

Utilisation d'un appareil de mesure simple, et précis, pour l'étude de l'érosion à Mayotte

Jean-Baptiste FERET¹
Jean-Michel SARRAILH²

¹ Ensam
2, place Pierre-Viala
34000 Montpellier
France
² Cirad
7, chemin de l'Irat
97410 Saint-Pierre
La Réunion
France

Il est essentiel de pouvoir quantifier l'érosion d'origine naturelle ou humaine qui provoque l'envasement du lagon de l'île de Mayotte par des apports de terre provenant des bassins-versants. Les mesures précises effectuées à l'aide de l'appareil mis au point par des chercheurs du Cirad contribuent à une meilleure connaissance du phénomène et de son évolution, ce qui permettra de proposer des aménagements anti-érosifs et des pratiques culturales telles qu'une couverture du sol permanente.



Apports de terre, vers la mangrove.
Photo J.-M. Sarrailh.

Jean-Baptiste FERET,
Jean-Michel SARRAILH

RÉSUMÉ

UTILISATION D'UN APPAREIL DE MESURE SIMPLE, ET PRÉCIS, POUR L'ÉTUDE DE L'ÉROSION À MAYOTTE

Le lagon de Mayotte est soumis à un fort envasement provoqué par l'érosion intense qui s'exerce sur les bassins-versants. Les sols nus dénommés localement *padzas* et les terrains en forte pente, cultivés en manioc, en sont principalement la cause. Un appareil de terrain a été élaboré pour mesurer l'érosion dans ces conditions, qui offre l'avantage d'être très bon marché, simple à utiliser et facilement transportable quelle que soit la configuration du terrain. On a pu tester l'appareil, pour les mois les plus arrosés de la saison des pluies 2003-2004, et évaluer l'érosion sur ces terrains. Pour faire une estimation de l'érosion à l'échelle de bassins-versants, à l'amont des mangroves, on a utilisé le modèle de l'érosion Usle (*Universal Soil Loss Equation*), en fournissant à ce modèle les données nécessaires sur la pluviométrie, les sols, les couvertures végétales (photos aériennes), les pentes et les données ainsi obtenues concernant les conditions extrêmes qui occasionnent l'essentiel des départs de terre. Ces données permettent de tenter d'extrapoler l'érosion à l'échelle de bassins-versants modèles, dont on a pu suivre l'évolution des couvertures végétales sur une cinquantaine d'années. On constate que, malgré une diminution forte des surfaces occupées par la forêt primaire, l'érosion à l'échelle du bassin-versant n'augmente pas de façon inquiétante.

Mots-clés : érosion, mangrove, couverture végétale, conservation du sol, Mayotte.

ABSTRACT

USING A SIMPLE, ACCURATE MEASURING APPARATUS TO STUDY EROSION IN MAYOTTE

Mayotte's lagoon is subject to severe siltation as a result of intensive erosion of the island's catchment basins. The main sources are the bare soil areas known locally as *padzas* and cassava cultivation on steep slopes. A device for use on site has been developed to measure erosion under these conditions. The device is cheap, simple to use and easy to carry over every kind of terrain. The apparatus was tested during the rainiest months of the 2003-2004 rainy season in order to assess erosion in the chosen terrain. To estimate erosion on the scale of the catchment basin, above the mangrove swamps, we used the USLE (*Universal Soil Loss Equation*) erosion model, supplying it with the necessary data on rainfall, soils, plant cover (aerial photographs) and slopes, and the resulting data concerning extreme conditions that cause most of the soil stripping. With these data, we attempted to extrapolate erosion to the scale of the modelled catchment basins, monitoring their plant cover over about fifty years. This showed that despite a considerable reduction in the areas covered by old-growth forest, erosion on the scale of the entire catchment basin did not increase in proportions of serious concern.

Keywords: erosion, mangrove, plant cover, soil conservation, Mayotte.

RESUMEN

UTILIZACIÓN DE UN APARATO DE MEDICIÓN SIMPLE Y PRECISO PARA EL ESTUDIO DE LA EROSIÓN EN MAYOTTE

La laguna de Mayotte padece un importante aterramiento producido por la intensa erosión que se ejerce en las cuencas de drenaje. Los suelos desnudos denominados localmente *padzas* y las tierras de fuerte pendiente, cultivadas con mandioca, son las causas principales. Se elaboró un instrumento de campo para medir la erosión en estas condiciones. Presenta la ventaja de ser muy barato, fácil de usar y transportar en cualquier tipo de terreno. Se pudo probar el aparato, en los meses con más precipitaciones de la temporada de lluvias 2003-2004, y evaluar la erosión sobre estas tierras. Para hacer una estimación de la erosión a escala de las cuencas de drenaje, aguas arriba de los manglares, se utilizó el modelo de erosión USLE (*Universal Soil Loss Equation*), alimentando este modelo con los datos necesarios de pluviometría, suelos, coberturas vegetales (fotos aéreas), pendientes y los datos obtenidos relativos a las condiciones extremas que originan la mayor parte de las pérdidas de tierra. Estos datos permiten intentar extrapolar la erosión a escala de cuencas de drenaje modelo, en las que se ha podido seguir la evolución de las coberturas vegetales durante unos cincuenta años. Se constata que, a pesar de una fuerte disminución de las áreas ocupadas por el bosque primario, la erosión a escala de la cuenca de drenaje no aumenta de manera preocupante.

Palabras clave: erosión, manglar, cobertura vegetal, conservación del suelo, Mayotte.

Contrôle de l'érosion : les enjeux

L'île de Mayotte se situe dans l'archipel des Comores, dans l'océan Indien. Elle est entourée d'un vaste lagon, d'une superficie d'environ 1 500 km².

Les phénomènes d'érosion, qu'ils soient naturels ou causés par l'activité humaine, contribuent à l'envasement du lagon et doivent donc être contrôlés. En particulier les *padzas* (des zones d'érosion intense, généralement localisées sur les crêtes), qui sont des terrains non exploités du fait de leur pauvreté et de leur instabilité. De même, la mise en culture de terres en forte pente, associées à des cultures peu couvrantes (manioc), s'avère fortement érosive.

Il existe des filtres naturels à ces apports dans le lagon, le principal étant la mangrove, mais celle-ci est menacée dans le schéma de développement de Mayotte, et sa capacité de filtration est limitée. Il est donc essentiel de pouvoir quantifier ces apports terrigènes de différentes origines, afin de proposer des arguments pertinents au contrôle de la dynamique des mangroves, et d'évaluer les risques liés à cette érosion pour l'environnement mahorais.

Dans le cadre de l'Ifrecor (Initiative française pour les récifs coralliens), le Cirad a été sollicité par le Service environnement forêt de la Direction de l'agriculture et de la forêt (Daf-Sef) pour évaluer l'évolution des apports de terre vers les mangroves, en association avec le bureau d'études mahorais Espaces.



Les apports terrigènes du bassin-versant vers le lagon, à Mayotte.
Photo J.-M. Sarrailh.

Méthode d'évaluation

La méthode développée pour évaluer les apports de terre vers les mangroves consiste à utiliser un modèle d'érosion que l'on va appliquer à des bassins-versants dominant des mangroves. Cela a pu être réalisé, dans le cadre d'une première étude, sur sept bassins-versants qui représentent environ un tiers de la superficie totale de l'île (HOLLEY, 2003). Pour utiliser le modèle de Wischmeier (ROOSE, SARRAILH, 1990), l'étude s'est fondée sur les cartes pluviométriques et du sol, la topographie (modèle numérique de terrain) et des photos aériennes, pour suivre l'évolution des couvertures végétales sur une cinquantaine d'années (HOLLEY, 2003). Des études précédentes (LAPÈGUE, 1999 a) ont permis de mesurer l'érosion au moyen de parcelles d'érosion pour des pentes inférieures à 20 %, et on a pu vérifier la validité des résultats obtenus par le modèle (à l'échelle de la parcelle). Ce modèle est cependant mal adapté aux *padzas* et aux cultures sur fortes pentes, qui sont pourtant les deux compartiments qui contribuent le plus au bilan de l'érosion. Une première approche de l'érosion sur *padza* a été réalisée par relevés topographiques (LAPÈGUE, 1999 a). Il est apparu nécessaire de préciser les bases d'une évaluation plus pertinente des dépôts terrigènes au niveau de ces zones de sol nu, fortement érosives.

Pour les *padzas*

Le *padza* désigne une zone dépourvue de végétation ou couverte d'une végétation herbacée. Les *padzas* sont localisés sur les crêtes.

Ces *padzas* sont le siège d'une forte érosion généralisée qui affecte les matériaux tendres. Ils sont la conséquence d'une érosion naturelle, parfois accélérée par l'homme. Ce paysage n'est pas spécifique à Mayotte mais y présente certaines caractéristiques.

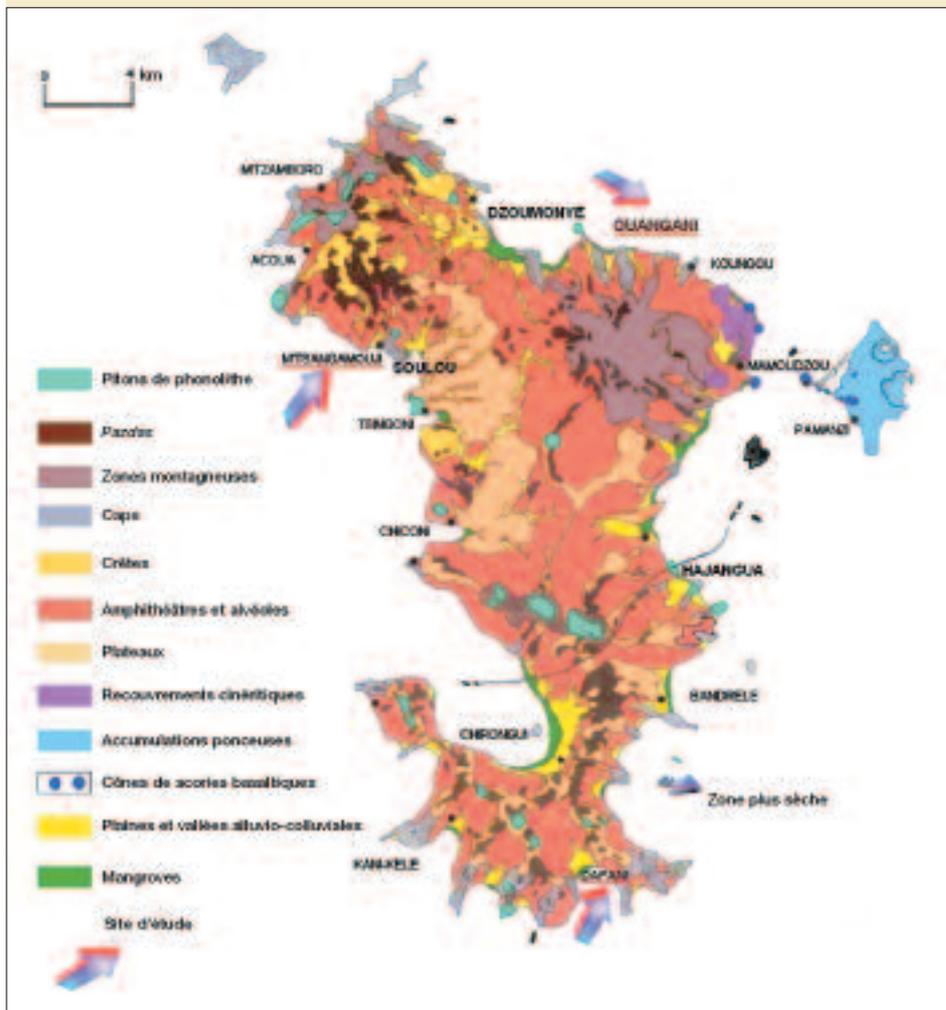


Figure 1.

Carte morpho-pédologique de Mayotte (d'après M. RAUNET, 1992) et localisation des sites de l'étude.

On retiendra qu'à l'exception des roches récentes et des reliefs toutes les roches ont été altérées et forment aujourd'hui une épaisse couche d'altérites. En surface, le sol a subi des mouvements de masse, laissant l'horizon altéritique à nu après le décapage de l'horizon B.

L'une des propriétés importantes est la capacité d'infiltration quasi nulle, qui entraîne lors des pluies un ruissellement important se traduisant par des ravinements profonds. La faible réserve hydrique, la compacité et la faible porosité du sol empêchent l'enracinement profond et l'installation d'une végétation

lignee susceptible de ralentir ou de s'opposer à ce processus rapide de décapage. Il peut cependant y avoir des phases provisoires de ralentissement du processus qui permettent l'installation d'une végétation semi-couvrante.

Ainsi 15 % des padzas de 1991 ont-ils été recolonisés par une végétation dense, et 50 % repris par des cultures peu couvrantes. Par télédétection, on peut suivre l'évolution des surfaces : les padzas couvraient une surface estimée à environ 2 000 ha en 1977 (LATRILLE, 1981), 2 600 ha en 1992 (RAUNET, 1992) et 2 380 ha en 1997 par la Daf-Sef. Il faut noter,

cependant, que des efforts constants sont faits pour la réhabilitation des padzas (IZARD *et al.*, 1998), comme les plantations d'*Acacia mangium* (300 ha depuis 1996), ainsi que les techniques de génie civil, pneus, sacs de terre, par la Daf-Sef.

Sur ce type de terrain, le choix des sites d'étude a été guidé par un certain nombre de caractéristiques : la pluie, la nature des sols, l'appartenance à l'un des sept bassins-versants retenus dans l'étude de Holley et l'accessibilité en saison des pluies. Suite à plusieurs prospections, deux sites ont été retenus : Dapani dans le sud et Mtsangamouji dans le nord (figure 1).

Le padza de Dapani est inclus dans une zone appartenant à la Daf-Sef, qui y réalise des travaux de réhabilitation avec *A. mangium*. Il est équipé de dispositifs anti-érosion (pneus et sacs pour couper la pente).

Le padza de Mtsangamouji se situe sur des terrains inoccupés appartenant à la collectivité, dans une zone relativement étendue et diversifiée.

Pour les champs de manioc

En raison de la pression démographique et alimentaire, les terres cultivées de Mayotte sont de moins en moins mises en jachère et gagnent toujours plus sur les terrains en pente. Cette tendance associée aux pratiques agricoles peu regardantes sur la conservation du sol (brûlis, peu ou pas d'apports sous forme de matière azotée organique, pas de dispositifs anti-érosion) et aux espèces cultivées (des cultures sur pente, peu couvrantes, du moins pendant une période critique de l'année, comme le manioc planté en début de saison humide) fait que l'érosion s'intensifie au sein des parcelles cultivées, emportant la couche fertile superficielle, rendant les terres nouvellement mises à la production très rapidement inutilisables et les livrant à une érosion d'autant plus intense.

Le site d'étude choisi est localisé dans le nord de l'île à Ouangani, chez un agriculteur.

Matériel et méthodes

L'idée initiale du projet était d'effectuer, à l'aide d'un appareil relativement simple, des mesures précises (de l'ordre du millimètre) sur des terrains nus. Étant délibérément écartée l'idée de dispositifs lourds du type parcelle d'érosion. Dans le cahier des charges, il était prévu que le matériel soit suffisamment léger pour pouvoir être transporté sur des pentes très fortes, loin des chemins d'accès, et que les mesures puissent être réalisées sous la pluie, sans dommage pour l'appareil. De plus, le véhicule disponible étant un deux-roues, nous avons été amenés par la suite à rendre l'appareil encore plus compact. La conception en a été étudiée en commun par le Cirad Mayotte (Patrice Autfray) et le Cirad Réunion (Éric Rivière et Jean-Michel Sarrailh).

Un appareil a été mis au point, l'érodimètre différentiel à aiguilles (Eda), constitué d'une règle de maçon en aluminium de 2 m de long, sertie de 10 tubes espacés de 20 cm,

chacun supportant une aiguille amovible en aluminium de 50 cm à 1 m de long et de 6 mm de diamètre. Le choix des matériaux a permis d'obtenir un appareil léger (moins de 4 kg), facile à transporter sur le terrain et suffisamment rigide quand il est installé sur champ (figure 2). Il est envisageable d'installer un système de charnières au milieu du dispositif pour réduire l'encombrement.

Le but de ce dispositif est d'obtenir un profil du sol à intervalles réguliers (les mesures peuvent être prises après chaque épisode pluvieux intense ou arbitrairement toutes les deux semaines) avec la plus grande précision possible (de l'ordre du millimètre). Pour cela, il est nécessaire, après avoir déterminé les différentes typologies dont on évaluera l'érosion, de placer sur ces sites des fers à béton qui soient suffisamment bien enfoncés dans le sol pour être considérés comme fixes durant toute la période de collecte des données (une saison humide).

L'Eda doit être systématiquement utilisé selon la même méthode :

- Fixation des fers à béton profondément dans le sol, espacés d'environ 1,90 m, dépassant du sol de 20 à 50 cm (un niveau plus élevé est envisageable pour les sols très accidentés ou les buttes de manioc parfois supérieures à 50 cm). Les broches des fers devront être orientées vers le bas de la pente.
- Mise à niveau de la règle par ajustement plus fin des fers à béton.

Ces deux opérations sont effectuées lors de la première étape d'installation du dispositif. Il est aussi nécessaire, au préalable, de marquer les aiguilles pour repérer une partie haute et une partie en contact avec le sol. L'idéal serait de marquer les aiguilles de façon à utiliser systématiquement la même aiguille dans le même tube, pour s'affranchir des imprécisions dues aux imperfections propres à chaque aiguille.

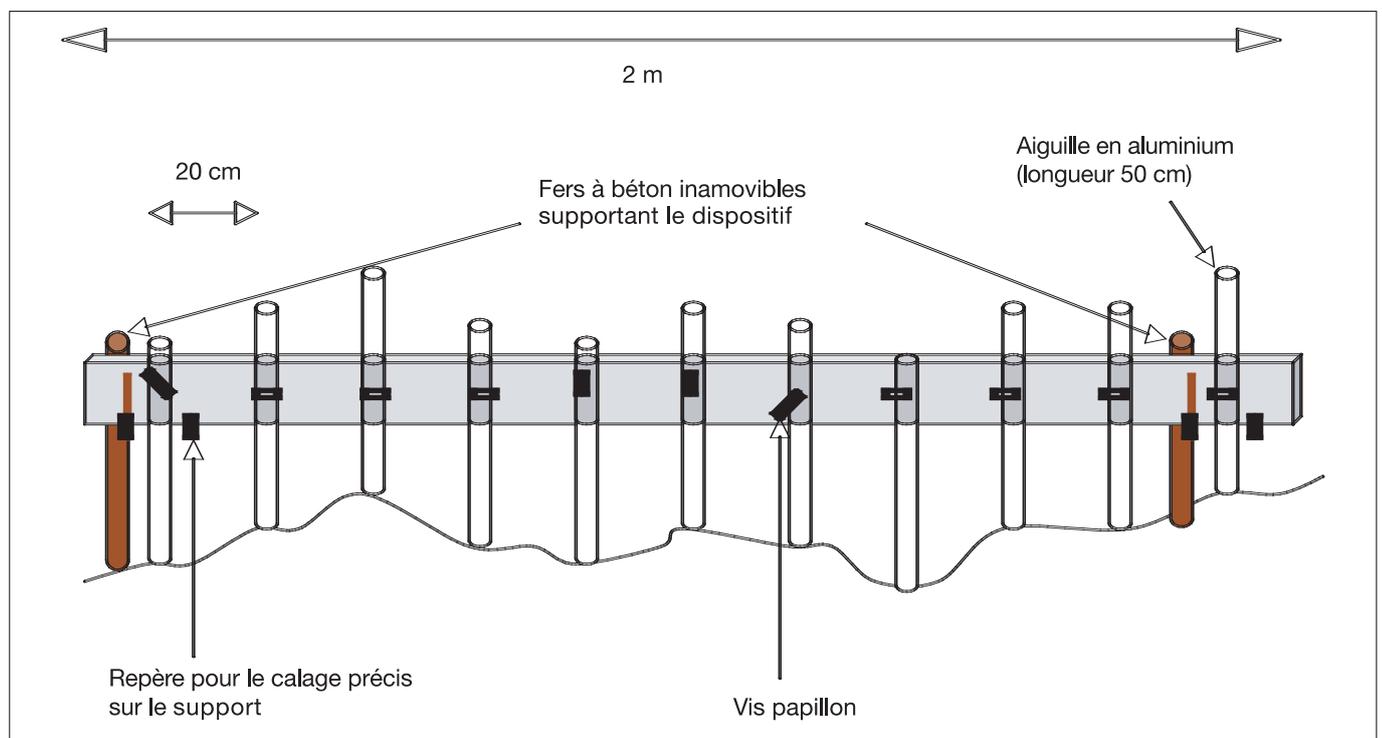


Figure 2.
Schéma explicatif de l'érodimètre différentiel à aiguilles.



Les apports terrigènes du bassin-versant vers le lagon, à Mayotte.
Photo J.-M. Sarrailh.

Une fois les fers de support placés et les aiguilles marquées, il reste à prendre les mesures :

- orienter la règle avec aiguilles vers le bas de la pente ;
- veiller à ne jamais marcher sur le terrain en amont du dispositif pour ne pas influencer sur le phénomène mesuré, et se placer donc toujours en bas de l'appareil pour effectuer les mesures ;
- caler la règle selon le repère extérieur gauche (en ayant les tubes face à soi) ;
- mettre en place les aiguilles dans les tubes, en faisant descendre minutieusement au niveau du sol jusqu'à contact, sans enfoncement, et serrer avec la vis papillon ;
- une fois toutes les aiguilles placées, retirer l'Eda de son support et mesurer la longueur de chaque partie d'aiguille dépassant du tube ;

- placer la règle en la calant sur le repère intérieur gauche et recommencer une série de mesures.

(On pourrait envisager, comme amélioration et pour gagner du temps par la suite, de graduer les aiguilles.)

Les mesures à l'Eda fournissent des séries de données chiffrées et graphiques permettant d'apprécier, entre chaque mesure, les variations de hauteur de terre sur chaque transect. À partir de la méthode développée, on a pu obtenir :

- 200 points de mesure (10 transects) sur le padza de Mtsangamouji ;
- 180 points (9 transects, si on compte le site sur lequel les sacs anti-érosion ont versé) sur le padza de Dapani ;
- 140 points (initialement 160 points, mais l'un des huit transects a été dégradé) sur les champs de manioc de Ouangani.

Résultats

Mesures de répétitivité

Pour s'assurer que l'Eda offre la précision souhaitée pour les mesures, il a été nécessaire de procéder à des mesures de répétitivité.

Après avoir coupé la règle en deux et l'avoir rigidifiée par des plaques, les mesures de répétitivité ont été effectuées sur le site du Cirad de Dembeni. Pour s'assurer de la fiabilité des mesures elles-mêmes, d'une part, et de la fiabilité du système de fixation par plaques facilitant le transport, d'autre part, deux types de mesures ont été effectués.

Dans un premier temps, après avoir planté des piquets dans le sol, selon le même protocole que sur le terrain, cinq séries de mesures ont été effectuées sans démonter la règle, comme expliqué ci-après : la règle est calée de façon à prendre les mesures tous les 20 cm de 10 à 190 cm sur le profil, le calage s'effectue donc sur l'équerre la plus à gauche sur la règle. Après avoir minutieusement baissé et bloqué les aiguilles, la règle est décrochée de ses supports, puis les mesures sont effectuées sur les aiguilles en prenant pour repère le bout de l'aiguille d'un côté et la section du tube guidant l'aiguille de l'autre. Puis les aiguilles sont dévissées et la règle est recalée cette fois pour obtenir dix mesures à intervalle régulier de 20 à 200 cm (repère : deuxième équerre du bord gauche). On procède de même pour mesurer les aiguilles. La manipulation est donc recommencée cinq fois. Cela permet de s'assurer d'abord que la règle en elle-même est fiable (précision des aiguilles, facilité de mesure), mais aussi que le décalage de la règle pour obtenir la deuxième série de mesures ne crée pas d'incertitudes.

L'écart-type est situé entre 0,44 et 2,3 (figure 3), avec en moyenne sur les 20 points de mesure un écart-type de 1,007, ce qui permet de valider la précision initiale de la règle avant qu'elle soit adaptée pour être

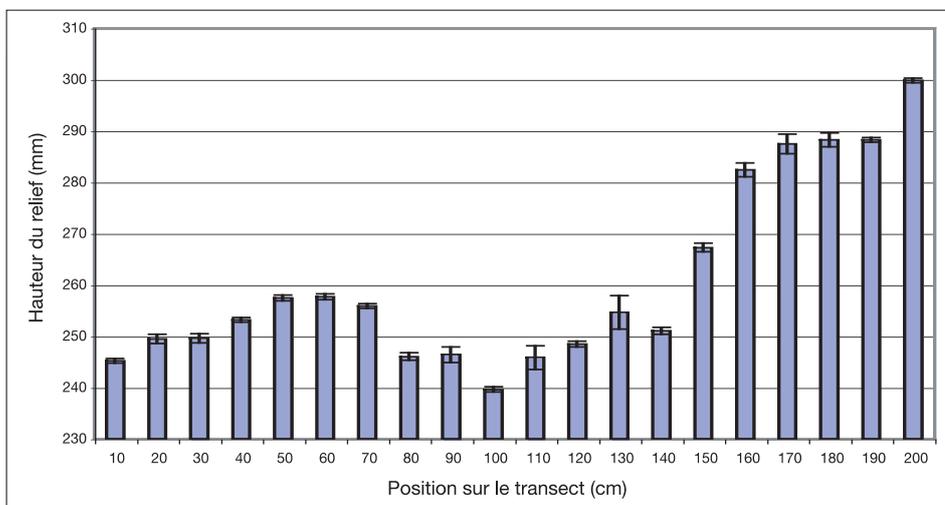


Figure 3.

Moyenne et écart-type des mesures de répétitivité avec l'érodimètre différentiel à aiguilles sur cinq séries sans démontage.

plus facilement transportable. En effet, la précision avancée pour le type de mesures est de l'ordre de quelques millimètres, et cette précision est donc validée

Dans un second temps, une nouvelle série de cinq mesures est prise, mais cette fois en démontant et remontant la règle à chaque fois. Cela permet de vérifier si, une fois remontée et ajustée (il y a un léger jeu lorsque les vis ne sont pas bien serrées, que l'on peut éviter en serrant bien les vis lorsque la règle est bien droite, ce qui est facile à apprécier après deux ou trois démontages-remontages), la règle permet d'obtenir les mêmes. Lors de cette série d'essais, qui comporte dix points constants au lieu de 20 (la fiabilité du décalage de la règle ayant été démontrée par les mesures précédentes), on a pu observer un écart-type n'excédant pas 0,67, pour une moyenne constatée inférieure à 1 (0,714 exactement). L'adaptation de l'Eda pour une utilisation plus facile en le sciant et en l'équipant du système de fixation actuel est donc fiable (figure 4).

La précision peut donc être estimée à 10 m³/ha, ce qui est insuffisant pour des mesures d'érosion sous forêt ou cultures couvrantes, mais bien adapté aux érosions dépassant les 50 m³/ha.

Résultats obtenus avec l'Eda

De manière générale, l'Eda a su donner des résultats convaincants, les profils obtenus mettant généralement bien en évidence les épisodes d'érosion intense mais aussi de faibles fluctuations lors des épisodes plus secs. Il est ainsi possible de calculer des moyennes de départ, de dépôt et de mouvement général.

Si la mise en place du dispositif n'a permis de commencer les mesures qu'en novembre à Mtsangamouji et en décembre sur les deux autres sites, il est à noter que les pluies les plus érosives ont bien été prises en compte lors de l'expérimentation.

Résultats sur padzas

Chacun des 19 transects de padzas a été étudié en le replaçant dans son contexte (orientation, situation sur la pente, ravine, atterrissement), une moyenne a été calculée à partir des 20 points de mesure, de façon à évaluer une tendance générale de départ ou de dépôt. (Notons que les pentes des padzas atteignent 40 à 60 %.) On peut ainsi observer la différence nette de profil des transects au cours des mesures (figure 5).

Il est aussi possible d'utiliser la moyenne établie pour chaque transect, ce qui donne une tendance plus globale et permet d'éliminer les artefacts indésirables (figure 6).

Ces deux graphes montrent l'évolution par rapport au profil initial, et on observe nettement que, sur le graphe associé à Mtsangamouji, une baisse dans la hauteur de terre a eu lieu à la fin du mois de janvier, lors du passage du premier cyclone Elita à proximité de Mayotte. Le graphe associé à Dapani montre, lui, une réponse beaucoup plus marquée au deuxième cyclone Gafilo. On en déduit une variabilité dans la réponse par l'érosion face aux épisodes pluvieux intenses.

Les données quantitatives sur padzas sont indiquées dans le tableau I. Le site de Mtsangamouji a

globalement vu sa surface décapée de près de 18 mm, soit 180 m³/ha. Les résultats concernant les différentes situations sont les suivants : le versant nord (au vent) a perdu près de 20 mm, soit 200 m³/ha ; le versant sud a été érodé d'un peu plus de 9 mm (90 m³/ha).

Une réelle différence peut donc être observée quant à la sensibilité des différentes expositions à l'érosion. Cependant, sont prises en compte dans ce total les zones particulières comme les atterrissements.

Le calcul des seules pentes de déclivité et de situation (excepté leur exposition) comparables donne les résultats suivants :

- Les pentes orientées au nord ont subi une érosion moyenne de 17,45 mm. Les pentes nues ont perdu 26,4 mm d'épaisseur, soit environ 264 m³/ha. La pente sous couvert peu dense de graminées a elle perdu autour de 65 m³/ha.

- Les pentes (nues) orientées au sud semblent avoir été érodées d'une valeur nette de moins de 100 m³/ha (il faut cependant noter que, au cours de la saison de mesures, près de 170 m³/ha semblent s'être déplacés). La valeur finale (plus faible) observée semble mettre en évidence une redéposition de terre sur la pente au niveau des transects.

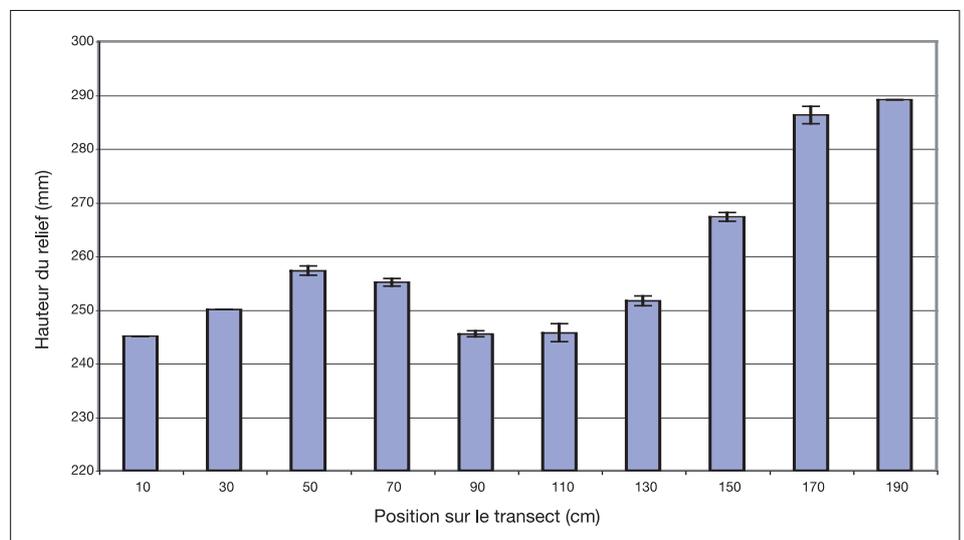


Figure 4.

Moyenne et écart-type des mesures de répétitivité avec l'érodimètre différentiel à aiguilles sur cinq séries avec démontage.

Tableau I.
Résultats sur padzas.

	Moyenne des mesures (m ³ /ha)	Moyenne versant nord (m ³ /ha)	Moyenne versant sud (m ³ /ha)	Pentes nord (m ³ /ha)		
				Pentes nues	Couverture graminées	
Padza de M'tsangamouji	- 180	- 200	- 90	264	- 65	
Padza de Daphani	- 250	- 335	- 180	610	- 285	
	Pentes sud (m ³ /ha)		Atterrissement (m ³ /ha)		Ravines (m ³ /ha)	
	Pentes nues	Pentes stabilisées	Nord	Sud	Nord	Sud
Padza de M'tsangamouji	- 100		- 520/- 113		- 180	- 85
Padza de Daphani	330	40	- 143	220	Sud - 290	

▪ Une zone particulièrement remarquable pour les valeurs d'érosion et la dynamique au cours de la saison est la zone d'atterrissement principale du versant nord, qui débouche sur la ravine. En effet, celle-ci a subi une érosion fortement supérieure aux autres zones, et les fluctuations

au cours des mesures sont très fortes. Le total d'érosion avancé est donc le total net faisant état du changement de profil entre le début et la fin des mesures, et les quantités transitant ne sont pas prises en compte. Mais on peut supposer que ces quantités intermédiaires sont

celles mesurées sur les pentes en amont. Le total net s'élève ainsi à près de 520 m³/ha. Ce résultat est à relativiser étant donné la position du transect de mesure chevauchant la zone de ruissellement sur l'atterrissement.

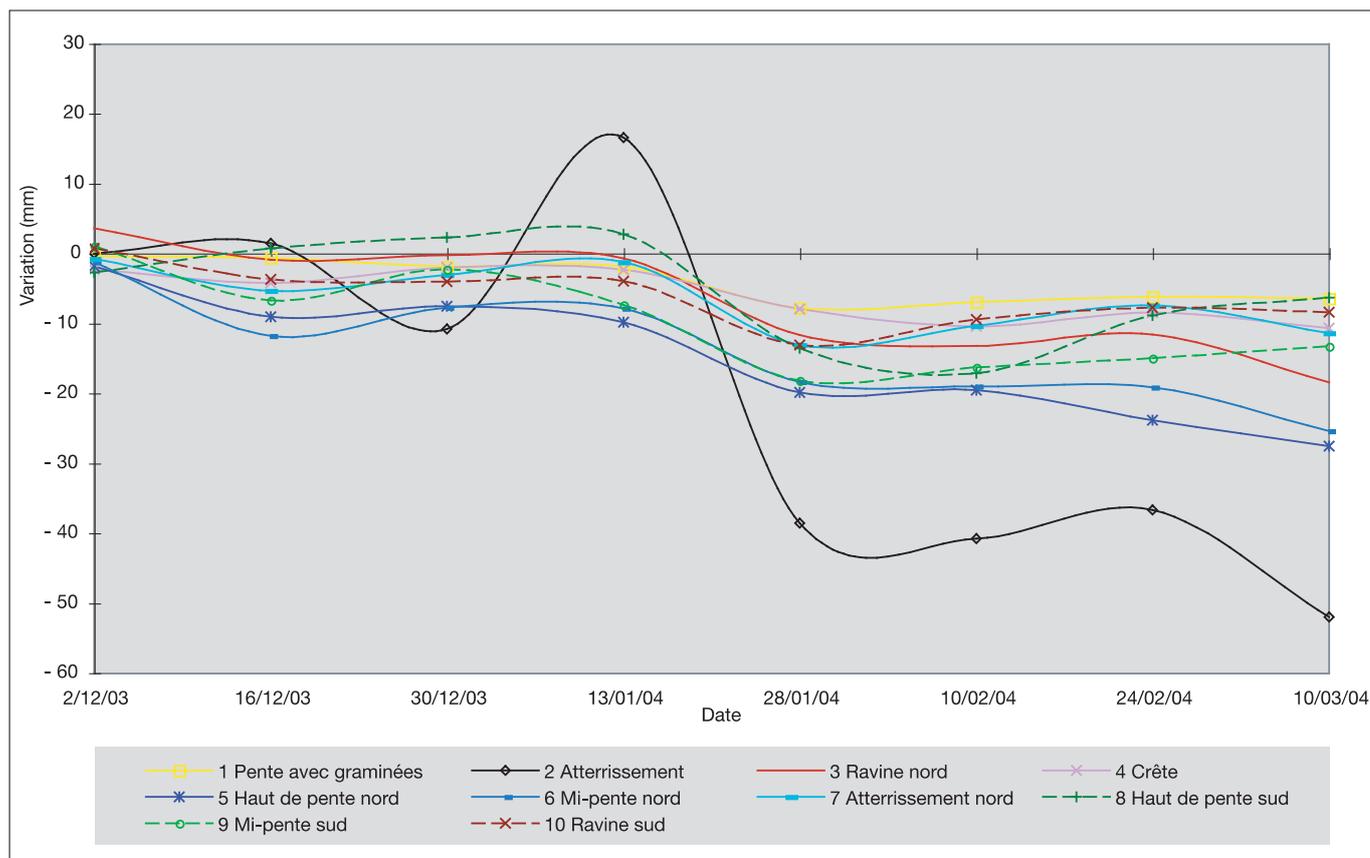


Figure 5.
Évolution des transects par rapport au profil initial à M'tsangamouji.

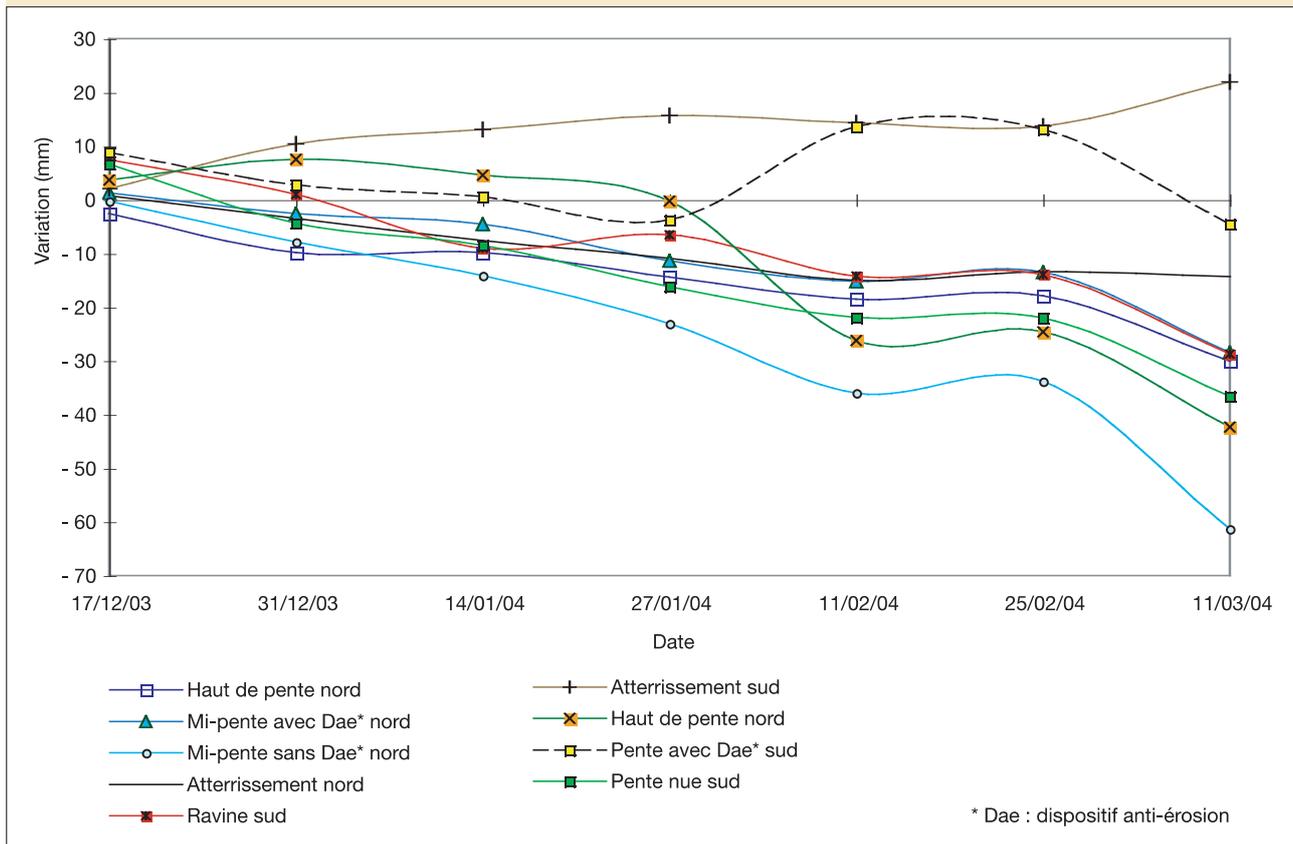


Figure 6.

Évolution des transects par rapport au profil initial à Dapani.

Les résultats nets sur le padza de Dapani montrent un départ de $250 \text{ m}^3/\text{ha}$. Une nette différence s'observe entre les zones exposées au nord et au sud en réponse aux contraintes pluviométriques pendant la période d'étude : le versant orienté au nord a perdu $335 \text{ m}^3/\text{ha}$, le versant orienté au sud $180 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Un des intérêts du padza de Dapani tient aux dispositifs anti-érosion, qui se sont révélés assez efficaces cette saison. Comme précédemment, il est possible de comparer la situation avec et sans système anti-érosion : sur une pente orientée au nord avec ou sans barrage en pneus (situé dans un encaissement susceptible d'évoluer en ravine), un départ net équivalent à $285 \text{ m}^3/\text{ha}$ a été mesuré lorsque les pneus cassent le ruissellement, et plus de $610 \text{ m}^3/\text{ha}$ sur pente nue, avec l'apparition d'un ravinement intense.

Remarque : ces résultats exprimés en mètres cubes par hectare peuvent être ramenés en tonnes par

hectare, à l'aide des mesures de densité apparente (da) effectuées sur les terrains (érosion en $\text{t}/\text{ha} = \text{érosion en } \text{m}^3/\text{ha} \times da$). Nous prendrons les valeurs moyennes de densité apparente de 0,9 sur les pentes et de 1 sur les zones d'atterrissement.

Le versant orienté au sud semble nettement moins affecté par les départs en terre que le versant nord, soit simplement à cause de son orientation qui le préserve de l'agressivité des pluies, soit pour des raisons morphopédologiques, ces versants étant plus anciens (LAPÈGUE, 1999 a).

La majorité de l'érosion est provoquée par les événements météorologiques « exceptionnels », et la réponse des différents padzas est loin d'être homogène. On aurait en effet pu penser que le padza de Mtsangamouji serait plus touché par l'érosion du fait de la pluviosité théoriquement plus importante en saison des pluies ; cela ne s'est pas vérifié.

Les zones d'atterrissement représentent des zones à étudier à part, leur réponse étant très variable. Leur dynamique est conditionnée par les chemins qui leur sont offerts préférentiellement comme issue.

Enfin, il est important de noter l'efficacité des dispositifs anti-érosion. De même, une couverture de graminées (préférable aux fougères qui empêchent les autres espèces de se développer) semble réellement efficace. Le reboisement, par *Acacia mangium* ou des espèces indigènes telles que le natte (*Mimusops comorensis*) ou le takamaka (*Calophyllum inophyllum*), a permis de reconquérir d'importantes zones de padzas, comme dans les hauts de Sada, ou au niveau du carrefour Bandrélé/Chirongui/Moutsamoudou. Quelques takamakas de petite taille sont présents dans la zone. Il a aussi été observé que les apports terrigènes (du moins la fraction grossière) provenant du padza voisin sont très rapidement bloqués et recouverts par les feuilles jonchant le sol.

L'utilisation de systèmes anti-érosion, comme des pneus ou des sacs, semble efficace dans la mesure où ils sont régulièrement entretenus. En effet, le padza de Dapani a été récemment (début de la saison des pluies 2003/2004) équipé de ces systèmes. Outre leur effet sur les fortes pentes, on peut facilement noter que tous les barrages installés sur faible pente ont rempli leur rôle d'initiateurs d'atterrissement. Ainsi, pratiquement tous les barrages en pneus ont été comblés pendant cette saison des pluies.

Résultats sur manioc

Deux champs de manioc ont été équipés de transects de mesure, en vue d'effectuer une comparaison entre un champ en faible pente et un champ en forte pente.

Cependant, il est délicat de conclure à une tendance associée à la pente, car il n'a pas été possible de trouver deux parcelles similaires dans la pratique culturale. Ainsi, le champ en faible pente a été travaillé en billons dans le sens de la pente, alors que le champ en forte pente a été travaillé par buttage en quinconce. (Les plants étaient déjà bouturés au début de l'expérimentation et les billons déjà réalisés.) Le résultat de mesure de l'érosion à l'érodimètre est beaucoup plus élevé sur un champ de manioc en faible pente (de 10 à 15 %) avec une pratique culturale à risque (95 m³/ha) que sur un champ avec une pente très importante (de 30 à 40 %), sans cette même pratique (25 m³/ha). On peut donc conclure quant à l'importance prépondérante à court terme de la manière de travailler la terre comparée à la pente même très forte, face aux risques d'érosion.

Extrapolation des résultats

Malgré l'aspect très critiquable d'une telle démarche, plusieurs tentatives d'extrapolation de l'érosion à l'échelle de l'île ont été réalisées. Les études sont fondées sur les cartes pluviométriques et du sol, la topographie (modèle numérique de terrain) et des photos aériennes, pour suivre l'évolution des couvertures végétales sur une cinquantaine d'années (HOLLEY, 2003), en recourant au modèle de Wischmeier. Si Lapègue trouve ainsi la valeur de 293 600 t/an pour l'ensemble de l'île (LAPÈGUE, 1999 b), Holley estime à 291 200 t/an les départs de terre pour les sept bassins étudiés (29 % de la superficie de l'île), soit pratiquement trois fois plus. Ces résultats sont forcément très approximatifs mais ils permettent de se faire une idée de l'ampleur du phénomène.

Pour extrapoler les mesures enregistrées avec l'Eda à l'échelle des bassins-versants modèles utilisés par Holley, nous avons retenu les valeurs suivantes (en rappelant que les valeurs obtenues n'ont été observées que sur la partie la plus érosive de la saison des pluies) :

- zones sous influence de dispositifs anti-érosion, 150 t/ha (3 % des padzas) ;
- zones de pente inférieure à 10 %, 0 t/ha (7 % des padzas) ;
- zones de pente comprise entre 10 et 20 %, 150 t/ha (30 % des padzas) ;
- zones de pente supérieure à 20 %, 250 t/ha (60 % des padzas).

Ces valeurs d'érosion semblent indiquer que les valeurs de Holley sont en grande partie exagérées en ce qui concerne les padzas. Pour les cultures de manioc, il est impossible de tenir compte des façons culturales par photo-interprétation. Les valeurs utilisées par Holley ne semblent pas en contradiction avec celles observées avec l'Eda et peuvent donc être gardées. En reprenant les calculs de Holley, avec ces nouvelles valeurs sur



Mesures du profil de sol sur une pente (padza de Dapani).
Photo J.-M. Sarrailh.

padzas, on peut donc établir de nouvelles évaluations par bassin-versant modèle (tableau II).

De telles valeurs permettent d'obtenir un volume d'érosion superficielle des bassins-versants étudiés de l'ordre de 190 000 t/ha, soit une diminution de 30 % par rapport aux valeurs avancées par Holley, et un total pour l'île de l'ordre de 550 à 600 000t/ha.

La méthode permet d'étudier l'évolution de l'érosion en utilisant différentes couvertures aériennes et peut être évaluée sur cinq des sept bassins-versants modèles de 1949 à 1999 (figure 7). Malgré une diminution forte des surfaces en forêt primaire, l'érosion à l'échelle du bassin-versant n'augmente pas de manière inquiétante. Elle diminue même fortement dans le dernier intervalle à Tsingoni. En effet, la forêt est remplacée essentiellement par une couverture végétale de type agroforestier qui n'occasionne pas de départs de terre importants, tandis que la réhabilitation des padzas permet de diminuer les surfaces en sols nus.

Discussion

La pérennité du lagon et des mangroves nécessite une meilleure connaissance des milieux qui influent sur eux, qu'ils soient naturels ou anthropiques. La présente étude, qui s'ajoute à celles réalisées par Lapègue en 1999 et Holley en 2003, ne peut certainement pas apporter toutes les réponses à un aussi vaste problème, mais fournit des valeurs d'érosion par mesure directe destinées à affiner les modèles de calcul d'érosion déjà appliqués sur l'île.

On a pu montrer l'intérêt de l'Eda pour des mesures de départs de terre en milieu fortement érosif, quand on ne dispose pas de moyens financiers importants. Sa très grande facilité d'utilisation autorise un nombre élevé de répétitions, et la comparaison de situations variées permet d'obtenir finalement des résultats représentatifs malgré sa relative imprécision.

Tableau II.
Érosion évaluée grâce à l'érodimètre différentiel à aiguilles (Eda), calculée par bassin-versant modèle.

Bassin-versant	Érosion par Eda (t/an)	Érosion par Eda (t/ha de bassin-versant)	Érosion par Eda (t/ha de mangrove)
Badamiers	1 600	2,9	
Dapani	10 041	9,6	1 115
Dzoumonye	105 600	26,4	960
Hajangua	15 255	13	1 113
Mahabou	20	0,3	2,9
Soulou	23 698	16,4	2 393
Tsingoni	35 986	14,5	1 457

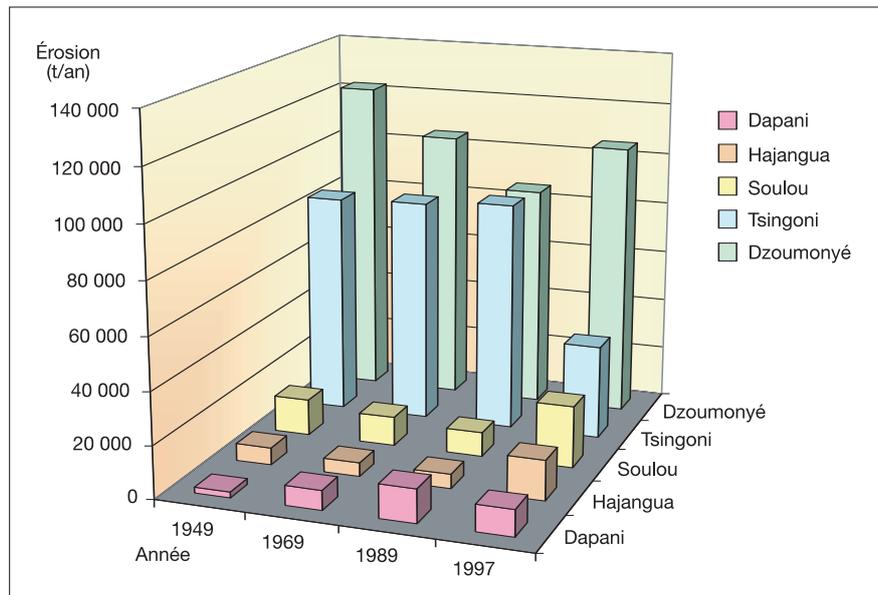


Figure 7.
Évolution de l'érosion sur cinq bassins-versants modèles.

S'il n'existe pas de données d'érosion en parcelles pour les padzas, la comparaison est, en revanche, possible pour la culture sous manioc ; la valeur annuelle de 105 t/ha observée sur parcelle d'érosion en couverture de manioc sarclée pour une pente de 20 % (LAPÈGUE, 1999 b) s'approche des 95 t/ha observés sur la parcelle manioc « à risque ».

Il apparaît que, même si une généralisation des résultats obtenus s'avère très délicate, une estimation reposant sur les données recueillies

semble cohérente avec les études précédentes ; le modèle proposé précédemment (HOLLEY, 2003), ne pouvant utiliser les valeurs obtenues par l'Eda, surévaluait le bilan des bassins-versants. L'évaluation de l'érosion globale se retrouve donc à un niveau de 200 000 tonnes pour les sept bassins-versants couvrant le tiers de l'île (contre 300 000 tonnes initialement avancées), soit de l'ordre de 600 000 tonnes pour l'ensemble de l'île.

Références bibliographiques

L'aménagement des padzas devrait permettre d'endiguer la part la plus active de ce phénomène, tandis que la transformation progressive de l'agriculture par des pratiques plus durables (couverture du sol permanente) doit participer à cet effort.

Même si la relation entre l'évolution des mangroves et l'érosion des bassins-versants semble difficile à établir, on peut constater une relative stabilité des deux phénomènes.

D'autres sources d'apports terrigènes vers le lagon doivent être ajoutées à ces valeurs. Dans cette étude, il n'a pas été possible de tenir compte de l'érosion urbaine, qui est loin d'être négligeable. D'autres éléments pouvant contribuer à l'envasement, comme les dépôts de terre le long des routes, ont pu être estimés à 15 000 m³ par an. On ne peut pas non plus tenir compte des éboulements, de l'érosion des bords de berge et des chemins ou autres phénomènes non modélisables.

HOLLEY F., 2003. Évolution spatiale des mangroves de Mayotte et activités humaines dans les bassins versants. Mémoire de fin d'études, Daf-Sef, Esa Purpan, Let, Ifrecor, bureau d'études Espaces, 86 p.

IZARD J. M., SOUMILLE O. M., SENG P., VALLÉE G., 1998. La réhabilitation des padzas à Mayotte. *In* : Gestion agrobiologique et développement durable des systèmes de culture. Actes de l'atelier international, 23-28 mars 1998, Antsirabe, Madagascar. Montpellier, France, Cirad. p. 509-515.

LAPÈGUE J., 1999 a. Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : la ressource hydrique, l'assainissement pluvial et l'érosion. Thèse de doctorat, sciences de la terre et de l'eau, université de la Réunion, France.

LAPÈGUE J., 1999 b. Érosion et sédimentation terrigène à Mayotte. Bull. Nat. Hist. Géogr., Mayotte, décembre, 2 : 10-20.

LATRILLE E., 1981. Mayotte : inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales. Paris, France, Irat, 96 p.

LATRILLE E., 1997. Étude pédologique en appui à l'inventaire des formations ligneuses effectué par la Daf-Sef/Cirad-ca, programme Apafp. Montpellier, France, 31 p.

RAUNET M., 1992. Île de Mayotte, les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon. Rapport Cirad-ca/université de la Réunion (laboratoire de géologie) : 1-69.

ROOSE E., SARRAILH J.-M., 1990. Érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cahiers Orstom, série Pédologie, 25 (1-2) : 7-30.

THOMASSIN B., ARNOUX A., COUDRAY J., FROGET C., GOUT B., 1989. La sédimentation actuelle dans le lagon de Mayotte et son évolution récente en liaison avec les apports terrigènes. Bull. Soc. Géol. France, 5 (6) : 1 235-1 251.



Mesures avec l'érodimètre différentiel à aiguilles sur une crête (padza de Mtangamouji).
Photo J.-M. Sarrailh.



Dispositif de contrôle de l'érosion sur le padza de Dapani.
Photo J.-M. Sarrailh.