

La dynamique des systèmes écologiques naturels de la mare d'Oursi est de fait marquée par une forte influence des activités humaines qui s'exercent dans un milieu fragile soumis à de fortes variations climatiques qui se répercutent, à différentes échelles de temps, à la fois sur la végétation et sur les sols ; si bien que beaucoup hésitent maintenant à qualifier de " naturels " de tels écosystèmes.

Toutefois, nous avons tenté dans cette étude de leur dynamique, de faire la part des facteurs naturels, non anthropiques, sur le cycle de l'eau et la production végétale, de façon à caractériser les potentialités de production et d'exploitation des ressources naturelles. C'était l'objectif de l'implantation de six parcelles de mesures de un hectare, mises en défens, caractéristiques des milieux décrits précédemment, et de sept stations de mesures hydrologiques constatant le ruissellement.

L'évolution actuelle de ces milieux est également l'héritage d'une évolution pédo-morphologique qui a modelé le relief et organisé l'emboîtement des différents compartiments des milieux ; cette dynamique est toujours très active sous l'effet des mécanismes d'érosions hydrique et éolienne.

## L'EAU ET LES SOLS

### ÉVOLUTION GÉODYNAMIQUE ET GÉODYNAMIQUE ACTUELLE

Sur cette frange méridionale du Sahara, traditionnellement soumise à des oscillations climatiques importantes, il est difficile de considérer séparément l'action de la morphogénèse et celle de la pédogénèse. Toutefois, la première l'emporte incontestablement durant les périodes arides ou même semi-arides alors que la seconde domine au cours des phases tropicales plus humides. Le Sahel voltaïque a connu successivement ces deux systèmes, et les témoignages de l'un et de l'autre subsistent encore et

même s'imposent dans la physionomie des paysages et dans la dynamique actuelle. C'est la raison pour laquelle il nous a paru impossible d'isoler les deux thèmes. Nous avons donc chaque fois considéré les deux aspects du problème, cette méthode s'imposant d'ailleurs par la nécessité d'intégrer le modelé et les altérations, la dynamique externe et les transferts internes (*cf.* carte 3 h.-t.).

L'esquisse rapide des principales étapes qui ont marqué l'histoire déchiffrable du relief régional a mis en évidence de nombreux témoignages de systèmes morphodynamiques inactuels. Ces systèmes paraissent caractériser deux phases nettement distinctes, successives mais sans qu'il soit possible, dans le cadre de notre étude, d'en préciser la chronologie ni les récurrences.

Les plus anciens témoins consistent en traces de vieilles et profondes altérations de type tropical humide. Le levé cartographique suggère la reconstitution d'une paléotopographie (" Surface fondamentale 1 " sur la figure 11) comprenant :

- les reliefs de gabbros, soumis à une intense altération qui fournissent en abondance du fer largement exporté ;
- de très longs glacis façonnés en fonction d'un réseau hydrographique exoréïque orienté vers le nord (peut-être jusqu'au Béli) ; ces glacis sont l'objet d'une pédogénèse de type ferrallitique ; à leur surface émergent localement des reliefs résiduels : inselbergs granitiques aux formes lourdes, pointements de roches métamorphiques, etc.

Cet équilibre morphoclimatique est perturbé par une aridification qui gagne progressivement les marges méridionales du Sahara. L'évolution vers la sécheresse s'accompagne du démantèlement de la surface précédente, et une " surface fondamentale 2 " (figure 11) s'élabore au détriment des sols ferrallitiques ; ceux-ci, tronqués, n'apparaissent plus que dans les coupes des buttes cuirassées qui, avec les reliefs résiduels amenuisés, accidentent la nouvelle surface. C'est au cours (à la fin ?) de cette évolution, que s'établit le système dunaire W-N-W - E-S-E, témoin de l'avancée vers le sud de sables vifs, qui occulte le drainage vers le nord et provoque la formation de la mare. Seul le Gountouré parvient à s'adapter aux nouvelles conditions et à conserver un contact avec les régions situées au-delà du barrage dunaire.

C'est dans ces conditions que la dynamique des oueds et des glacis a façonné et continue de façonner la " surface fonctionnelle actuelle " (n° 3 sur la figure 11). Deux jalons permettent encore de préciser cette évolution :

- le paléosol rubéfié sur sables dunaires qui supporte localement des traces d'occupation humaine et qui témoigne d'une récurrence humide, peut-être contemporaine de l'élaboration de sols sur la surface 2 comme ceux que l'on rencontre sur l'interfluve entre mare d'Oursi et Gountouwala ;
- le dernier grand apport éolien qui fossilise ce paléosol et qui traduit un retour vers l'aride.

Dans la description des mécanismes de la géodynamique actuelle, il est utile de distinguer l'impact des incisions linéaires, du ruissellement diffus et de la dynamique éolienne.

## LES INCISIONS LINÉAIRES

À l'exception de l'érosion fluviale proprement dite, des incisions linéaires par érosion régressive se manifestent en de nombreux endroits. Nous avons pu observer de quelle manière, et sous quelles conditions, évoluent les ravines dans différents secteurs.

- En zone sableuse, l'ouverture des ravins a été observée en bordure du Gountouré, à son entrée dans la vieille dune. La progression des entailles vers l'amont est préparée, sur une longueur de plusieurs mètres, par un lent travail de suffosion qui se marque par l'alignement de trous circulaires isolés correspondant au soutirage interne du matériau sableux. Il existe ainsi tout un réseau d'ablation souterraine précédant l'entaille proprement dite. La phase cruciale du recul de l'incision vers l'amont paraît être sous la dépendance de l'affouillement des berges du marigot principal. En fin de crue, l'eau se

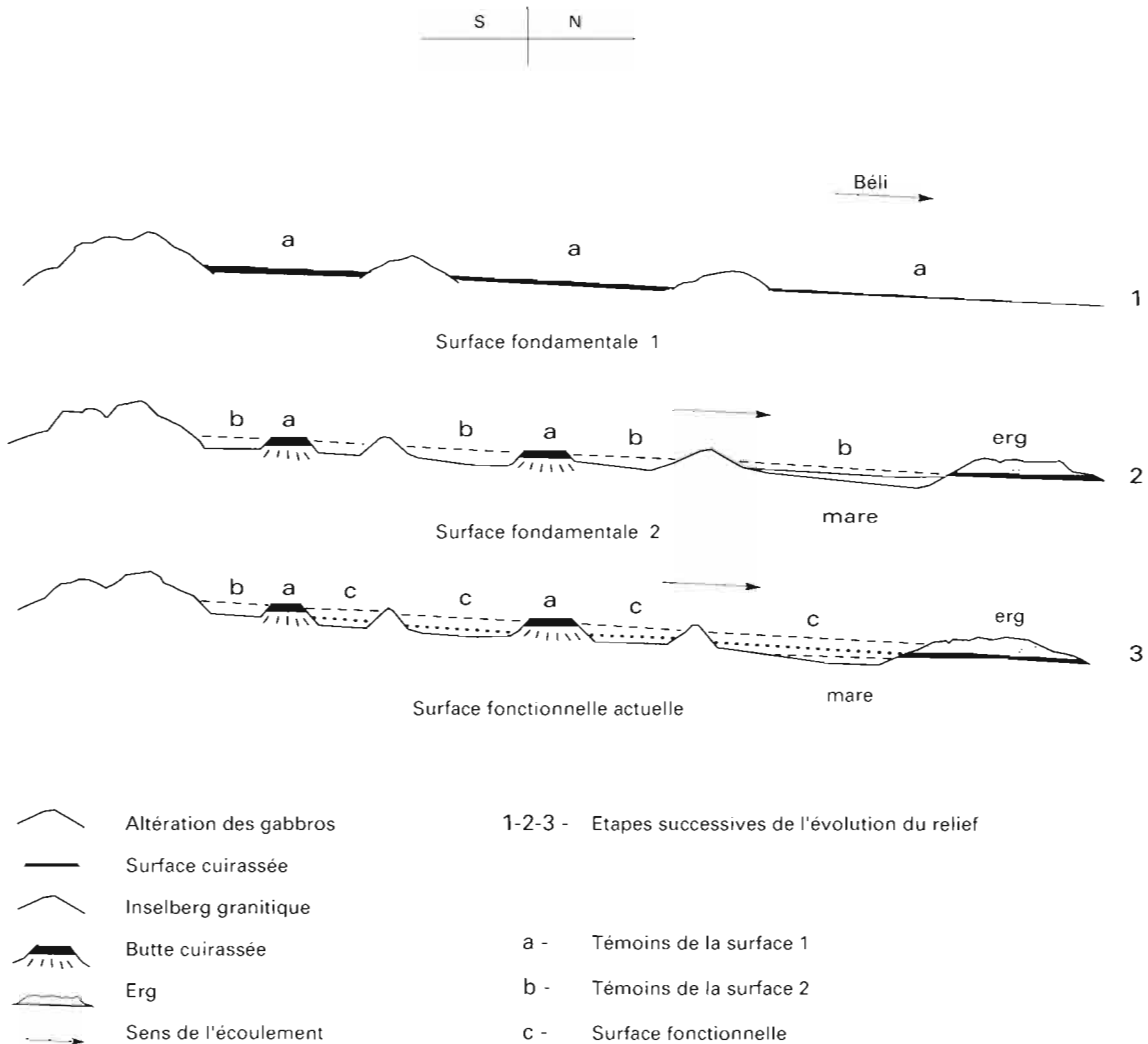


Figure 11 - Schéma d'évolution du bassin de la mare d'Oursi.

concentre dans les chenaux et l'abaissement local du niveau de base provoque un réajustement de tout le système d'écoulement riverain. C'est dans cette phase de baisse des eaux de crues que s'effectue la reprise majeure d'érosion, l'ouverture et l'allongement des ravins. Le même schéma se retrouve également sur le piémont méridional ensablé du sud-est du Tin-Edjar.

— En zone limono-arénacée, il a été possible de suivre trois ans de suite le travail de l'érosion dans une zone située au nord du village de Petoy. Il s'agit d'une région tabulaire à couverture végétale très ouverte et extrêmement dégradée, non loin d'un marigot ; les coupes des ravinelements eux-mêmes montrent, de haut en bas :

- de 0 à 15 cm : une formation limono-sableuse fine, caractérisée en surface par un glaçage accentué
- de 15 à 50 cm : un horizon argilo-limoneux brun rougeâtre, formant saillie, et dans lequel apparaissent quelques nodules diffus
- de 50 à 70 cm : une arène granitique.

Ces ravinelements ont la particularité de progresser très largement, selon des diverticules qui donnent à l'ensemble un aspect lobé. L'incision principale se partage ainsi, en amont, en une dizaine d'incisions

adventices qui éclatent elles-mêmes en une trentaine de diverticules à parois raides de 20 à 25 cm de commandement. La progression de cette érosion nous a paru atteindre en trois ans un développement de 4 à 5 m vers l'amont sur un front de 20 à 25 m de large. Quant au chenal principal, il s'est dans le même temps ouvert de plus de un mètre sans pour autant s'approfondir sensiblement. L'incision paraît se bloquer sur la zone d'altération du granite. La même dynamique s'observe également en bordure d'un chenal sur piémont argilo-limoneux, et sur piémont arénacé, dans les deux cas en l'absence de végétation.

En zone argilo-sableuse, sur le piémont de Kolel, l'érosion linéaire a été suivie à proximité des parcelles expérimentales du CTFT sur une formation complexe sableuse présentant, entre 30 et 65 cm de profondeur, un horizon plus argileux rubéfié. Sur ce piémont en pente faible (moins de 5 %), le réseau de ravines sur sol peu couvert (graminées en saison humide) est important, mais relativement peu ramifié. En revanche, les entailles atteignent rapidement 1,50 à 1,75 m de profondeur. L'évolution se fait par éboulement en paquets au niveau de l'horizon B, en porte à faux au-dessus d'une formation sableuse sapée à la base.

Toutes ces variations dans le mode d'attaque de l'érosion linéaire sont à mettre en rapport avec la texture du matériau, la proximité du drain principal, et surtout la pédogénèse. Cette évolution concerne en priorité des terrains dénudés, où la végétation est dispersée ou fortement dégradée.

## LES RUISSELLEMENTS diffus

Nous avons tenté d'étudier l'impact des tornades sur les différents milieux caractéristiques du secteur d'Oursi, et en particulier d'analyser la dynamique du ruissellement diffus au cours des diverses phases sous averses violentes.

L'observation nous a permis de constater qu'à intensité sensiblement égale de la pluie, après une phase semblable partout, les milieux réagissaient de manière assez différente. Quelques minutes après le début de l'averse, on observe en effet un ennoïement généralisé par une nappe d'eau peu épaisse, qui suit la pente d'écoulement préférentielle. Mais dès que la précipitation diminue, le ruissellement s'organise : d'abord sous forme de chenaux à fleur de sol, largement anastomosés et balayant toute la surface inondée ; puis, une série de petits drains élémentaires se constituent, encore divagants mais susceptibles de s'enfoncer de 1 à 2 ou 3 cm dans la couverture meuble. Ce sont ces deux derniers temps qui sont dynamiquement efficaces. Cela se marque d'ailleurs par le trouble de l'eau, restée claire pendant toute la phase initiale.

La concentration en chenaux anastomosés a pour conséquences :

- sur les glacis arénacés, un granoclassement du matériau, les fines étant évacuées, les sables grossiers et gravillons de quartz n'étant que lavés et parfois légèrement déplacés ;
- sur les glacis argilo-limoneux, l'étalement des particules fines et le comblement des petites dépressions et des fentes de dessiccation ; ce " gommage " a pour effet de préparer le glaçage de la surface au retour de la sécheresse ;
- sur les piémonts cuirassés, des incisions linéaires plus nettement marquées à la suite des tornades ; la concentration de l'eau sur ces surfaces nues et imperméables est rapide, et elle entraîne le creusement ou l'approfondissement de ravines qui divergent autour des buttes ;
- sur les surfaces sableuses cultivées, des effets dissymétriques du ruissellement autour des pieds de mil : affouillement à l'amont et légère accumulation en aval ; on notera la protection efficace des touffes de cram-cram (*Cenchrus biflorus*) arrachées et plaquées contre les tiges ou jonchant le sol.

En définitive, l'efficacité du ruissellement diffus en fin d'averse est indiscutable, et elle s'impose d'autant plus que le sol n'est pas protégé par la végétation. Cette protection est d'ailleurs très variable, selon les secteurs ; mais la plupart des glacis ne portent plus, en hivernage, qu'une couverture herbacée, les arbres étant trop dispersés ou ayant disparu.

## LA DYNAMIQUE ÉOLIENNE

Si la plupart des formations sableuses se sont mises en place au cours du Quaternaire, l'activité éolienne n'a pas cessé pour autant jusqu'à l'époque actuelle incluse. L'erg vif d'Oursi en est la preuve la plus évidente. Et en dehors de cet ensemble il existe encore, sur le territoire étudié, divers témoignages de remobilisation fréquente des sables.

Le levé topographique a mis en évidence un saupoudrage éolien récent, non seulement dans les situations d'abri, mais très répandu sur tout le domaine et particulièrement sur les piémonts. Ces accumulations sont en partie compensées, et alimentées, par des phénomènes de déflation également répartis sur la quasi-totalité du territoire. Tous les sondages, fosses et coupes observés sur les glaciers montrent en effet l'existence d'une couverture sableuse d'au moins quelques centimètres, sauf dans les zones de très forte érosion.

Cet apport éolien s'organise en petites nebkas dès que la végétation le permet. Une coupe dans une de ces microformes a révélé une disposition litée correspondant à un granoclassement alterné de sable grossier, sable fin et même limon. Dans ces lits étaient inclus de petits gravillons de quartz de 4 à 5 mm. Et l'ensemble reposait en discontinuité texturale sur une formation limono-sableuse légèrement humifère. Le rôle de ces placages sableux n'est pas sans bénéfice pour le milieu. Ils peuvent en effet retenir de l'eau, fixer les graines et redonner localement aux glaciers une meilleure couverture végétale protectrice.

L'origine principale de ces dépôts sableux réside dans les tempêtes sèches ou les coups de vent qui précèdent les averses. On peut d'ailleurs voir là une des explications de l'accumulation préférentielle éolienne sur le piémont de Kolel. Les tornades, en provenance du N-E, se chargent de sable sur l'erg vif et viennent heurter de plein fouet le relief en abandonnant leur phase grossière. Les observations du CTFT le montrent bien qui ont constaté, dans les cuves des parcelles expérimentales, une charge sableuse inversement proportionnelle à la nudité du sol : 6,4 kg par exemple après plusieurs heures de vent dans la cuve de la parcelle Wischmeier, et 13,5 kg dans celle de la parcelle cultivée. Ceci est loin d'être négligeable si l'on considère par ailleurs le nombre de coups de vent efficaces. Mais, en fait, de petites différences de situation par rapport au modelé local du terrain et par rapport au lit du vent peuvent créer des écarts considérables dans les piègeages, d'où la nécessaire prudence dans l'interprétation de mesures ponctuelles.

Pourtant la répartition de ces dépôts, dans ce contexte particulier, n'est plus directement en rapport avec la dynamique éolienne. C'est finalement le ruissellement diffus qui redistribue le sable, en fonction de sa propre compétence. C'est ce qui explique, entre autres, la relative régularité de la couverture sableuse sur les glaciers.

## MESURES D'ÉROSION SUR PARCELLES <sup>(1)</sup>

La quantification des phénomènes de dynamique actuelle aurait nécessité la mise en place et la surveillance d'un dispositif de mesures qu'il n'a pas été possible de réaliser dans le cadre du projet " Mare d'Oursi " ; en particulier les mesures des transports solides dans les marigots et des dépôts dans la mare n'ont pas pu raisonnablement être entreprises faute d'un dispositif fiable de prélèvements et d'un laboratoire d'analyses à Ouagadougou.

Nous disposons cependant des mesures de ruissellement et d'érosion effectuées sur parcelles par le CTFT, dont il convient de préciser le contexte et l'objectif avant de considérer les résultats obtenus comme représentatifs de la dynamique érosive sur l'ensemble des sols du bassin.

Les trois parcelles d'érosion ont été installées en piémont du massif de Kolel sur un placage sableux d'origine éolienne, afin d'évaluer l'effet de la mise en culture de ces sols réputés fragiles.

<sup>(1)</sup> D'après PIOT et MILLOGO, 1980.

Les paramètres d'intensité de la pluie, d'intensité du ruissellement, de pertes en terre et de rendement des cultures ont été suivis pendant 3 ans sur :

- 1 parcelle cultivée traditionnellement de 3 105 m<sup>2</sup> avec une pente de 5 % = Pc ;
- 1 parcelle mise en défens clôturée de 2 838 m<sup>2</sup> de même pente 5 % = Pp ;
- 1 parcelle dite de Wischmeier de 100 m<sup>2</sup> et de 6,25 % de pente en condition d'érodibilité maximale = Pw.

Sur les résultats bruts énoncés dans le tableau XXIII, on peut faire les commentaires suivants :

- Les 3 années suivies sont fortement déficitaires en pluviométrie totale et en pluies de forte intensité : la moyenne des R<sub>p</sub> calculée à Dori sur 15 ans est de 261 points, alors qu'on ne dépasse pas ici 171 points pour l'année 1977 la plus abondante.
- L'effet de la pente n'est pas mis en évidence sur des parcelles installées en parallèle sur un même versant, mais il est sûrement considérable sur ce type de sol. Les champs cultivés ne dépassent généralement pas 3 % de pente.
- L'effet de la réinstallation de la végétation naturelle sur la parcelle protégée (Pp) est très spectaculaire sur les dernières années ; la protection du sol par la végétation en place, même desséchée, joue plus que la destruction des pellicules de battance par le travail du sol sur la parcelle cultivée.

TABLEAU XXIII

Ruissellement et pertes en terre mensuels sur parcelles (d'après PIOT et MILLOGO, 1980)

Parcelles		Pc				Pp		Pw	
		P <sub>mm</sub>	R <sub>p</sub>	K <sub>r</sub>	PT	K <sub>r</sub>	PT	K <sub>r</sub>	PT
1977	Mai	10,0	-	-	-	-	-	-	-
	Juin	57,9	42,1	30,7	2873	31,7	3421	19,9	1 978
	Juillet	117,5	44,0	3,5	470	27,8	2582	5,2	10 986
	Août	134,7	61,9	2,9	185	10,9	240	1,2	6 459
	Septembre	62,5	23,3	1,5	26	6,9	17	1,0	1 945
Total annuel		387,6	171,3	7,2	3553	18,8	6260	5,3	21 369
1978	Mai	-	-	-	-	-	-	-	-
	Juin	29,0	-	0,5	49	3,5	18	2,2	1 385
	Juillet	138,7	24,8	8,3	400	9,0	128	12,4	7 465
	Août	54,1	13,9	2,7	53	5,8	24	1,1	4 460
	Septembre	57,0	15,5	2,0	12	1,7	40	1,1	938
Total annuel		278,8	53,3	4,5	513	6,0	210	6,4	14 248
1979	Mai	40,2	7,9	0,3	14	3,5	19	1,7	1 044
	Juin	19,4	5,65	0,2	14	2,7	62	12,6	1 704
	Juillet	65,9	18,3	2,5	82	3,4	69	9,5	8 088
	Août	101,5	27,1	3,9	144	3,6	36	8,0	6 433
	Septembre	56,9	16,9	14,7	570	7,6	38	0,6	483
Total annuel		289,3	75,9	4,8	824	4,2	223	6,2	17 752

P : hauteur de pluie en millimètre.

R<sub>p</sub> : indice d'agressivité des pluies de Wischmeier,  $R_p = 0,0158 P \times I_{30}^{-1,2}$ .

K<sub>r</sub> : coefficient de ruissellement en pourcentage.

PT : pertes en terre en kilogrammes par hectare.

- À part l'impact de la forte pluie du 12 juin 1977, arrivant sur un sol dénudé pour les 3 parcelles, l'effet de la mise en culture de ces sols fragiles ne semble pas très néfaste au plan de l'exportation des terres arables. Mais les pratiques culturales appliquées sur la parcelle Pc favorisent l'infiltration des pluies de faible intensité enregistrées en 1978 et 1979. Qu'en serait-il dans un champ paysan au-delà d'un certain seuil d'agressivité des pluies et entre des sarclages trop espacés ?
- Les pertes en terres mesurées sont extrêmement variables d'une année à l'autre et surtout d'un épisode pluvieux à l'autre. En fait, l'essentiel des pertes en terre se produit au cours de 3 ou 4 épisodes pluvieux intenses au cours de la saison des pluies et l'état de surface du sol joue le rôle régulateur principal ; les bilans annuels et les moyennes interannuelles n'ont pas grande signification dans ce contexte. C'est surtout la démonstration de l'efficacité de la protection du sol, par rapport à la parcelle dénudée et ratissée de Wischmeier, qui est intéressante ici, en dehors de la valeur absolue des chiffres obtenus.
- Les chiffres de pertes en terre sur des parcelles de moins d'un hectare sont dans la gamme des mesures faites dans des conditions voisines au Sahel (3 à 6 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) mais n'ont plus de signification à l'échelle du bassin versant et même de la toposéquence : les mécanismes d'érosion linéaire, de transfert dans les chenaux, de déposition et de reprise d'érosion ou de transport ne sont pas appréhendés dans ces protocoles de mesures. Si, en effet, les zones de glacis qui couvrent 60 % de la surface du bassin versant de la mare d'Oursi perdaient en moyenne 2 000 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> de terre, les apports de sédiments à la mare seraient de l'ordre de 30 000 tonnes par an soit à peine 20 000 m<sup>3</sup>.an<sup>-1</sup>, ce qui n'expliquerait pas le comblement progressif de la mare et les phénomènes d'endoréisme observés dans toute la région.

Pour rapide qu'elle soit, cette brève analyse de la dynamique actuelle permet de remarquer :

- l'importance considérable des débits des marigots et des transports par ruissellement concentré en hivernage ;
- la généralisation du transfert en suspension de particules fines le long des glacis par le ruissellement diffus, dans la phase décroissante des averses ;
- l'estimation, même très approchée, du volume sableux déplacé dans les coups de vent.

Dans ce milieu endoréique, c'est finalement dans la mare que viennent s'accumuler tous ces matériaux.

C'est finalement un ensemble complexe qui sert de cadre à l'activité humaine contemporaine. Il est essentiellement soumis aux trois dynamiques ci-dessus analysées : dynamique éolienne, dynamique fluviale et ruissellement diffus. La première peut agir par déflation, ou par accumulation. Les deux autres concourent toujours au modelé des formes et à l'exportation des formations mobilisables.

Les observations faites à partir des fosses ouvertes en avril 1979 ont en outre permis de montrer l'importance relative de l'érosion et des transferts superficiels par rapport à la pédogénèse. Tous les profils étudiés sont plus ou moins tronqués, au point qu'on peut s'interroger sur le caractère hérité ou simplement figé de ces sols. Les mesures neutroniques d'humidité du sol permettant de connaître la profondeur de pénétration de l'eau paraissent conforter cette hypothèse. Le ruissellement joue donc un rôle prépondérant et nuisible, d'une part en ce qui concerne l'érosion de la couverture meuble des versants, d'autre part par le lent comblement de la mare, fonction du volume de matériel transporté par les marigots en hivernage. Et ceci d'autant plus que les apports éoliens contribuent eux aussi au comblement de la mare, dans une proportion mal connue mais qui pourrait être précisée par des carottages systématiques dans ses alluvions.

Le bilan de cette analyse est en définitive assez clair. Le ruissellement diffus, même si son action est intermittente et difficile à évaluer, représente la dynamique la plus dégradante et, à long terme, la plus dangereuse pour ce milieu sahélien en butte à des déséquilibres fréquents. C'est contre elle qu'il convient de lutter en premier lieu et tout ce qui conduit à la favoriser doit être à surveiller étroitement.