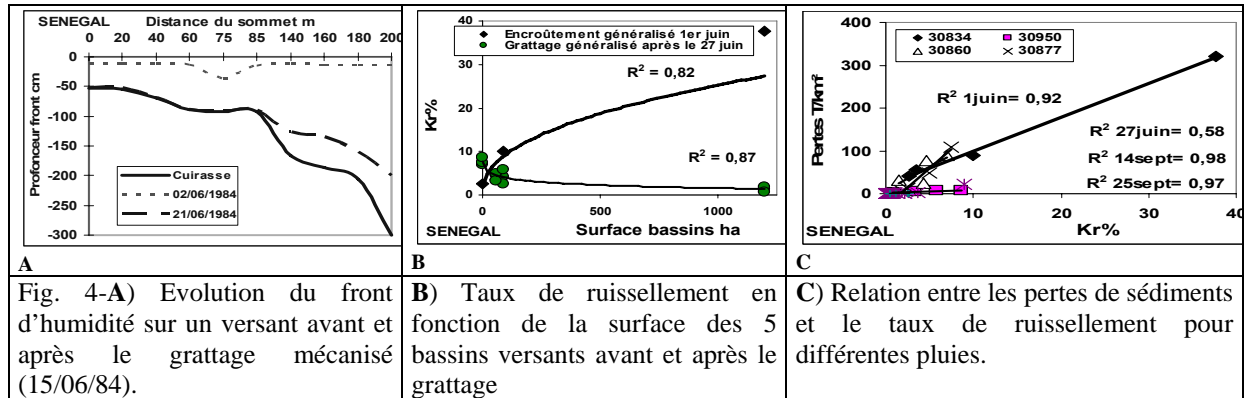
B

Photos 4- Etat de surface : A- Encroûtement généralisé des versants avant le 1er juin; B- après grattage le 15 juin. (Clichés Valet, 1984). (Couteau/Knife= 30cm)

d'un des bassins, montre que la profondeur du front d'humectation passe de 18cm de profondeur à la première pluie à 200cm dans la partie basse non cuirassée, à la deuxième pluie après grattage (Fig. 4A). De telles profondeurs ne peuvent être atteintes que grâce au report hydrique le long du versant. Cette croûte explique le comportement au ruissellement paradoxal des cinq bassins versants de tailles croissantes, de 2,4 à 1200 hectares. En effet le coefficient de ruissellement croît proportionnellement à leur surface pour la première pluie. Alors qu'après la destruction de l'encroûtement il leur est inversement proportionnel pour toutes les autres averses comme il est coutume de l'observer universellement (Fig. 4B). La perte en terre reste toujours proportionnelle au coefficient de ruissellement avec des pentes



des droites qui sont proportionnelles à la hauteur de la pluie. L'effet de la végétation se manifeste par une érosion moindre le 25 septembre avec un mil bien développé que le 27 juin pour une intensité pluviométrique voisine. Les pertes baissent de 27 à 90  $\text{Tha}^{-1}$  à 4,5 à 7,2  $\text{Tha}^{-1}$  respectivement du plus petit bassin au plus grand lorsque le mil passe du stade levé au stade mature (Fig. 4C). L'effet de ces deux facteurs, rugosité et couvert végétal, sur le ruissellement a été démontré à l'échelle du bassin versant par Le Bissonnais et al. (2005).



#### 4. CONCLUSION

Les croûtes superficielles des sols sont l'un des facteurs le plus important de la dégradation des éco(agro)systèmes. Toutefois en certain milieu, à déficit ou à excès d'eau, elles peuvent avoir un effet multiéchelle de service écosystémique en redistribuant les flux hydriques et en séquestrant les nutriments et le CO<sub>2</sub>. Avec le changement climatique, l'écologie est drastiquement modifiée par ce fonctionnement hydrique qui résulte de changements subtils physiques et anthropiques assurant une dynamique hydrique spécifique et des bilans spatialement variables. Aucune classification taxonomique pédologique ne prend en compte l'existence de ces flux hydriques superficiels contrastés et de leur variabilité. On comprendra le parti que pourrait tirer la recherche pédologique et agronomique par la refondation d'une nouvelle classification taxonomique des sols prenant en compte leur fonctionnement hydrique en accord avec leurs propriétés physico-chimiques intrinsèques.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEN HUR M., SHAINBERG I., KEREN B. et GAL M., 1985- Effect of water quality and drying on soil crust properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 49:191-196.
- FELLER C., 2005. La matière organique du sol : un indicateurs de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. *Agriculture et Développement*, 8 : 35-41.
- LE BISSONNAIS, O. CERDAN, V. LECOMTE, H. BENKHADRA, V. SOUCHERE, P. MARTIN, 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interhill erosion. *CATENA*, 62, 111-124.
- KEREN R., 1990- Water-drop kinetic energy effect on water infiltration in sodium-calcium-magnesium soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 54:983-987.
- MOORE D.C. et SINGER M.J., 1990- Crusts formation effect on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 54:1117-1123.
- VALET S. et Ph. Le COUSTOMER, 2004. Sécheresse édaphique sur les périmètres irrigués de l'Afrique de l'Ouest : causes, conséquences et propositions de conservation/réhabilitation des sols. *Etude et Gestion des Sols. AFESS –INRA Avenue de la pomme de Pin. BP 20619, Ardon, France.*

