Département
Géosciences -
Environnement

Master Sciences de l'Eau

Hydrosystèmes et Bassins Versants : diagnostic et risque environnemental

Rapport de stage de fins d'études pour l'obtention de la 2nd année de Master

Etude du ruissellement et de l'érosion des sols à Mayotte

Anaïs CHAUVET

Mars – Août 2019

Année universitaire : 2018 – 2019

Encadrement : Valentin LANDEMAINE, Jean-François DESPRATS, Olivier CERDAN

*Organisme d'accueil : **BRGM Mayotte***
Quartier des Hauts-Vallons
BP 363 Kaweni
97600 Mamoudzou

EA 6293
GéoHydrosystèmes
Continentaux

Remerciements

Je souhaite, au terme de mon stage au sein du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) de Mayotte remercier l'ensemble de l'équipe du BRGM et de l'équipe LESELAM pour leur accueil chaleureux. Je vous remercie de m'avoir donné l'occasion de vivre une expérience professionnelle et humaine extraordinaire.

Je remercie en premier temps le directeur du BRGM, Frédéric TRONEL pour m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'études au sein de la structure. Je remercie aussi l'ensemble des membres de l'équipe du BRGM de Mayotte pour leur accueil chaleureux et leur gentillesse.

Par la suite, je tiens à remercier mon maître de stage Valentin LANDEMAINE, pour son aide et pour l'ensemble de ses conseils tout au long du stage. Il m'a permis de découvrir et d'apprécier mon immersion en tant que stagiaire ingénieure au sein d'un projet pluridisciplinaire et enrichissant.

Je remercie Jean-François DESPRATS, chef du projet LESELAM, pour sa confiance et ses précieux conseils tout au long du stage. Je tiens aussi à remercier Olivier CERDAN pour son aide et ses conseils.

Je tiens à remercier, Erwan CARME et Grégoire DECTOT du BRGM de Mayotte ainsi que Pierre VANHOOYDONCK du laboratoire GéHCO de l'Université de Tours, pour leur aide lors des tournées de terrain ou durant les analyses laboratoires.

Je souhaite tout particulièrement remercier Kadafi SAÏD de la Chambre d'Agriculture de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte (CAPAM) pour son soutien ainsi que son aide précieuse lors de l'enquête de terrain que j'ai pu mener et durant l'élaboration de mon rapport de stage. Je lui souhaite une bonne continuation à Mayotte.

J'adresse mes remerciements à Mélissa REY, stagiaire au Centre de coopération International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) de Mayotte pour ses conseils et son aide pour mener à bien l'enquête de terrain sur la définition des jardins mahorais. Son aide extérieure m'a permis de mieux appréhender le travail que je devais mener au début de mon stage. Je lui souhaite toute la réussite pour obtenir son diplôme d'ingénieure et pour le début de sa carrière professionnelle.

En dernier lieu, je tiens à remercier tout particulièrement ma famille, mes amis et tous ceux que j'ai pu rencontrer à Mayotte pour leur soutien sans faille lors de cette deuxième année d'étude de Master.

Table des matières

Introduction 2
I°) Contexte du site d'étude 4
1.1°) Géographie et climat 4
1.2°) Géologie, morphologie et topographie 5
1.3°) Occupation des sols 6
1.4°) Description de l'observatoire 7
1.4.1°) Stations hydro-sédimentaires 8
1.4.2°) Ruissellomètres 9
II°) Matériel et méthodes 10
2.1°) Enquête sur les pratiques culturales 10
2.2°) Analyses Laboratoires 11
2.3°) Analyses de données 12
2.3.1°) Estimation du débit 12
2.3.2°) Détermination des paramètres hydrologiques 12
2.3.3°) Caractérisation des ruissellomètres pour la modélisation 14
III°) Résultats et discussions 14
3.1°) Analyse des ruissellomètres du projet 14
3.2°) Synthèse de l'enquête du jardin mahorais 19
3.2.1°) Pratique ancestrale du jardin mahorais 19
3.2.2°) Pratique actuelle du jardin mahorais 20
3.2.3°) Avantages environnementaux de la polyculture du jardin mahorais 20
3.3°) Analyse de la réponse hydro-sédimentaire des placettes 21
3.3.1°) Description des évènements de pluie 21
3.3.2°) Coefficient de ruissellement à l'échelle annuelle 22
3.3.3°) Taux d'érosion à l'échelle annuelle 24
3.3.4°) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie à l'échelle évènementielle 26
IV°) Discussion et perspectives 30
Conclusion 32
Références bibliographiques 33
Liste des Figures 36
Liste des tableaux 37
Annexe 38
Résumé 40
Abstract 40

Introduction

L'érosion hydrique est un phénomène naturel causant la dégradation du sol, ressource naturelle non renouvelable à l'échelle humaine (Montier *et al.,* 1998). Ce phénomène essentiel à l'évolution et la modification des paysages correspond à un déplacement de matière sous l'action de l'eau (Leguedois, 2010). L'érosion se met en œuvre lorsque les eaux des précipitations n'ont plus de possibilités d'infiltration du fait d'une intensité des précipitations supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol ou à une surface de sol partiellement ou totalement saturée en eau (Montier *et al.,* 1998 ; Le Bissonnais *et al.,* 2002). Ce phénomène hydro-sédimentaire favorise ainsi le détachement et le transfert des particules vers les eaux de surface tels que les rivières ou océans (Landemaine, 2016). Dans un contexte anthropique, les activités humaines et notamment l'agriculture intensive, l'urbanisation, l'imperméabilisation des sols sont des facteurs de perturbation de la dynamique naturelle érosive (FAO, 2011 ; Landemaine, 2016). A l'échelle mondiale, l'érosion est un phénomène qui emporte 25 à 40 milliards de tonnes de sols superficiels chaque année. Ce phénomène diminue les rendements agricoles et appauvrit les sols (baisse de la quantité de nutriments utiles au développement des végétaux ou encore la quantité de carbone dans le sol) (FAO, 2015). En Europe, l'érosion de la couche superficielle est quant à elle estimée à 1,23 t/ha/an (Maugnard *et al.,* 2013).

L'île de Mayotte est également touchée par la problématique de l'érosion des sols. En 1992, M. Raunet, a consacré une première étude visant à identifier et expliquer les différents facteurs provoquant les processus d'érosion sur l'île. D'une part, l'érosion est causée par la fragilité même de l'île. Différents facteurs tels que la morphologie de l'île (avec des pentes fréquemment supérieures à 15%), la composition des sols (principalement ferralitiques et ainsi vulnérables), la pluviométrie importante et la régression de la mangrove (régulant la filtration des sédiments) en sont les premières causes. D'autre part, l'île connait une pression démographique importante avec une hausse moyenne de la population de 3,8% (256 500 personnes en 2017 soit 680 habitants/km²). Enfin, l'île est menacée par le changement climatique global pouvant causer des pluies plus violentes et une dégradation des sols. Ces facteurs environnementaux impactent directement le milieu agricole (disparition de la couche humifère et stérilisation des surfaces cultivées, baisse de la production), le milieu urbain (déstabilisation des bâtis, coulées de boues, détérioration des réseaux routiers et d'assainissement) et le lagon (envasement, baisse des ressources halieutiques, destruction des massifs coralliens et herbiers).

Dans ce contexte d'urgence, la description et l'identification des facteurs d'érosion sur l'île de Mayotte ne sont plus suffisants (Raunet, 1992). Dans le cadre du projet LESELAM (Lutte contre l'Erosion des Sols et l'Envasement du Lagon à Mayotte), l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire sur l'île a été entreprise par la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DEAL) à l'occasion de la « Feuille de Route Erosion » en 2012. Les objectifs principaux du projet LESELAM visent à comprendre et quantifier les processus d'érosion sur l'île, d'identifier différentes zones à risques prioritaires pour mettre en œuvre des mesures de protection, de prévenir et remédier par la communication et l'éducation la population. Le BRGM coordonne le projet, en s'appuyant sur les Naturalistes de Mayotte (partenaires du projet) et différents sous-traitants (CAPAM, Université de Tours, Kermap, Agrikagna, Adinm) et un comité de pilotage (DAAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, Préfecture de Mayotte et DEAL). Le BRGM et l'Université de Tours ont pour mission d'assurer le suivi hydro-sédimentaire sur trois bassins versants pilotes (Mtsamboro et

Dzoumognié au Nord et Salim Bé au Sud) de l'observatoire du projet (sites instrumentés par le CIRAD, et l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Sciences pour l'Environnement et l'Agriculture) dans le cadre de LESELAM 1 : 2015-2017) dans le but de réaliser une évaluation par modélisation de l'érosion à l'échelle parcellaire puis à l'échelle des bassins versants et du département. La CAPAM et les Naturalistes réalisent un transfert de connaissances en mettant en œuvre des ateliers en zone urbaine et agricole visant à sensibiliser la population quant aux pratiques agro-conservatoires.

Le stage se déroule au sein de l'établissement public du BRGM de Mayotte. Le BRGM répond à plusieurs enjeux et notamment à la géologie et la connaissance des sous-sols, les risques et aménagements du territoire, la gestion des eaux souterraines, les ressources minérales et l'économie circulaire ainsi que sur la transition énergétique et les espaces souterrains. L'antenne du BRGM de Mayotte a pour mission de gérer durablement la protection des eaux souterraines de l'île, protéger les zones côtières de l'érosion et de l'immersion marine, suivre les aléas naturels liés au contexte géologique, morphologique ou climatique et enfin améliorer les connaissances sur la cartographie de l'île.

Le travail du stage s'inscrit dans le projet LESELAM. Il se focalise sur l'étude de placettes expérimentales instrumentées, représentant la diversité des classes d'occupation des sols rencontrée sur l'île. Les objectifs de travail sur ces placettes sont de (1) décrire l'occupation des sols et les pratiques culturales sur chacune des placettes à l'aide de paramètres pertinents, (2) analyser la réponse hydrologique et sédimentaire des placettes depuis l'échelle évènementielle à l'échelle annuelle, (3) identifier les facteurs forçant sur la genèse du ruissellement et de l'érosion sur les placettes et proposer des règles de fonctionnement pouvant être intégrées à la modélisation.

I°) Contexte du site d'étude

1.1°) Géographie et climat

A) Géographie

Petite île appartenant à l'archipel des Comores, Mayotte est localisée à l'Est du canal du Mozambique, entre le continent africain et Madagascar (Fig.1.A ; Pelleter, 2013). Cet archipel est composé de quatre îles volcaniques : Mayotte, la Grande Comore, Anjouan, et Mohéli (Fig.1.B ; Debeuf, 2011). Situé à 8000 km de la métropole et 1500 km de l'île de La Réunion, ce département français depuis 2011 est formé de deux îles principales : Grande Terre (363 km²) et Petite Terre (12 km²) ainsi que de 26 îlots (Fig.1.C ; Nehlig *et al.*,2013). L'île est entourée d'un lagon (1100 km²) délimité par une barrière récifale discontinue de 160 km.

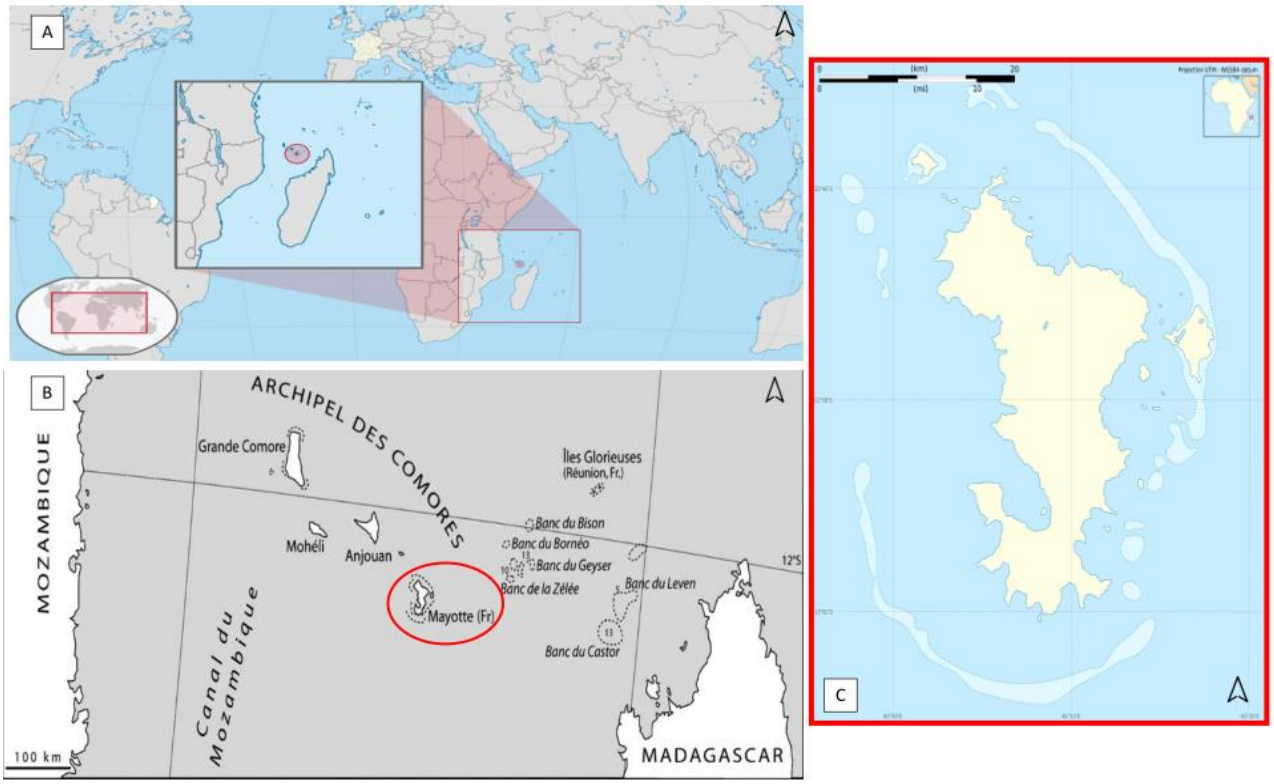


Figure 1: A) Localisation de Mayotte dans le monde ; B) Localisation de Mayotte dans le Canal du Mozambique ; C) Identification de Grande et Petite Terre à Mayotte ; d'après Benoussan, 2009

B) Climat

Mayotte est une île au climat tropical insulaire principalement marqué par de faibles variations de températures durant l'année (21 à 28°C en moyenne) et des précipitations moyennes annuelles importantes : 1500 mm/an avec des pluies moyennes contrastées entre le Nord et le Sud (1800 mm/an et 1200 mm/an). La météorologie typique (vent, pluies) de l'île marque distinctement la morphologie du territoire avec deux saisons principales (Nehlig *et al.*,2013). De décembre à mars, l'île connaît une saison chaude et pluvieuse (été austral). Cette saison est caractérisée par des températures élevées (32 à 35°C), des pluies intenses et des vents humides (Kashkasi) pouvant parfois mener à des cyclones. De mai à novembre, la saison est marquée par une saison sèche (hiver austral). Cette période est caractérisée par des vents secs et plus frais (alizés) qui assèchent principalement les zones côtières de l'Est et du Sud. Avec ces différences météorologiques, Mayotte a des paysages et couvertures végétales variés entre le Nord et le Sud (Nehlig *et al.*,2013).

1.2°) Géologie, morphologie et topographie

A) Géologie

La formation du canal du Mozambique a débuté par une phase d'extension du Permien supérieur (NW-SE) créant les bassins sédimentaires continentaux de l'Afrique de l'Est et la côte occidentale de Madagascar au Jurassique inférieur (Malod *et al.,* 1991). Le bassin océanique du Mozambique ainsi que de la Somalie se sont par la suite ouverts du Jurassique Moyen au Crétacé supérieur (N-S ; Rabinowitz *et al.,* 1983). Cette étape a ainsi permis l'émergence d'une ride sous-marine discontinue formant l'archipel des Comores (Nehlig *et al*.,2013). Depuis l'Eocène et le Miocène moyen, le canal a subi en premier temps une période de compression puis une période extensive (W-E) causant des activités sismiques (Malod *et al.,*1991 ; Pelleter, 2013).

Le socle du bassin des Comores, situé entre les croûtes continentales de l'Afrique et de Madagascar, serait de nature océanique (formations provenant du Jurassic Magnetic Quiet Zone ; Rabinowitz *et al.,* 1983). Les quatre îles composant l'archipel sont volcaniques. Cette nature serait liée à la migration d'un point chaud dûe à la mise en mouvement de la plaque Somalienne (Hajash et Armstrong, 1972 ; Emerick et Ducan, 1982).

Mayotte est la plus ancienne île des Comores (entre 10 et 15 Ma) (Nougier *et al.,* 1986 ; Nehlig *et al*.,2013). Elle est principalement composée de formations volcaniques (coulées de laves basaltiques) et superficielles d'altération (colluvions, isaltérites, et altérites ; Fig2.A).

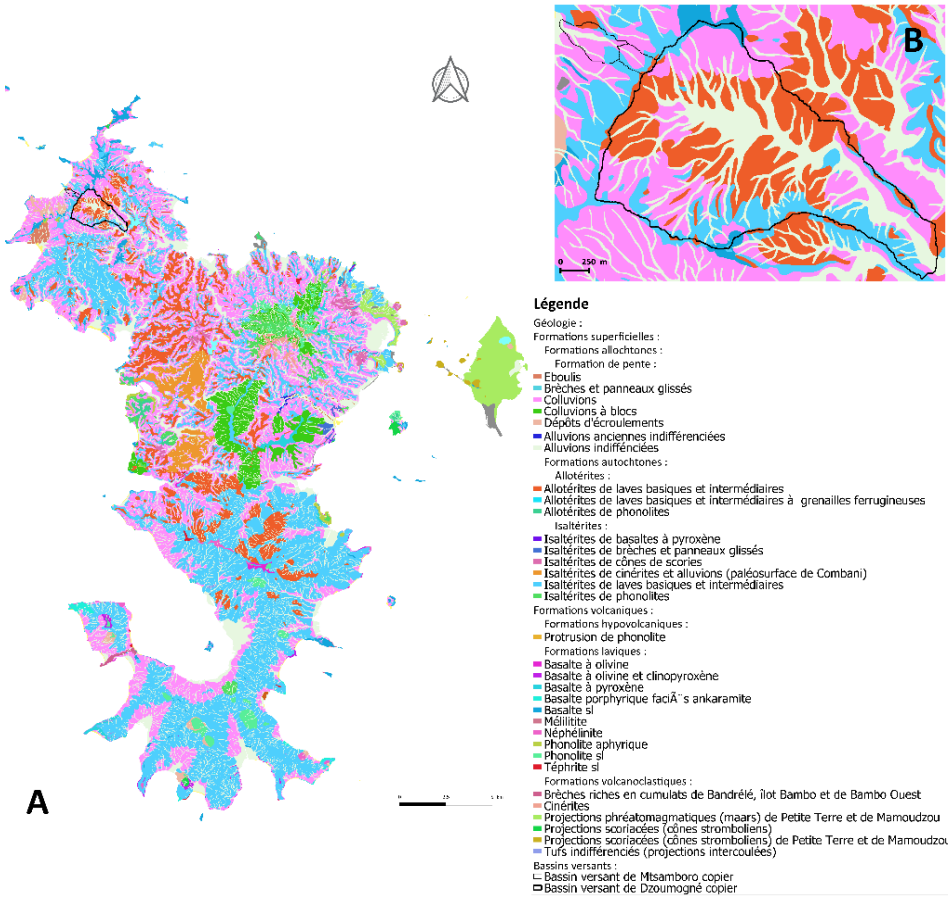


Figure 2: A) Formations géologiques présentes sur l'île de Mayotte ; B) Formation géologique sur le site d'étude LESELAM au Nord de Mayotte ; données du BRGM Mayotte

Le site d'étude du projet LESELAM est principalement constitué de formations superficielles allochtones et autochtones et de formations superficielles de pente (Fig.2.B ; Nehlig *et al*.,2013) :

- ***Colluvions :*** dépôts issus des versants sur une pente sous l'action du climat (précipitations) et de la gravité ;
- ***Alluvions indifférenciées :*** stratification d'alluvions fines présentes sur des alluvions torrentielles de natures sableuses à conglomératiques ;
- ***Allotérites de laves basaltiques et intermédiaires :*** grumeleuses et compactes, ces formations sont très présentes au Nord de l'île ;

-Isaltérites de laves basaltiques : compactes et résistantes à l'érosion, elles sont la plupart du temps présentes sur les padzas (zones déforestées, exploitées et laissées à nu sur de fortes pentes).

B) Morphologie et topographie

Les reliefs escarpés de Mayotte sont les résultats des activités volcaniques successives et de la météorologie (activité d'érosion hydrique et éolienne ; De La Torre et Aubie, 2003). Les reliefs, peu culminants sur le territoire, sont organisés en plusieurs barrières montagneuses : les crêtes du Nord avec le mont Dziani Bolé (472 m), le massif du mont Mtsapéré (572 m) et Combani (481 m), le massif du mont Bénara (660 m) et le mont Choungi (594 m ; Fig.3.A).

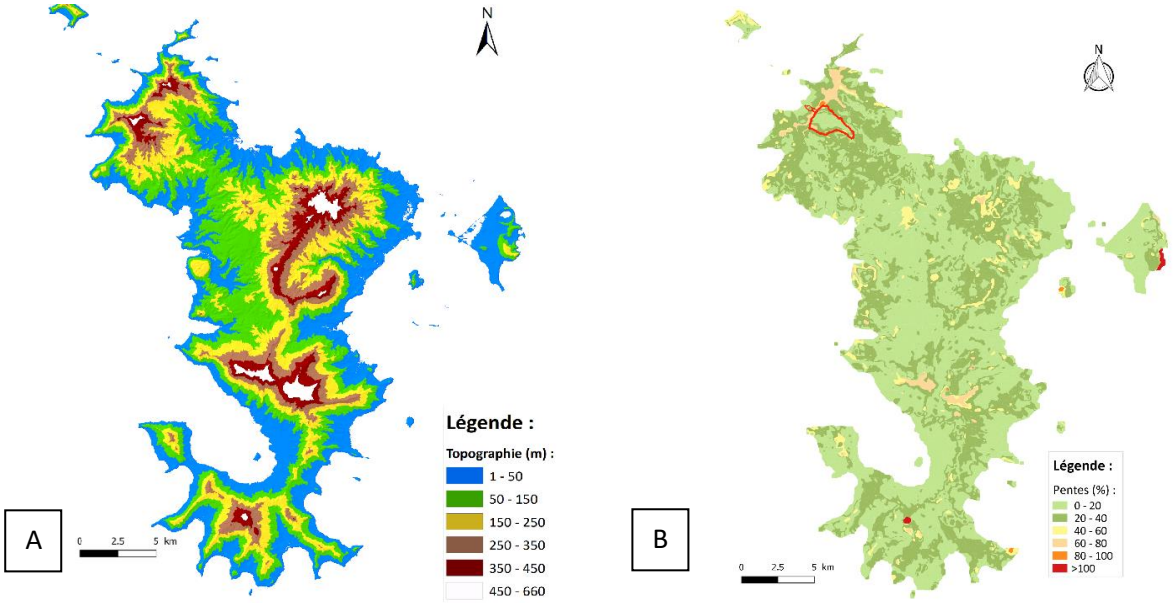


Figure 3 : A) Topographie (m) de l'île de Mayotte ; B) Pentes sur l'île de Mayotte (zonage en rouge : localisation du bassin versant Nord du projet LESELAM) ; d'après BRGM Mayotte

Le territoire présente 63 % de sa surface avec des pentes supérieures à 15 % (Fig.3.A ; Nehlig *et al.*,2013). Le Nord de l'île est marqué par des pentes fortes (entre 20 et 40 % ; Fig.3.B). Les rares plaines actuelles sont principalement situées au niveau des baies et mangroves de l'île (Thietry, 2018).

1.3°) Occupation des sols

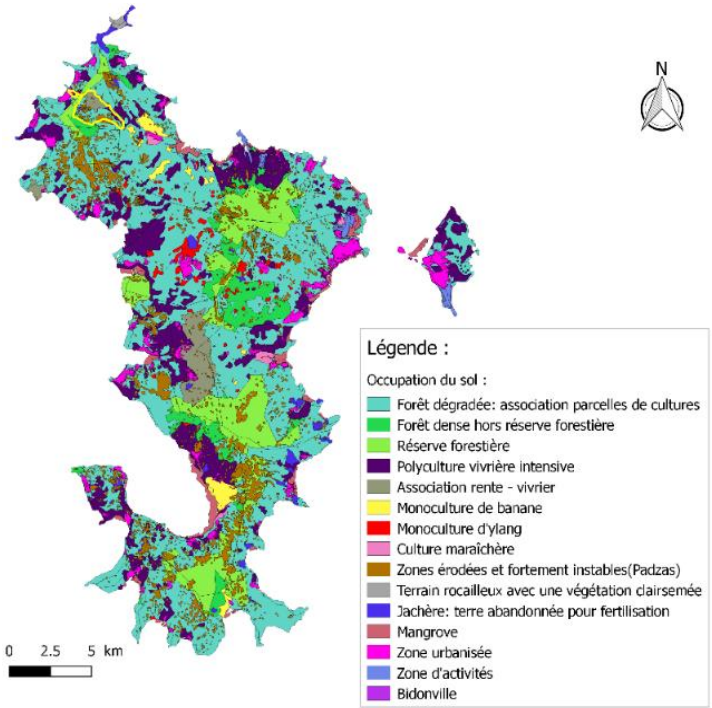


Figure 4 : répartition de l'occupation du sol à Mayotte en 2010 (zonage en jaune : bassins versants Nord du projet LESELAM) ; d'après GéoMayotte

Mayotte est une île principalement recouverte de forêts dégradées et de réserves forestières détenant les dernières zones primaires du territoire (Fig.4). L'occupation du sol est tournée vers la production agricole et principalement vers une polycultures vivrière intensive ou non. Enfin, l'île est de plus en plus marquée par des productions en monoculture comme la banane ou encore le manioc. Le secteur d'étude du projet LESELAM est situé dans une zone forestière et une zone de culture vivrière (bassin versant de Dzoumognié) ou dans un secteur plus urbanisé utilisant certaines zones ouvertes (bassin versant de Mtsamboro) pour y développer une pratique agricole en monoculture plus intensive (de manioc ou bananes).

1.4°) Description de l'observatoire

L'observatoire Erosion LESELAM mis en place en 2015-2016 (CIRAD, IRSTEA) a pour objectif principal de réaliser un suivi hydro-météo-sédimentologique à différentes échelles sur 3 bassins versants implantés au Nord (Mtsamboro et Mro Oura Bandrani/Dzoumognié) et au Sud (Mro Oura Salim Bé) de l'île (Fig. 5).

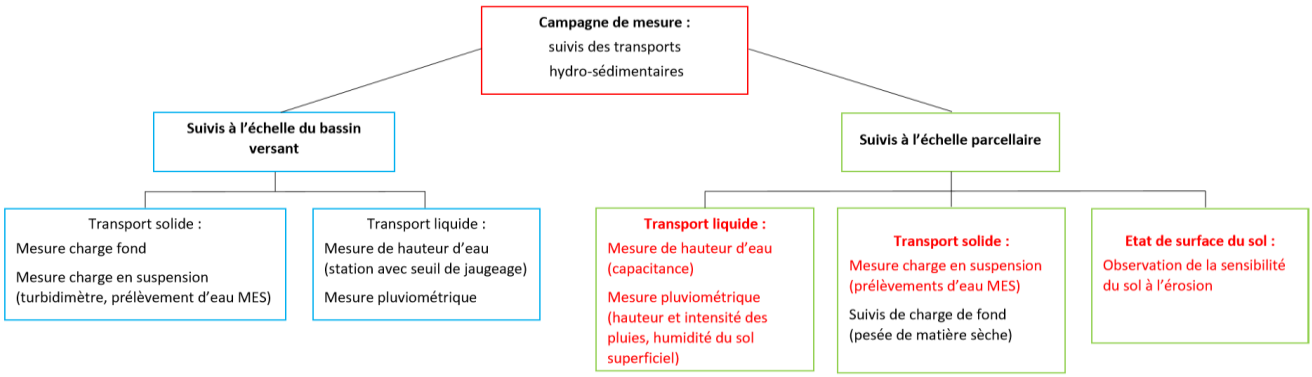


Figure 5: Mesures mises en œuvres pour le projet d'étude LESELAM (surlignage en rouge : manipulations réalisées afin de répondre à la problématique du stage) (modifié d'après N.Bordereau, 2018)

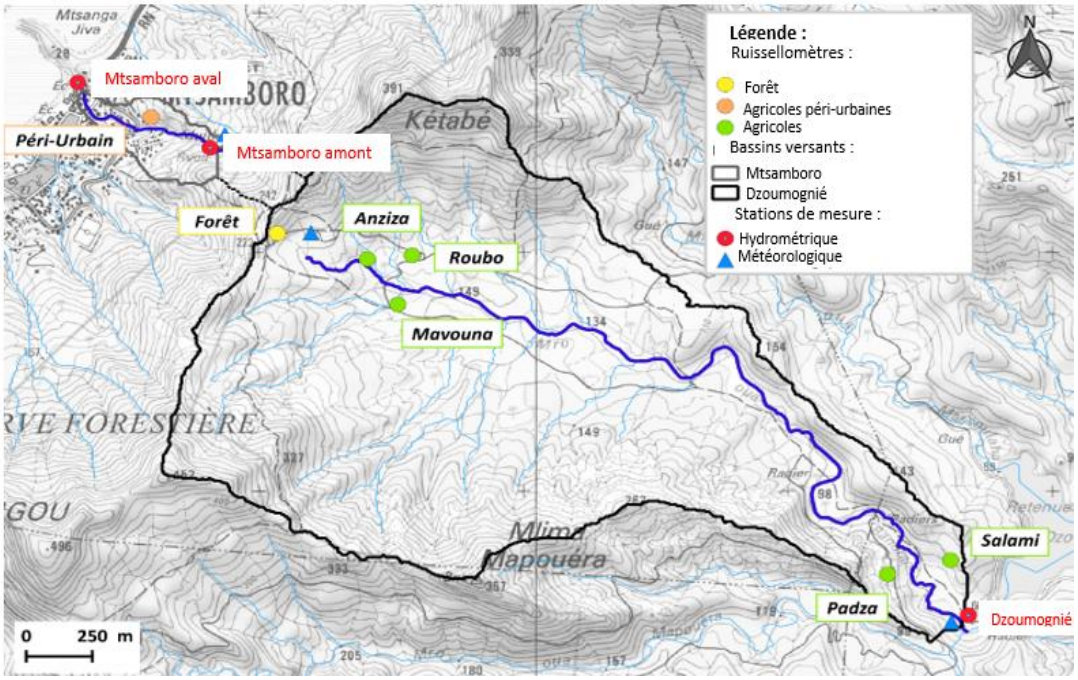


Figure 6: Localisation des équipements et ruissellomètres réalisant le suivis hydrosédimentaire dans le Nord de Mayotte

Deux échelles spatiales sont étudiées :

- **Le bassin versant :** des stations hydro-sédimentaires ont été implantées à chaque exutoire (CIRAD, 2015-2016) des cours d'eau ou ravines des bassins versants (Fig.5 et 6). Pour chaque station, un suivi en continu des transferts liquides et solides est réalisé (Fig.5 et 6) ;
- **La parcelle :** 13 parcelles de ruissellement et d'érosion réparties sur les bassins versants du Nord de l'île sont installées sur différentes zones d'occupation des sols et de pratiques culturales (Fig.6 et 8). A l'exutoire de chaque placette, un suivi en continu des transferts liquides est réalisé (Fig.8). Pour les transferts sédimentaires, un suivi ponctuel est effectué.

1.4.1°) Stations hydro-sédimentaires

Figure 7 : A) Station hydro-sédimentaire de Mtsamboro aval (présence du seuil de jaugeage) ; B) Crépine d'aspiration, sonde de turbidité et de pression ; C) Préleveur de MES et centrale d'acquisition des données

Chaque station de mesure est composée d'une sonde de hauteur d'eau pour le suivi du ruissellement et d'une sonde de turbidité pour le suivi de l'érosion (Fig.7.B). Les mesures sont effectuées à pas de temps régulier (toutes les 2 minutes).

La conversion de la hauteur en débit est assurée par une courbe de tarage déterminée à la suite de nombreux jaugeages à Dzoumognié et Salim Bé. La relation empirique par jaugeage mesure les débits à des conditions hydrologiques différentes. Pour chaque mesure, la hauteur d'eau enregistrée par la sonde est extraite. Une relation empirique est finalement obtenue par une mise en relation des couples hauteur-débit (Equation 1). L'ensemble des jaugeages ont été réalisés entre 2015 et 2018 (CIRAD, IRSTEA et BRGM).

Une loi hydraulique est utilisée à Mtsamboro car aucun jaugeage n'a pu être mis en place du fait d'un temps de réponse très court sur le bassin versant : moins de 10 minutes (Fig.7.A). La loi hydraulique a pu être utilisée du fait du positionnement de l'instrumentation au niveau d'une section bétonnée stable.

La loi hydraulique Hauteur/Débit estime le débit en fonction de la morphologie de l'ouvrage (Barbe *et al.,* 1967 ; Equation 1).

$$(1)\quad Q\ (m3/s) = m\ \times L\ \times H^{1.5} \times (2g)^{1/2}$$

Avec : m = Coefficient hydraulique ; L = largeur du seuil (m), H = Lame d'eau déversante du seuil (m)

Un préleveur automatique est couplé à chaque installation dans l'objectif de mettre en œuvre des prélèvements de Matières en Suspension dans les eaux de rivière (Fig.7.B et 7.C ; Desprats *et al.,* 2017).

Les prélèvements des échantillons de MES (d'un volume de 800 ml) sont réalisés sous deux conditions, afin de privilégier les prélèvements en période de crue :

- Une hauteur d'eau minimale à atteindre ;
- Un certain volume d'eau écoulé au niveau du cours d'eau (tous les 150 m^3 pour Mtsamboro, 2000 m^3 pour Dzoumognié et 1800 m^3 pour Salim Bé).

1.4.2°) Ruissellomètres

A) Description générale

Afin de déterminer un suivi des matières terrigènes érodées sur les versants des bassins du Nord, le stage a pour objectif de déterminer si une influence existe ou non entre l'implantation de la végétation (la plupart du temps des cultures vivrières et les couverts végétaux en surface du sol) sur les parcelles étudiées et la genèse de l'érosion.

Le suivis de l'érosion se réalise sur 7 sites (mis en place par le CIRAD et l'IRSTEA ; Fig.6) :

- 1 site en zone péri-urbaine agricole ;
- 1 site en forêt ;
- 1 site sur les padzas ;
- 4 sites en zone agricole.

Chaque site est composé de deux parcelles expérimentales (hormis le site sous forêt) : une parcelle dite « Améliorée » et l'autre « Témoin » (Fig.8 et 12.B) :

- Les parcelles « Améliorées » sont en zone agricole ou urbaine. Elles sont de type jardins mahorais ou monoculture (de banane ou manioc) avec des aménagements visant à la réduction de l'érosion des sols (mis en place par la CAPAM). Sur le site des padzas, la parcelle aménagée fait l'objet d'une plantation de la part de l'Office National des Forêts (décembre 2017 ; Fig.17.B) ;
- Les parcelles dites « Témoins » sont dépourvues d'aménagements. La surface du sol sous culture est mise à nue (sarclage) pour étudier l'érosion sans aménagements, et reproduire les monocultures de manioc ou de bananes qui deviennent le schéma de plus en plus fréquent à Mayotte au détriment du jardin mahorais traditionnel (cf. 3.2).

Les 13 parcelles sont basées sur le modèle empirique créé en 1978 par Wischmeier et Smith. Celui-ci a pour objectif d'estimer le risque d'érosion sédimentaire sur une parcelle au champ par l'équation USLE (Universal Soil Loss Equation ; Equation 2). Elle est composée de plusieurs paramètres influençant l'érosion hydrique (Equation 2 ; Simanton *et al.,* 1980) :

$$(2)\ E\ (t/ha/an) = R \times K \times SL \times C \times P$$

Avec : E= perte annuelle moyenne de sol (t/ha/an) ; R = indice d'érosivité des pluies (MJ.mm/ha/h/an) ; K = indice de résistance à l'érosion (t/ha/MJ/mm/ha/h), SL = Indice topographique ; C = facteur de couvert végétal, P = indice de l'efficacité des aménagements antiérosifs.

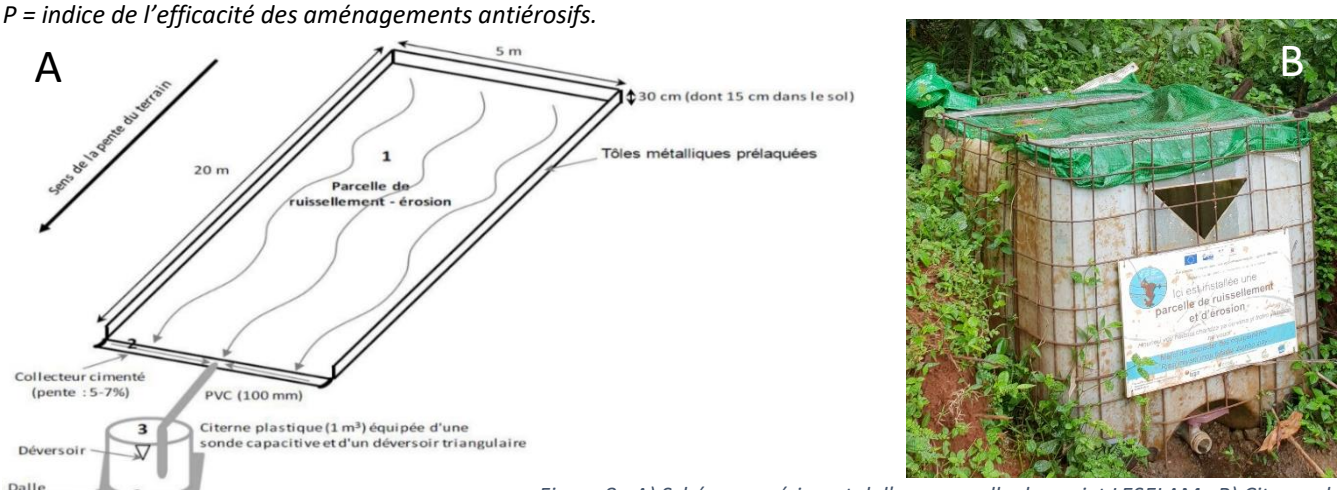


Figure 8 : A) Schéma expérimental d'une parcelle du projet LESELAM ; B) Citerne de la parcelle sous Forêt (d'après Desprats et al., 2016)

Pour réaliser des comparaisons entre les parcelles, la superficie est standardisée (100m² - 20mx5m. La parcelle est entourée de tôles métalliques (30 cm de hauteur) protégeant la parcelle d'arrivées extérieures d'eau ou de sédiments (Fig.8.A.1). L'eau de ruissellement est collectée par des rigoles en ciment (5 m L x 30 cm l x 20 cm P) (Fig.8.A.2). Elle est par la suite acheminée vers une citerne en plastique équipée d'un déversoir en cas de débordement (Fig.8.A.3). Un empierrage est mis en place afin de faciliter l'infiltration des surplus d'eaux.

Différents suivis sont effectués sur les parcelles durant la saison des pluies (Fig.5) :

- **Transport liquide :** toutes les cuves sont équipées d'une sonde capacitive (Odyssée Water Level Logger) déterminant la hauteur d'eau dans le réceptacle toutes les 2 minutes ;
- **Transport solide :** après chaque évènement pluvieux important, trois prélèvements sont réalisés. Le premier est un prélèvement de surface. Les deux derniers sont réalisés après une remise en suspension de la cuve (1 après brassage et 1 avant la fin de la vidange). Si une charge de fond est présente après la vidange de la cuve, celle-ci est directement pesée (des prélèvements suivis de pesées après un passage à l'étuve ont permis de définir une densité de 0,66 permettant le calcul de la matière sèche) ;
- **Suivis des facteurs d'érosion :** la pluie (ainsi que son intensité), l'humidité des couches superficielles (sonde installée sur les stations météorologiques) et un état de surface des sols sont mesurés. L'état de surface est réalisé au début et à la fin de chaque saison des pluies pour observer l'évolution de l'érosion du sol à l'aide de 5 classes définies par l'étude de Roose (1999) : terre fine, litière/paillis, couverture végétale, terre tassée/compactée ou encore croutes/rigoles. L'ensemble des observations sont faites tous les 25 cm sur 5 lignes perpendiculaires à la pente et séparées entre elles de 4 m (Desprats *et al.,*2016).

II°) Matériel et méthodes

2.1°) Enquête sur les pratiques culturales

Dans le but de réaliser une modélisation de l'érosion des sols, une enquête sur l'occupation du sol a été effectuée sur les bassins versants pilotes du Nord. A Mayotte, la plupart des terres sont utilisées à des fins agricole. Cette enquête a pour objectif de définir, comprendre et réaliser la hiérarchisation ainsi que l'organisation spatiale d'une pratique culturale très répandue à Mayotte : le jardin mahorais. Si cette pratique ancestrale est couramment utilisée, elle reste complexe à définir. La diversité des productions (types de cultures, occupation du sol et taux de recouvrement du sol) varie entre les cantons de l'île (Deffontaines, 2013).

Dans ce contexte, il est essentiel de définir la pratique agricole la plus utilisée sur les ruissellomètres du projet. Cette enquête va permettre de comprendre et d'appréhender les facteurs ainsi que les potentiels impacts de l'érosion et du ruissellement face à cette pratique agricole utilisée.

2.2°) Analyses Laboratoires

Les analyses des échantillons prélevés sur l'observatoire (ruissellomètres et seuils) ont été réalisées au laboratoire du BRGM, afin de quantifier des MES (Matières En Suspension) détachées par les ruissellements de surface et ravinaires. Le protocole de laboratoire a été produit et établi selon la norme NF EN 872 de 2005 (Qualité de l'eau – Dosage des matières en suspension - Méthode par filtration sur filtre en fibre de verre) (Thietry, 2018).

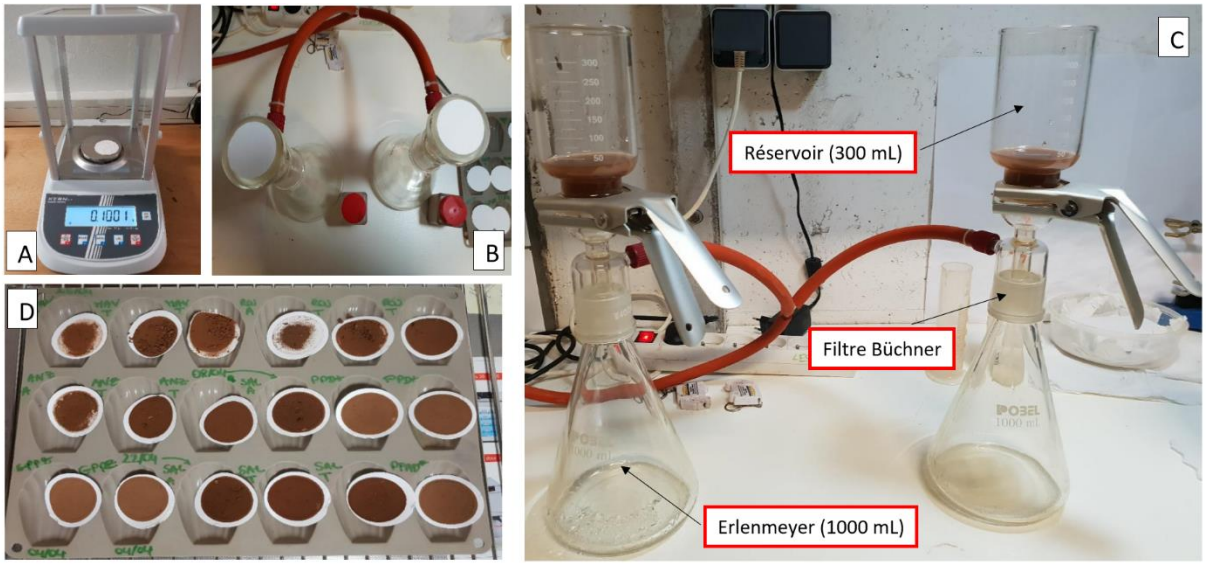


Figure 9 : A) Pesée d'un filtre à sec avant filtration ; B) Mise en place d'un filtre sur l'unité de filtration ; C) Passage des échantillons dans les unités de filtration ; D) Dépôts des filtres chargés dans leur réceptacle avant la mise à l'étuve

Avant de réaliser une filtration des échantillons, les filtres correspondants sont pesés par l'intermédiaire d'une balance de précision de ± 1.10^{-4} (Fig. 9.A). Chaque filtre est installé avec une pince plate sur un filtre Büchner ainsi qu'un Erlenmeyer (Fig. 9.B et C). Il est ensuite recouvert d'un réservoir (300ml ; Fig.9.C). Les échantillons sont par la suite mis en suspension et mesurés (100 ml ou 50 ml selon la charge sédimentaire) à l'aide d'une burette graduée. Une pompe à vide est mise en fonctionnement pour procéder à la filtration (Fig. 9.C). Les dépôts de matières encore présents sur le réservoir sont redirigés vers le filtre via l'utilisation d'une pissette d'eau déminéralisée. Les filtres des échantillons sont ensuite déposés dans un réceptacle et mis à l'étuve à 45°C pendant 48 h (Fig.9.D). Les filtres chargés en MES sont enfin pesés sur la même balance de précision. Une concentration est calculée pour chaque échantillon (Equation 3 ; Thietry, 2018).

$$(3)\ [MES]\ (mg/L) = \frac{Masse\ sédimentaire\ (mg)}{Volume\ d'eau\ (L)} = \frac{M1 - M0}{V}$$

Avec : [MES] = teneur de matières en suspension, milligrammes par litre ; M0 = masse du filtre à sec avant filtration, milligrammes, M1= masse du filtre après filtration en milligrammes ; V = volume de l'échantillon en litres.

2.3°) Analyses de données

Des traitements de données relatifs aux parcelles sont menés à partir des mesures acquises sur le terrain : capacitance (conversion des hauteurs d'eau en mm), pluie (mm) et concentration en MES (g/L). La quantification du flux sédimentaire et du coefficient de ruissellement sont réalisés sur une échelle annuelle et évènementielle.

2.3.1°) Estimation du débit

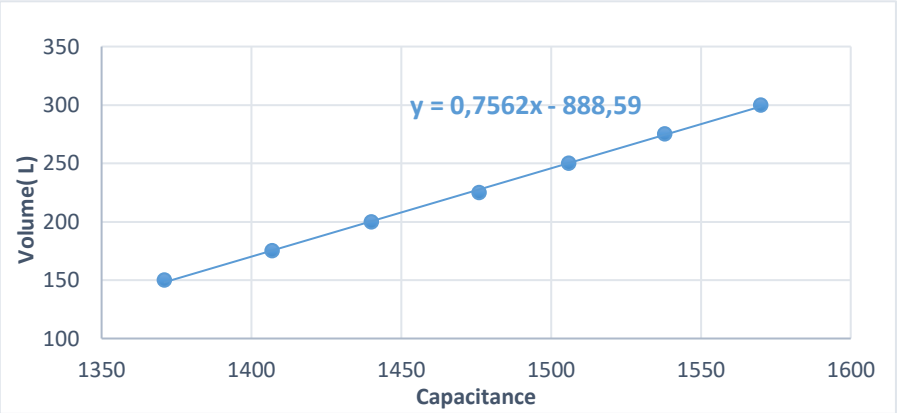


Figure 10 : Droite d'étalonnage lors des essais de la sonde installée sur la parcelle Salami Témoin (saison des pluies 2018)

La première étape est le calcul du volume ruisselé sur chaque parcelle. Pour cela, l'ensemble des données de capacitance sont collectées sur les années hydrologiques de 2017-2018 et 2018-2019. Les sondes Odyssée sont étalonnées à chaque début et fin de saison des pluies. L'étalonnage permet l'élaboration d'une courbe de tendance (équation de type ax-b), nécessaire à l'estimation précise du volume d'eau présent dans la cuve (Fig.10). Pour déterminer le volume d'eau (L), la mesure de capacitance est remplacée par le terme non connu (« x ») dans l'équation de la courbe de tendance. Le volume entre chaque mesure de capacitance est par la suite estimé puis converti en débit (L/s).

2.3.2°) Détermination des paramètres hydrologiques

A) Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est le ratio entre une lame d'eau ruisselée sur une surface connue et la lame d'eau précipitée sur le bassin versant étudié (Rodier, 1993 ; Equation 5).

$$(4)\ Ruissellement\ (mm/an) = \frac{Volumes\ annuels(m^3)}{Surface\ de\ la\ parcelle\ (m^2)} \times 1000$$

Tableau 1: Filtration des pluies sur la parcelle urbaine améliorée à l'aide de l'outil Excel

Date	Rainfall,mm	Debit in Ls	MES,gl	Sed,Load,kg	Filtration P	Volume (L)
2/9/16 15:04	0,101	NA	NA	NA	1	=SI(OU(C2=0;C2="NA");0;C2*2*60)
2/9/16 15:06	0,5095	NA	NA	NA	1	0
2/9/16 15:08	0,6145	NA	NA	NA	1	0
2/9/16 15:10	0,203	NA	NA	NA	1	0
2/9/16 15:12	0	NA	NA	NA	1	0
2/9/16 15:14	0,101	NA	NA	NA	1	0

$$(5)\ Coefficient\ de\ ruissellement\ (\%) = \frac{Volume\ d'eau\ ruisselé\ (m^3)}{Volume\ de\ pluie\ (m)} \times 100$$

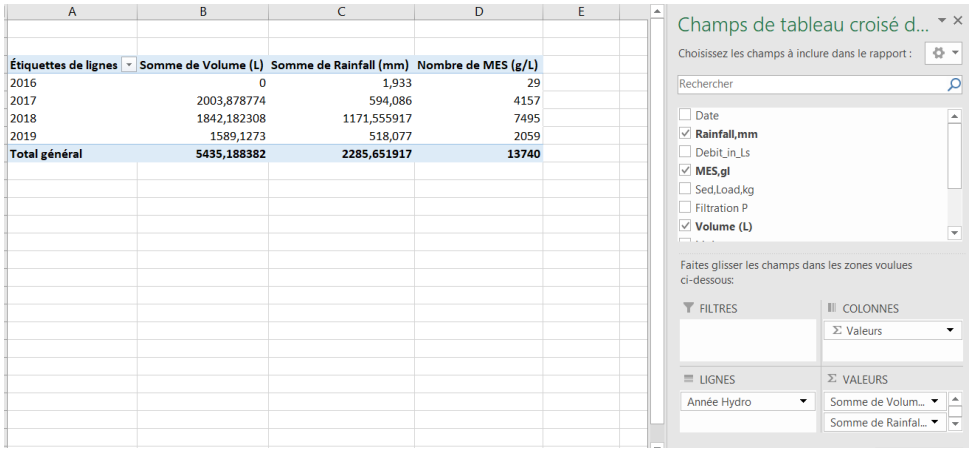
L'objectif est d'ici estimer le volume d'eau ruisselée par parcelle (Equation 4) ainsi que le volume d'eau de pluie à une échelle choisie (annuelle ou évènementielle). Pour ce faire, les mesures des pluies (mm) et des débits (L/s) sont utilisées pour déterminer les futurs paramètres.

Le volume ruisselé (Equation 4) est le premier paramètre mesuré. Il est estimé en déterminant le volume (annuel ou événementiel) et la surface de chaque parcelle (environ 100 m²). Le volume d'eau est ensuite calculé à partir des débits (L/s) à pas de temps régulier (Volume = Q x Pas de temps). Toutes les cellules indiquant un débit annoté « NA » (Not Available), sont remplacées d'un zéro à l'aide d'une condition permettant de déterminer le volume d'eau par évènement (Tab.1). La somme des volumes d'eau (par évènement ou par année hydrologique) est calculée à l'aide d'un tableau croisé dynamique (Fig.11).

Le coefficient de ruissellement est quant à lui estimé à partir du ruissellement (Equation 4) et de la somme totale de pluie sur une échelle annuelle ou évènementielle (Equation 5). Pour estimer la pluie totale, une filtration des données de pluie et de débit est réalisée à l'aide d'une condition. Celle-ci va sélectionner l'ensemble des pluies mesurées même lorsqu'aucun débit ruisselé n'est constaté (NA) (Tab.1, cadre rouge).

B) Flux sédimentaire et taux d'érosion spécifique

Le flux sédimentaire est calculé par pas de temps en utilisant un volume (L) et des concentrations en matières en suspension MES (g/L) (Equation 6, Landemaine,2016).



Étiquettes de lignes	Somme de Volume (L)	Somme de Rainfall (mm)	Nombre de MES (g/L)
2016	0	1,933	29
2017	2003,878774	594,086	4157
2018	1842,182308	1171,555917	7495
2019	1589,1273	518,077	2059
Total général	**5435,188382**	**2285,651917**	**13740**

Figure 11 : Estimation annuelle du volume d'eau, de pluie et de concentration en MES sur la parcelle urbaine améliorée (utilisation de l'outil Excel).

Les valeurs de flux sédimentaires sont estimées avec une condition sur les débits (la même que pour l'estimation du coefficient de ruissellement). Une somme des concentrations en MES est par la suite réalisée à l'échelle de temps voulu avant de réaliser le calcul du flux sédimentaire (Equation 6).

$$(6)\ Flux\ sédimentaire\ (g) = [MES]\ (mg/L) \times Volume\ d'eau\ ruisselé\ (L)$$

Avec : [MES] : concentration en matières en suspension, en milligrammes par litre ; Volume d'eau ruisselé, en litre

Le flux sédimentaire est un paramètre qui va être réutilisé pour déterminer le taux d'érosion spécifique sur chaque parcelle. Ce paramètre est choisi pour mieux déterminer la masse sédimentaire érodée lors d'une saison hydrologique (Equation 7).

$$(7)\ Taux\ d'érosion\ spécifique\ (T/ha) = \frac{Flux\ sédimentaire\ (T)}{surface\ de\ la\ parcelle\ (ha)}$$

2.3.3°) Caractérisation des ruissellomètres pour la modélisation

La modélisation a pour objectif de généraliser à une échelle plus globale (bassins versants de l'observatoire, puis la totalité de l'île de Mayotte) les connaissances acquises sur le terrain à une échelle ponctuelle (ruissellomètres et bassins versants). Cette étude des processus d'érosion et de ruissellement à plusieurs échelles est un moyen de valider les fonctionnements hydro-sédimentaires. Elle sera menée avec un modèle développé par le BRGM : le modèle Watersed.

Avant d'entreprendre la modélisation, il est essentiel de réaliser la récolte des paramètres utiles au modèle (Cerdan *et.al,* 2006). Ils dépendent de plusieurs facteurs interagissant entre eux (plus ils sont nombreux et plus le modèle est complexe à mettre en œuvre ; Le Bissonnais *et al.,* 2004) :

- **Les paramètres de variabilité temporelle :** regroupant les paramètres appartenant au climat et l'hydrographie tels que la pluie (simulée ou non) et l'intensité (Cerdan *et al.,* 2006) ;
- **Les paramètres de la variabilité spatiale :** ces facteurs sont le sol (type de sol, rugosité, taux de matière organique, porosité) et l'occupation du sol (type de végétaux/cultures, taux de recouvrement du sol ; Cerdan *et.al,* 2006 et Le Bissonnais *et al.,* 2004).

Dans le cadre du projet LESELAM, afin de lier les paramètres hydro-sédimentaires et les paramètres propres aux parcelles pour la modélisation, les données temporelles et spatiales suivantes seront utilisées :

- **Le type de sol :** une carte des formations superficielles à l'échelle de l'île est en cours de finalisation : le projet EROMAY ;
- **L'occupation du sol :** une carte actualisée (2018) est en cours de réalisation par un bureau d'étude (Kermap) qui s'appuie sur des images satellitales Pleiades. Par la suite, l'estimation d'un taux de recouvrement est mise en œuvre durant le stage avec les suivis de terrain réalisés par un agronome de la CAPAM (Kadafi SAÏD) sur les ruissellomètres pendant les deux dernières années hydrologiques (Fig.12);
- **Les données climatiques de terrain :** les données de pluies récoltées par bassin et les simulations de pluies sur les ruissellomètres sont réutilisées pour estimer les paramètres hydro-sédimentaires ;
- **Les données sédimentaires :** données récoltées dans l'optique de déterminer les matières sédimentaires érodées ainsi que les paramètres hydro-sédimentaires.

III°) Résultats et discussions

3.1°) Analyse des ruissellomètres du projet

Pour limiter le ruissellement de surface et le transfert sédimentaire, favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol, maintenir la fertilité des sols (matière organique, nutriments), limiter l'ETR (Evapotranspiration réelle : eau réellement perdue d'un sol), des mesures agro-conservatoires sont envisageables. Avec des pentes comprises entre 15 et 40 % sur les bassins versants de l'observatoire LESELAM à Dzoumognié et Mtsamboro (Fig.3.B), le paillage, les bandes végétalisées parallèles aux courbes de niveau ou encore la couverture végétale sont envisageables sur les parcelles présentant des cultures fortement espacées entres elles (Bozza et Chamssidine, 2006). Ces aménagements vont favoriser l'infiltration, réduire et retenir les particules pouvant se détacher de la surface du sol durant les épisodes pluvieux intenses (Bozza et Chamssidine, 2006).

Les parcelles témoins, initialement laissées en jardin mahorais lors des deux premières saisons des pluies, ont montré de très faibles différences en termes de ruissellement et d'érosion par rapport aux parcelles aménagées. Il a été décidé dès janvier 2018 de conduire ces témoins de façon « intensive » en supprimant toute couverture végétale au sol, ainsi que tout paillage, comme cela est pratiqué par les agriculteurs abandonnant la pratique du jardin mahorais au profit de monocultures de manioc ou de bananes. L'objectif est d'augmenter les contrastes, et donc de démontrer :

- Le risque de l'abandon du jardin mahorais au profit des monocultures avec la mise à nue du sol ;
- L'intérêt du maintien du jardin mahorais, optimisé par des aménagements agro-conservatoires. Ceux-ci sont une optimisation du jardin mahorais. L'objectif est aussi de ne pas modifier drastiquement des techniques ancestrales qui montrent leur intérêt dans le maintien de la fertilité, la conservation de l'eau, et la réponse aux besoins alimentaires familiaux.

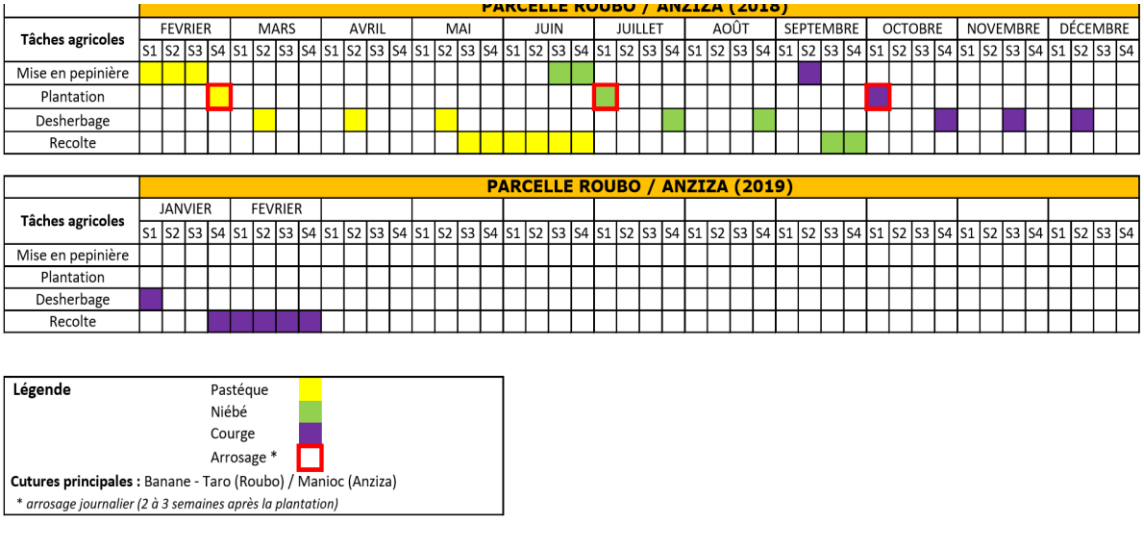
Pour étudier les ruissellements de surface sur les parcelles de l'observatoire, deux types d'aménagements agro-conservatoires sont mis en place sur les parcelles améliorées pour réduire l'érosion : (1) les couverts végétaux et (2) les aménagements antiérosifs : paillage, rangs d'ananas. Chaque binôme de parcelles (témoin et aménagée) mesure dans les mêmes conditions de pluviométrie, de pente et d'occupation du sol, le ruissellement et l'érosion.

Lors de la prospection initiale par la CAPAM et le CIRAD sur le bassin versant de Dzoumognié, 4 agriculteurs ont été retenus pour le projet : Anziza, Roubouanti, Salami et Mavouna (Fig.6). Leurs parcelles agricoles sont représentatives du jardin mahorais actuel. La parcelle urbaine est quant à elle située sur le bassin versant de Mtsamboro (Fig.6).

Ruissellomètres agricoles avec aménagements basés sur un couvert végétal

Les parcelles aménagées chez Anziza et Roubouanti (bassin versant de Dzoumognié) présentent une culture principale et un couvert végétal rampant (courges, pastèques) et/ou paillage (feuilles mortes sur place ou apports d'herbes sèches). Le choix d'un couvert végétal de paillis est privilégié sur des pentes au-delà de 20% (Saïd,K., CAPAM). Les couverts végétaux rampants sont utilisés sur des pentes supérieures à 40% (Saïd,K., CAPAM). Les deux couverts sont souvent associés pour réaliser une protection optimale du sol. C'est le cas pour les deux parcelles du projet.

Tableau 2 : Calendrier cultural des parcelles Roubo et Anziza durant l'année hydrologique 2018-2019



Durant la saison des pluies de 2018-2019, des couverts végétaux rampants ont été implantés (courges et pastèques) pour qu'ils se développent et recouvrent le sol durant toute la saison des pluies pour lutter contre l'érosion hydrique (Tab.2). Le calendrier cultural mis en place par les agronomes locaux de la CAPAM et d'Agrikagna visent à :

- A éviter toute concurrence directe avec les cultures principales implantées ;
- A lutter contre la pousse des adventices et augmenter le rendement global de production annuelle (Tab.2).

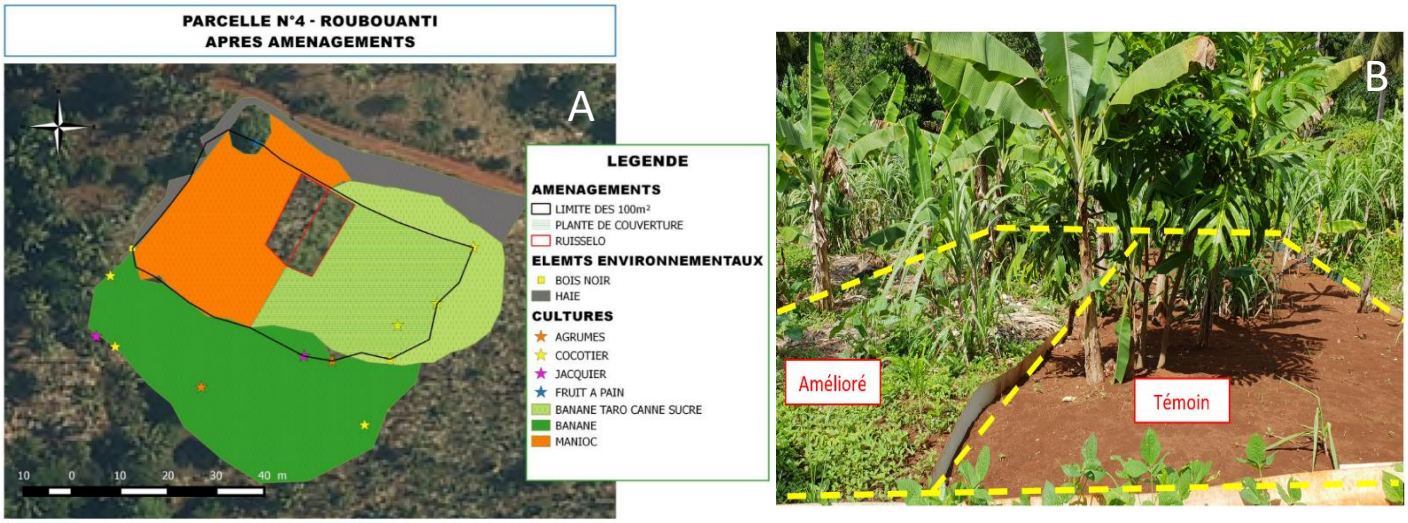


Figure 12 : A) Site de la parcelle de Roubouanti après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Roubouanti sur le terrain (Figure 12.A : d'après Kadafi Saïd, CAPAM)

Ruissellomètre Roubouanti (surface de 97 m², pente de 26%) :

Il est composé de bananes, manioc et cannes à sucre (Fig.6 et 12.B). L'îlot dans lequel se trouve la parcelle est composé d'une parcelle de manioc et d'une parcelle composée de bananes, taro, cannes à sucre ainsi que d'un couvert végétal au sol (patate douce ; Fig.12.A). Peu d'arbres de hautes et moyennes tiges sont présents sur la zone.

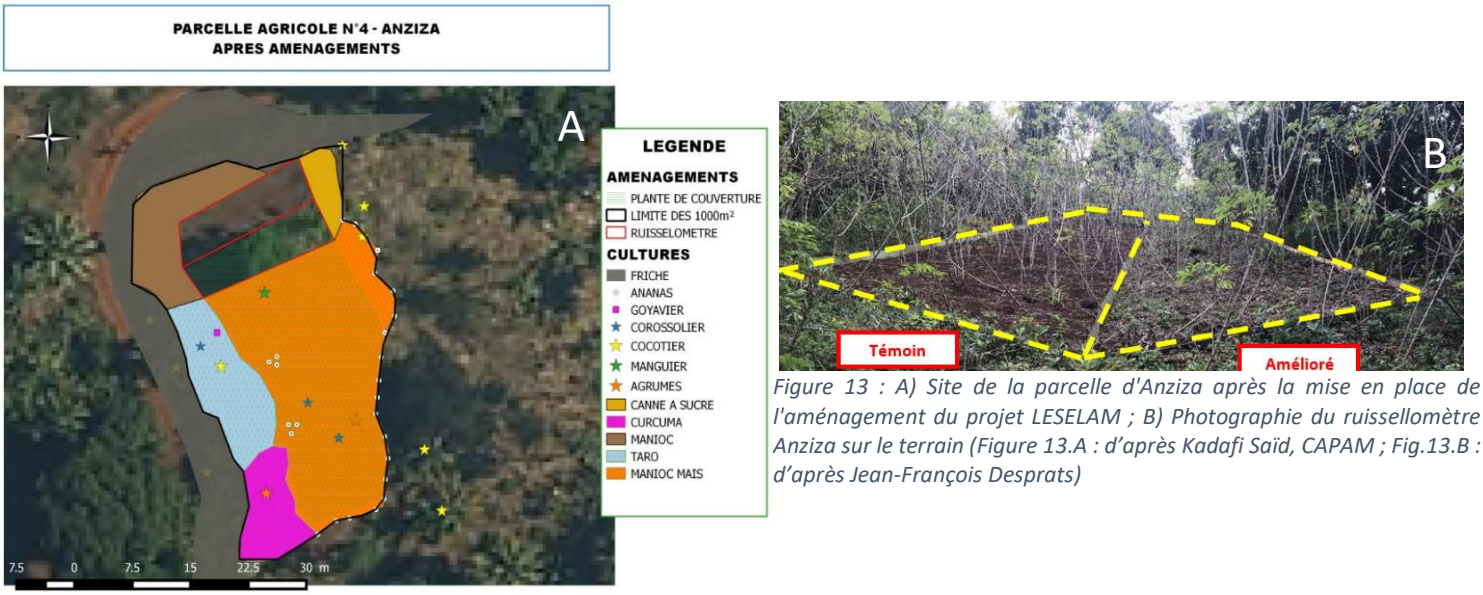


Figure 13 : A) Site de la parcelle d'Anziza après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Anziza sur le terrain (Figure 13.A : d'après Kadafi Saïd, CAPAM ; Fig.13.B : d'après Jean-François Desprats)

Ruissellomètre Anziza (surface de 98 m², pente de 22%) :

Cette parcelle est en monoculture de manioc (Fig.6 et 13.B). L'îlot dans lequel le ruissellomètre se trouve est compartimenté de diverses cultures telles que la canne à sucre, le curcuma, le taro ainsi que le manioc ou manioc en association avec le maïs (Fig.13.A). La parcelle aménagée est protégée par un paillage.

Ruissellomètres avec aménagements antiérosifs (bandes végétalisées)

Les aménagements antiérosifs sont des moyens adaptés aux problèmes de production agricole en pente. Ces dispositifs (bandes végétalisées à base d'ananas ou bien fascines) sont mis en ligne perpendiculairement à la pente pour stopper les particules sédimentaires arrachées au sol lors d'évènements pluvieux et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

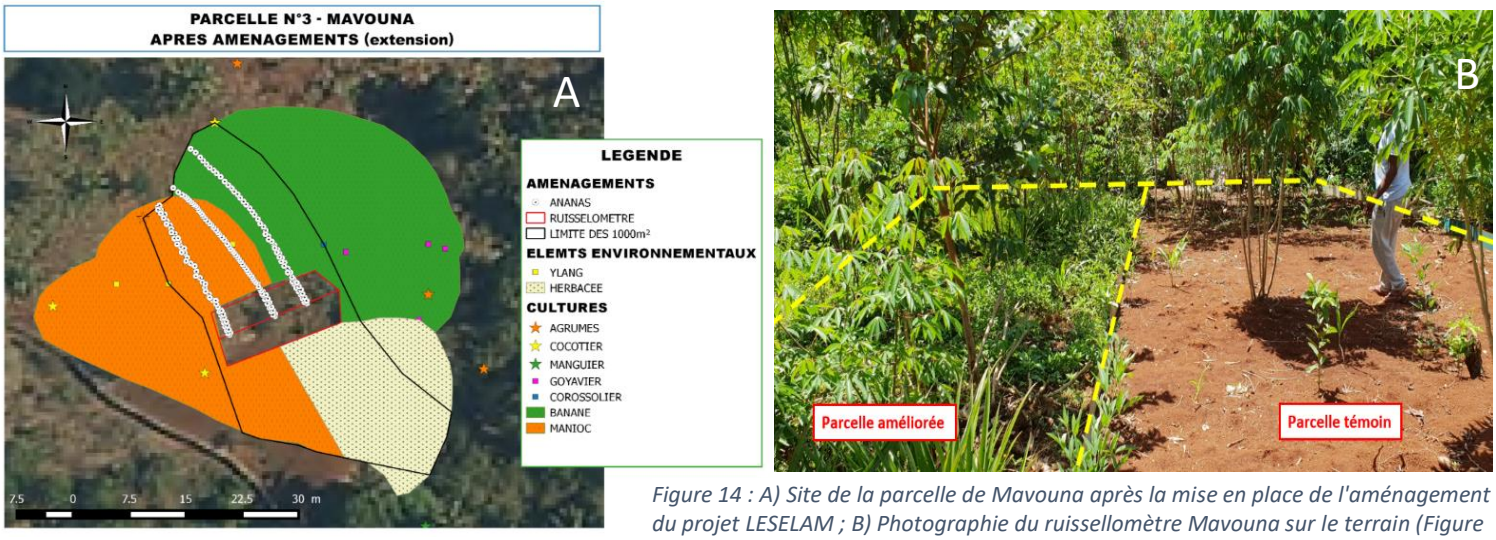


Figure 14 : A) Site de la parcelle de Mavouna après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Mavouna sur le terrain (Figure 14.A : d'après Kadafi Saïd, CAPAM)

Ruissellomètre de Mavouna (surface de 97 m², pente de 26%) :

La parcelle de Mavouna est cultivée en manioc avec la présence de goyaviers (Fig. 6 et 14.B). L'îlot est quant à lui compartimenté en sous-parcelles de culture de manioc ou de bananes avec la présence d'une zone en jachère (herbacée ; Fig.14.A). L'aménagement agro-conservatoire consiste donc en l'implantation de 3 rangs d'ananas en quinconce, avec alignements tous les 5 mètres. Cette distance doit limiter l'inertie des eaux de ruissellement, qui vont s'infiltrer en arrivant sur un rang d'ananas (perte de leur capacité érosive).

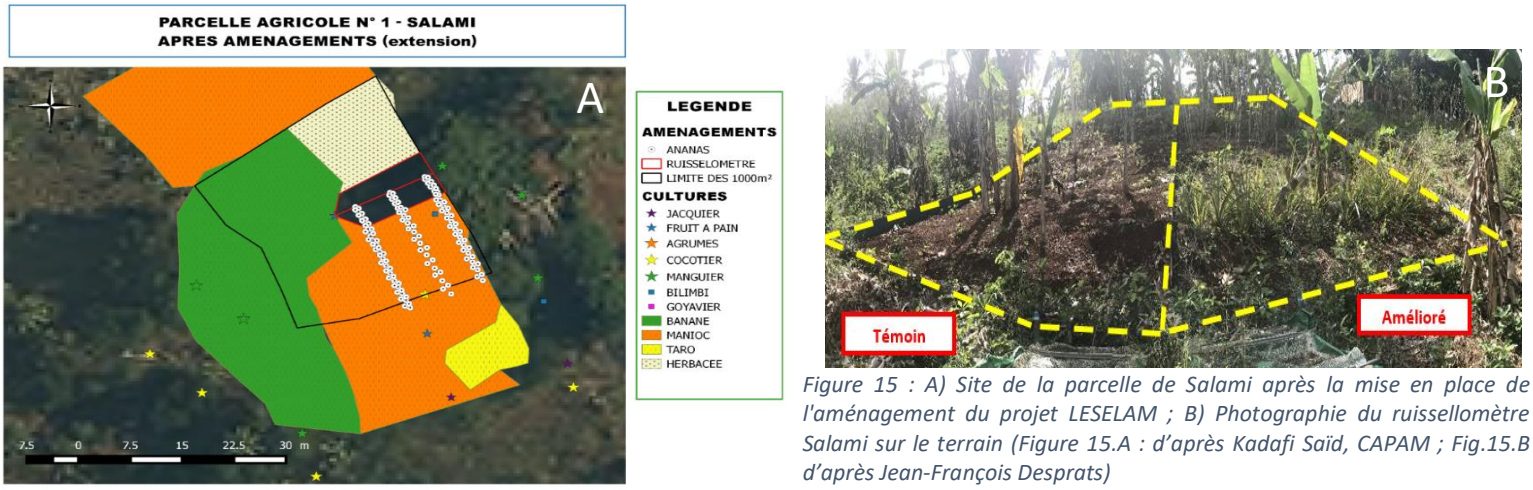


Figure 15 : A) Site de la parcelle de Salami après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Salami sur le terrain (Figure 15.A : d'après Kadafi Saïd, CAPAM ; Fig.15.B d'après Jean-François Desprats)

Ruissellomètre de Salami (surface de 95%, pente de 34%) :

Le ruissellomètre de Salami a comme cultures principales le manioc et la banane (Fig.6 et 15.B). Les aménagements mis en place sont des rangs d'ananas identique à ceux mis en place chez Mavouna. La parcelle se situe dans un îlot composé de sous-parcelles en bananes et en manioc ainsi que d'une zone en jachère (Fig.15.A).

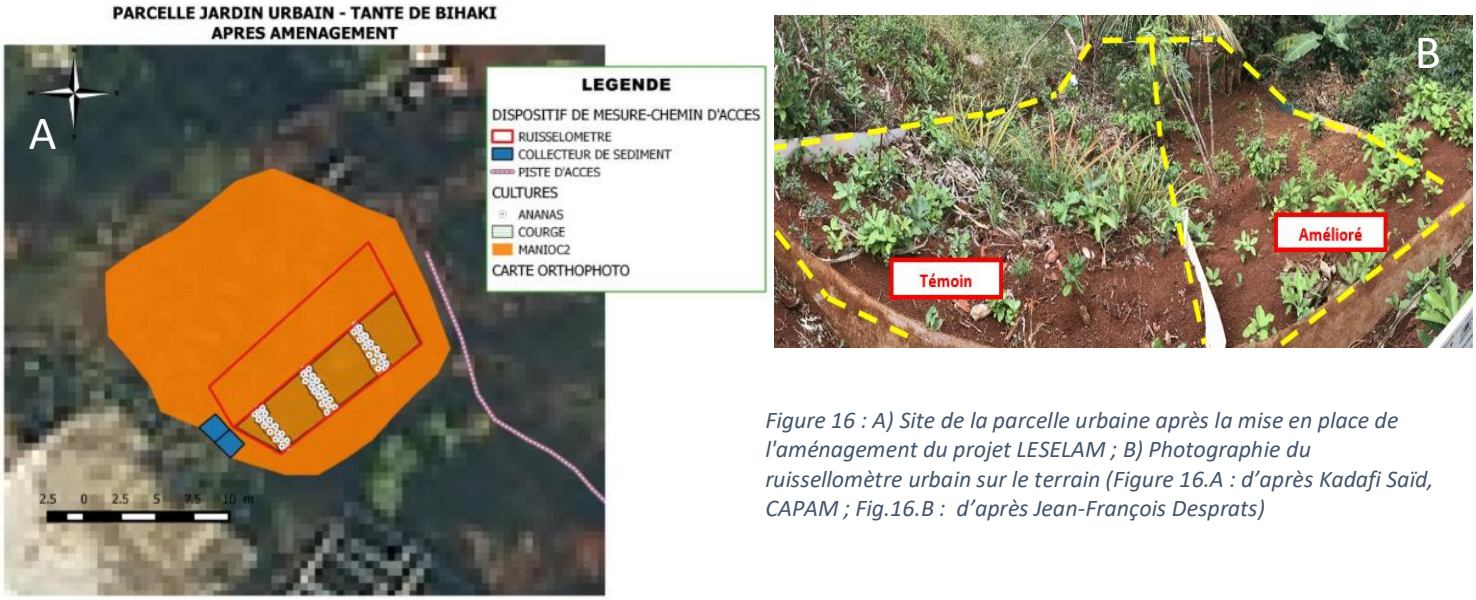


Figure 16 : A) Site de la parcelle urbaine après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre urbain sur le terrain (Figure 16.A : d'après Kadafi Saïd, CAPAM ; Fig.16.B : d'après Jean-François Desprats)

Ruissellomètre urbain (surface de 43 m², pente de 34%) :

Ce site, présent en zone péri-urbaine de Mtsamboro, est cultivé en monoculture de manioc (Fig.6 et 16.A). La partie aménagée bénéficie de bandes végétales (3 rangs d'ananas en quinconce tous les 5m), de paillage au sol ainsi que de plantes de couverture (Fig.16.B). La partie témoin est donc une monoculture de manioc avec un sol nu en dessous (Fig.16.B).

Ruissellomètres sous forêt et padzas

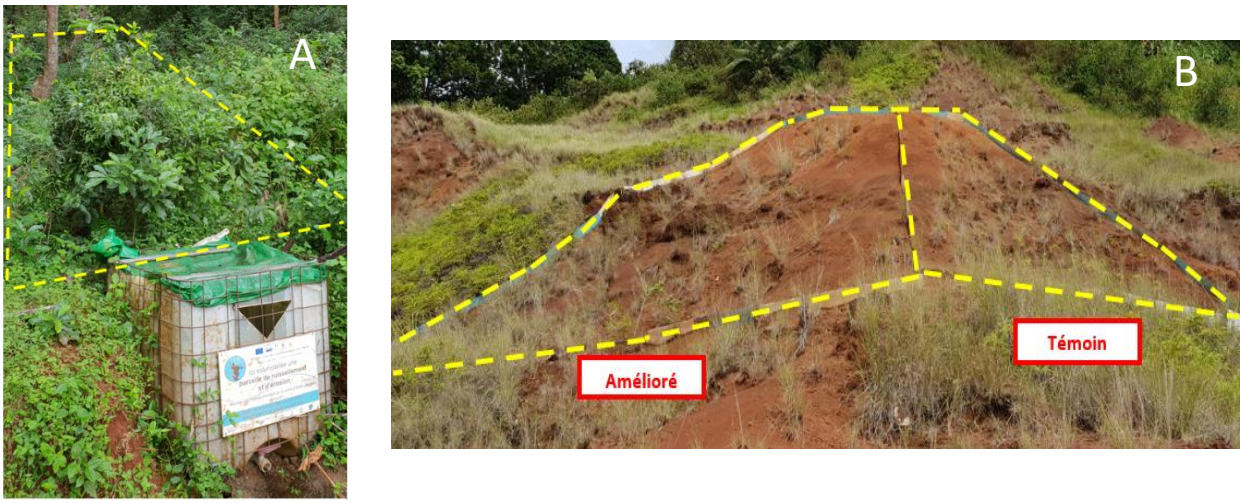


Figure 17 : A) Site de la forêt (lieu non aménagé) du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre des « padzas »

Ces deux sites sous forêt et padzas visent à mesurer le ruissellement ainsi que l'érosion sur deux types d'occupation du sol autre que l'agriculture à Dzoumognié.

Ruissellomètre forêt (surface de 99 m², pente de 15%) :

La parcelle sous forêt est une parcelle sans aucune modification faite par l'homme (Fig. 6 et 17.A). Un couvert végétal (feuilles mortes) et des arbres (acacia et cocotiers) occupent le sol.

Ruissellomètre padza (surface de 104 m² et pente de 30 %) :

D'origine naturelle ou anthropique, les padzas couvrent une partie non négligeable de Mayotte. Le ruissellomètre, mis en place en 2016, n'a pas la forme rectangulaire attendue d'une parcelle Wishmeir car ses limites suivent les lignes de partage des eaux. La partie « Témoin » est un padza quasiment à nu (Fig.17.B). La partie « Aménagée » est agencée de plantations dont les effets sur le ruissellement et l'érosion sont attendus dans plusieurs années. De ce fait, dans les analyses suivantes, seule la partie Témoin sera prise en compte.

3.2°) Synthèse de l'enquête du jardin mahorais

L'agriculture mahoraise est traditionnellement vivrière. Elle est dominante sur les bassins versants de l'observatoire LESELAM et est pratiquée sur 10 des parcelles Erosion du projet. Elle représente un rôle économique et sociale important avec plus de 15 000 ménages mahorais (1/3 de la population) utilisant cette pratique culturale pour subvenir à environ 50% des besoins alimentaires de l'île (Deffontaines, 2013 ; Lazerges, 2010). Les productions sont destinées à la consommation familiale et la commercialisation locale. Elles occupent 92 % de la SAU (Surface Agricole Utile) du territoire. On retrouve divers systèmes de production tels que la culture sous forêt (agroforesterie), l'élevage, le maraichage, les plantes à parfum, aromatiques et médicinales et les jardins mahorais (Deffontaines, 2013).

3.2.1°) Pratique ancestrale du jardin mahorais

Les jardins mahorais sont des systèmes de polyculture agroforestière associant des cultures pérennes (Litchis, manguiers, jacquiers, avocatiers, cocotiers, orangers, mandariniers, arbres à pain, bananiers, papayers, Ylang) avec des cultures annuelles (manioc, ananas, ambrevades, maïs ; Lazerges, 2010 ; Rivière, 2017). Le système de polyculture le plus pratiqué à Mayotte associe principalement les cultures vivrières (héliophiles) à des couverts arborés peu denses (Didelot et Dhinou, 2018).

Cette pratique a longtemps été basée sur l'autoconsommation alimentaire. La pratique ancestrale consistait dans un premier temps à défricher en brousse une parcelle de petite taille (îlot), puis faire un brûlis (tout en sauvegardant les arbres fruitiers ; Lazerges, 2010). Les apports dûs aux cendres (chargées en P et K) permettaient de cultiver la première année des cultures capables d'ingérer ces éléments comme le riz pluvial en polyculture avec du maïs. La deuxième étape de la pratique avait pour objectif de mettre en œuvre une association étagée des cultures (Didelot et Dhinou, 2016). L'objectif du système de cultures, était de répartir sur les terres (selon la place et les nivellements de l'îlot) des arbres fruitiers avec des associations de bananes et d'ananas ou des associations d'ambrevades (ou autres légumineuses), de manioc et de maïs (Rivière, 2017). Les agriculteurs utilisant ce système de polyculture pouvaient être amenés à recouvrir leur sol d'un couvert végétal selon leur besoin (courges, patates douces). Le sarclage autour des cultures vivrières était pratiqué durant la saison des pluies (3 fois tous les 2 mois) pour retirer les adventices et éviter une baisse du développement des cultures vivrières (concurrence entre cultures et adventices). Lorsque les terres étaient utilisées durant 4 ou 5 ans, elles étaient laissées en jachère durant 10 à 20 ans (Didelot et Dhinou, 2016).

Avant les années 70, les mahorais privilégiaient l'implantation de leur exploitation sur des zones partiellement planes pour faciliter la pratique. Une compartimentation des ilots et des cultures à l'intérieur était effectuée pour permettre une rotation du travail du sol et une mise en jachère optimale (Lazerges, 2010).

3.2.2°) Pratique actuelle du jardin mahorais

Depuis les années 70, la pratique du jardin mahorais a peu à peu évolué vers un système de polyculture sans couvert arboré.

La pression démographique croissante a engendré dans un premier temps une intensification des pratiques, avec une mise en culture de surfaces agricoles de plus en plus pentues et une réduction du temps de jachère pourtant utile à la régénération des terres (Lazerges,2010). Le système de polycultures est de plus en plus orienté vers un système de monoculture vivrier sur chaque îlot : une partie de l'îlot cultivé en bananes (60 à 70% de la surface) et une partie cultivée en manioc (30 à 40% de la surface ; Saïd, K.). La diminution de la densité des cultures de couverture, l'exploitation intensive des terres en monoculture, le sarclage durant la saison des pluies associés à la mise en culture de terrains en pente ont fortement exposé les terres à l'érosion et à la baisse de la fertilité des sols (Lazerges, 2010).

3.2.3°) Avantages environnementaux de la polyculture du jardin mahorais

Les jardins mahorais, quoiqu'en régression, sont encore largement répandus et présentent de nombreux avantages pour les agriculteurs :

- Une meilleure résistance au stress hydrique et climatique, et un maintien de la fertilité :
    - *Implantation d'un couvert végétal :* garde l'humidité de la rosée du matin ;
    - *Implantation des arbres fruitiers :* ces arbres de haute tige font de l'ombre aux cultures vivrières durant certaines périodes d'ensoleillement pour limiter leur évapotranspiration ;
    - *Maintien du sol par le système racinaire* ;
- Une répartition des récoltes selon les types de cultures dans l'année : l'utilisation de l'ensemble de la surface du sol permet d'avoir des rendements plus importants tout au long de l'année.

3.3°) Analyse de la réponse hydro-sédimentaire des placettes

3.3.1°) Description des évènements de pluie

Le cumul de pluie de chaque évènement a été classé suivant trois classes de cumul de façon à observer la répartition des pluies entre les deux années de suivi (2017-2018 et 2018-2019 ; Fig.18).

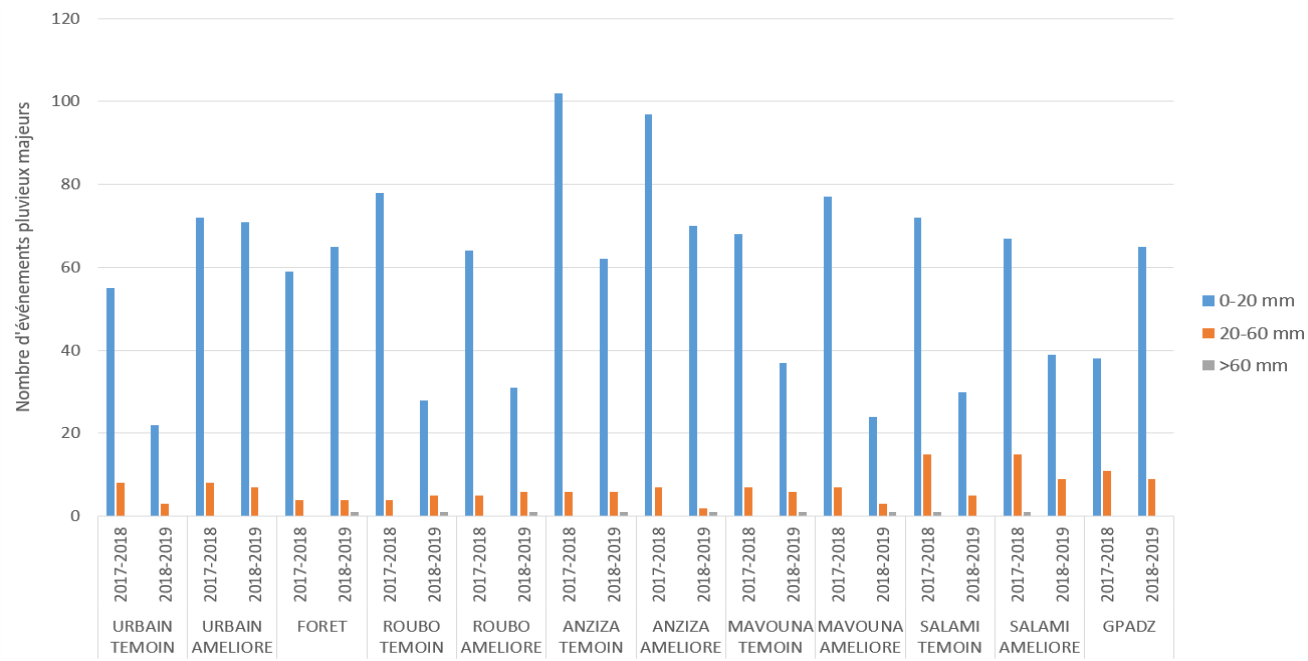


Figure 18 : Cumul annuel des évènements majeurs pluvieux durant les années hydrologiques 2017-2018 et 2018-2019

Sur les deux années de suivi, les trois classes d'événements les plus importants sont les suivantes :

- **Entre 0 et 20 mm :** ceux sont les évènements pluvieux les plus fréquents sur les deux années hydrologiques suivies : 913 évènements en 2017-2018 et 591 en 2018-2019 (Fig.18) ;
- **Entre 20 et 60 mm :** ces évènements sont beaucoup moins : 110 évènements en 2017-2018 et 71 en 2018-2019 (Fig.18) ;
- **Supérieurs à 60mm :** ces évènements sont les plus rares. Ils ont été estimés à 3 en 2017-2018 et 7 en 2018-2019 (Fig.18).

En somme, le nombre d'évènements pluvieux est plus important lors de la première année de suivi : 1026 évènements en 2017-2018 contre 669 en 2018-2019. Cette analyse est une première clé permettant de comprendre les différences observées sur la réponse hydrologique et sédimentaire, dont les résultats sont présentés dans le point suivant.

3.3.2°) Coefficient de ruissellement à l'échelle annuelle

Afin d'observer les phénomènes d'érosion annuels à l'échelle parcellaire, les coefficients de ruissellement et taux d'érosion sont représentés graphiquement (Fig.19 et 20).

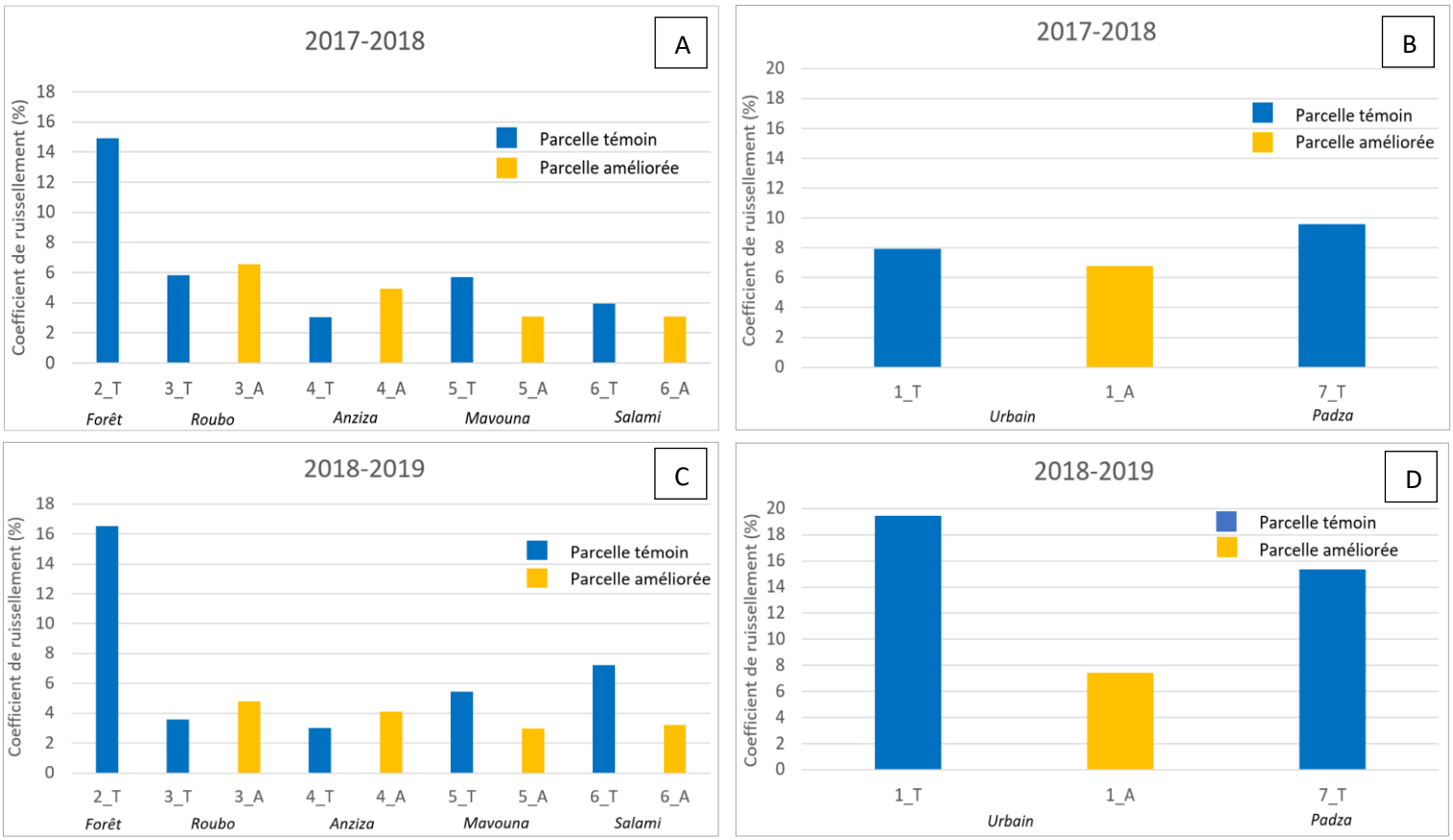


Figure 19 : A) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2017-2018 ; B) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles urbaines et padza durant l'année hydrologique 2017-2018 ; C) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2018-2019 ; D) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles urbaines et padza durant l'année hydrologique 2018-2019

Légende : 1_T : Urbain témoin ; 1_A : Urbain améliorée ; 2_T : Forêt ; 3_T : Roubo témoin ; 3_A : Roubo améliorée ; 4_T : Anziza témoin ; 4_A : Anziza améliorée ; 5_T : Mavouna témoin ; 5_A : Mavouna améliorée ; 6_T : Salami témoin ; 6_A : Salami améliorée ; 7_T : padza témoin

A) Comparatif des types d'occupation du sol

D'une manière croissante, les coefficients de ruissellement sont les plus faibles sur les parcelles agricoles (4 % en moyenne sur les parcelles améliorées et 5% en moyenne sur les parcelles témoins) et augmentent ensuite sur les surfaces urbaines (7% en moyenne pour la parcelle améliorée et 13,5% en moyenne pour la parcelle témoin), la forêt (15,7% en moyenne) et le padza (40,5% en moyenne ; Fig.19).

Sur les parcelles agricoles aménagées d'andins d'ananas (Mavouna et Salami) : les coefficients de ruissellement sont en moyenne de 5% pour les parcelles témoins et 3% pour les parcelles améliorées en 2017-2018 et 6,5 % et 3,7 % en 2018-2019.

Durant les deux années hydrologiques, la parcelle en forêt et les parcelles agricoles aménagées (Roubo et Anziza) ont des ruissellements qui semblent être favorisés par la présence de paillage et de couverts végétaux (Fig.19.A et C). En effet, sur les parcelles agricoles aménagées (Roubo et Anziza), les

coefficients de ruissellement y sont plus élevés que sur les parcelles améliorées témoins qui ont un sol nu (5,5% en moyenne sur les améliorées et 4,5% pour les témoins en 2017-2018 ; Fig.19.A).

Ces résultats paraissent surprenants pour la parcelle forêt puisque ce milieu est généralement propice à l'infiltration de l'eau dans le sol (Fig.19). En 1983, E.Roose a réalisé une étude du ruissellement et de l'érosion du sol avant et après le défrichement d'une forêt en Afrique occidentale. La parcelle observée sous forêt a des caractéristiques similaires, à la parcelle du projet (pente, conditions climatiques tropicales, intensité des pluies). Les résultats montrent que la parcelle de forêt suivie avant un défrichage avait un coefficient de ruissellement de 0,6% (Roose, 1983). Des observations ont été faites sur les 20 premiers cm de sol du ruissellomètre sous forêt. Elles indiquent la présence d'un horizon argileux compact sous l'horizon humifère. Dans ce contexte, cela expliquerait les ruissellements élevés sur la parcelle du projet. Ce phénomène ne peut en rien être généralisé à l'ensemble des forêts de l'île. Il doit être ainsi pondéré à partir d'une cartographie fine des propriétés physiques des sols.

B) Analyse de l'impact des aménagements

Sur toutes les parcelles agricoles aménagées, les parcelles Anziza et Roubo aménagées de paillage ont un ruissellement plus fort qui ne favoriserait pas l'infiltration de l'eau dans le sol. Ce phénomène pourrait être cependant un moyen de diminuer l'évapotranspiration du sol puisqu'il retient l'eau au profit des cultures mises en place (limitation de l'ETP). En 2011, Neyrinck a mené une étude se rapprochant des caractéristiques des parcelles améliorées paillées. Cette étude était portée sur l'effet du paillage et du non-labour sur des parcelles de bananiers (de pente supérieure à 20%) dans la région de Mulungu en République Démocratique du Congo. Les résultats témoignent d'un coefficient de ruissellement faible (en moyenne de 0,3%).

Le paillage sur les parcelles du projet serait un aménagement permettant de limiter l'érosion du sol. Cependant, les résultats de ruissellement de l'eau ne sont pas en cohérence avec la littérature (Neyrinck, 2011). Ce phénomène pourrait être expliqué selon deux hypothèses :

- **L'humidité et le type de sol** : avec la présence du paillage, l'humidité importante du sol pourrait causer une saturation plus rapide favorisant un ruissellement d'eau plus précoce lors d'un évènement pluvieux ;
- **La nature du paillage :** selon le type de paillage (herbes sèches, feuilles de bananiers pour Roubo et feuilles de manioc pour Anziza), l'aménagement pourrait favoriser l'obturation des pores du sol en surface et favoriserait le ruissellement

Les bandes d'ananas en quinconce sur les parcelles agricoles aménagées de Mavouna et Salami retiennent les eaux ruisselantes et facilitent l'infiltration de l'eau au profit des cultures.

En analysant les résultats, utiliser la combinaison des bandes végétalisées ainsi que du paillage serait un résultat optimum pour réduire l'eau ruisselée et favoriser l'infiltration.

C) Comparatif des résultats entre les deux années hydrologiques

Les résultats de l'année hydrologique 2018-2019 montrent la même tendance que l'année précédente : les coefficients les plus faibles sont sur les parcelles agricoles puis le padza, les urbaines et la forêt. Ce coefficient a cependant augmenté sur la parcelle témoin urbaine (+11% de ruissellement en plus en 2018-2019 ; Fig.19.B et D). Ce phénomène ne peut être expliqué par l'augmentation du nombre de précipitations d'une année hydrologique à l'autre puisqu'une diminution des précipitations a été observée (cf.3.3.1). Les précipitations majeures observées sur la parcelle témoin urbaine (entre

0 et 20 mm) sont de 55 en 2017-2018 contre 22 en 2018-2019 (Fig.18). Cette augmentation peut être due au type d'enregistrement effectué sur les ruissellomètres. Durant l'année 2017-2018, les enregistrements n'ont été effectifs qu'à la fin de la saison des pluies sur les parcelles urbaines. Les coefficients de ruissellement ont donc certainement été sous-estimés durant l'année 2017-2018 par rapport aux résultats de 2018-2019. La parcelle sous forêt reste le lieu où le ruissellement est le plus important. Le coefficient reste cependant constant : en moyenne 16% (Fig. 19.A et 19.C). En ce qui concerne les parcelles agricoles, les coefficients restent aussi constants d'une année à l'autre.

3.3.3°) Taux d'érosion à l'échelle annuelle

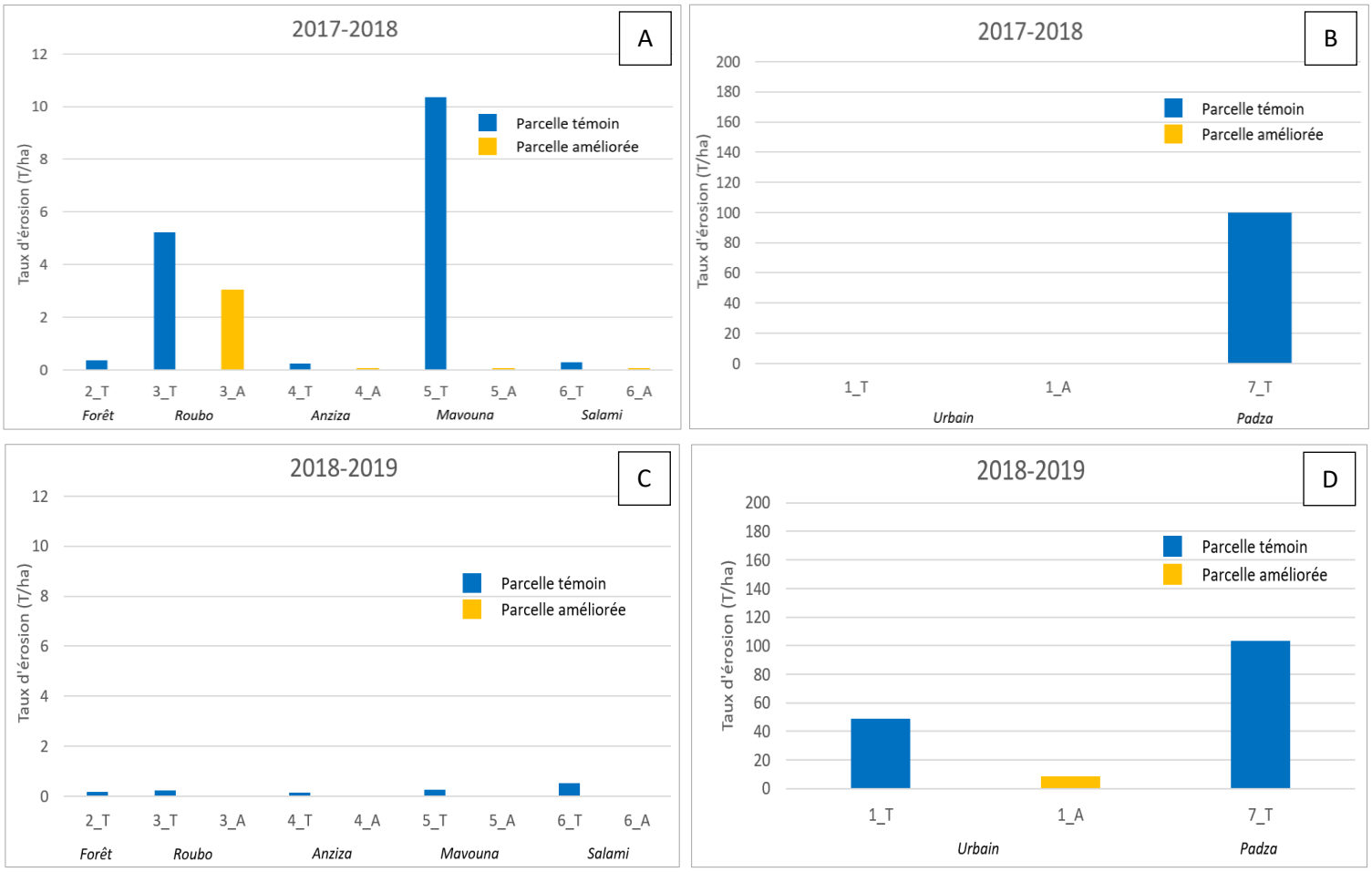


Figure 20 : A) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2017-2018 ; B) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles urbaines et padza durant l'année hydrologique 2017-2018 ; C) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2018-2019 ; D) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles urbaines et padza durant l'année hydrologique 2018-2019

Légende : 1_T : Urbain témoin ; 1_A : Urbain améliorée ; 2_T : Forêt ; 3_T : Roubo témoin ; 3_A : Roubo améliorée ; 4_T : Anziza témoin ; 4_A : Anziza améliorée ; 5_T : Mavouna témoin ; 5_A : Mavouna améliorée ; 6_T : Salami témoin ; 6_A : Salami améliorée ; 7_T : Petit padza.

A) Comparatif des types d'occupation du sol

Les niveaux d'érosion du sol observés durant les deux années hydrologiques ont un gradient d'érosion cohérent. On observe un taux d'érosion annuel croissant :

- **Les parcelles améliorées agricoles :** elles présentent les taux d'érosion les plus faibles et similaires aux jardins mahorais actuels. Ils sont de 0,04 T/ha/an en moyenne en 2017-2018

(hormis pour Roubo à 3 T/ha/an) et 0,02 T/ha/an en moyenne pour 2018-2019 (Fig.20.A et C) ;

- **La forêt :** l'érosion du sol est estimée à 0,3 T/ha/an en 2017-2018 et 0,1 T/ha/an en 2018-2019 (Fig. 20.A et C). Si le ruissellement est important, les niveaux d'érosion sont donc très faibles ;
- **Les parcelles agricoles en monocultures (témoins) :** les quatre parcelles ont un taux d'érosion moyen de 4 T/ha/an en 2017-2018 (Roubo : 5,2 T/ha/an, Mavouna : 10 T/ha/an, Salami et Anziza : 0,25 T/ha/an) et de 0,25 T/ha/an en moyenne pour les 4 parcelles en 2018-2019 ;
- **Les jardins sans protection (urbain) :** ces jardins n'ont connu qu'un taux d'érosion important durant la deuxième année de suivi : 48,9 T/ha/an sur la parcelle témoin (0,2 T/ha/an en 2017-2018 ; Fig.20.B et D) et 8 T/ha/an pour la parcelle améliorée (0,4 T/ha/an en 2017-2018) ;
- **Le padza :** cette parcelle étudiée est celle qui détient le taux d'érosion le plus important mais qui reste constant : 99 T/ha/an en 2017-2018 et 103 T/ha/an en 2018-2019.

En réalisant ces observations, les niveaux d'érosion sont les plus importants sur le padza et les zones urbaines.

B) Analyse de l'impact des aménagements

L'ensemble des techniques agro-conservatoires qui ont été mises en œuvre début 2018 sur les parcelles améliorées agricoles et urbaines réduisent (pour la plupart) une grande partie de l'érosion du sol (aussi bien les bandes végétalisées que la combinaison utilisant le paillage et le couvert végétal).

En 2017-2018, les taux d'érosion étaient importants sur les parcelles agricoles témoins de Mavouna et Roubo. Ces phénomènes sont dus à la mise à nu des parcelles (arrachage des mauvaises herbes au regard des parcelles aménagées), mise à nu que l'on retrouve à Mayotte sur les parcelles transformées en monocultures de manioc ou de bananes.

C) Comparatif des résultats entre les deux années hydrologiques

Les taux d'érosion sont pour la plupart moins élevés durant la deuxième année de suivi. Cette observation peut être dûe à la diminution du nombre de précipitations majeures durant la deuxième année de suivi (Fig.18).

3.3.4°) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie à l'échelle évènementielle

Afin d'étudier la réponse hydrologique des placettes témoins et améliorées à l'échelle de l'évènement, la pluie a été mise en relation avec la lame d'eau ruisselée et l'antécédant pluvieux.

A) Comparaison des parcelles témoins et améliorées

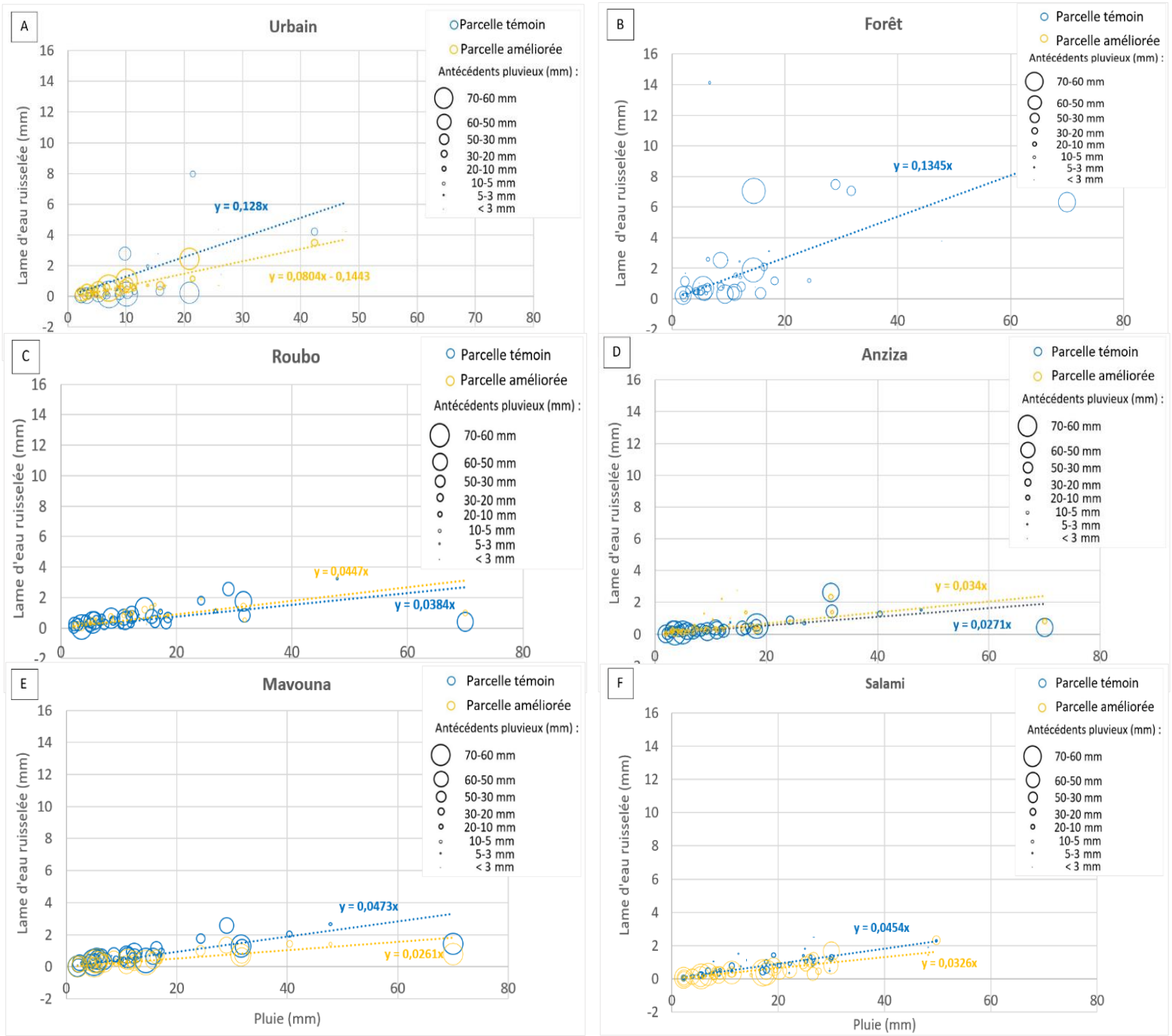


Figure 21 : A) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles urbaines durant l'année hydrologique 2018-2019 ; B) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur la parcelle Forêt durant l'année hydrologique 2018-2019 ; C) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Roubo durant l'année hydrologique 2018-2019 ; D) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Anziza durant l'année hydrologique 2018-2019 ; E) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Mavouna durant l'année hydrologique 2018-2019 ; F) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Salami durant l'année hydrologique 2018-2019

La figure 21 montre la relation pluie-ruissellement sur chaque ruissellomètre à l'échelle évènementielle. L'ensemble des relations prend en compte les antécédents pluvieux de 48h pour voir si le ruissellement de surface peut être causé ou non par l'état de saturation du sol. Plus la taille des bulles est importante et plus le ruissellement instantané est lié à l'état de saturation du sol de la pluie précédente.

Lors d'un évènement type, le ruissellement de l'eau est plus marqué sur les parcelles témoins que sur les parcelles améliorées (hormis sur les parcelles Roubo et Anziza ; Fig. 21.C et D). L'eau ruisselée la plus importante est au niveau de la forêt (en moyenne 2 mm ruisselés pour 12 mm de pluie), les parcelles urbaines (en moyenne 1,5 mm ruisselés contre 13 mm de pluie) et les parcelles agricoles (en moyenne 0,3 à 0,7 mm ruisselés selon le type de parcelles pour 14 mm de pluie).

On constate également que pour certains évènements, la lame d'eau ruisselée est élevée au regard du cumul de pluie, notamment pour les évènements où l'antécédant pluvieux est important (bulles entre 70 et 30 mm ; Fig.21). Ce résultat démontre que le ruissellement n'est pas seulement gouverné par les processus hortoniens, mais aussi par des processus de saturation du sol.

Cependant, pour certains évènements où l'antécédent pluvieux est important, la lame d'eau ruisselée est faible au regard du cumul de pluie. L'antécédant pluvieux n'est pas le seul facteur explicatif. La variabilité saisonnière du taux de recouvrement du sol peut expliquer ce comportement.

B) Comparaison générale entre les parcelles

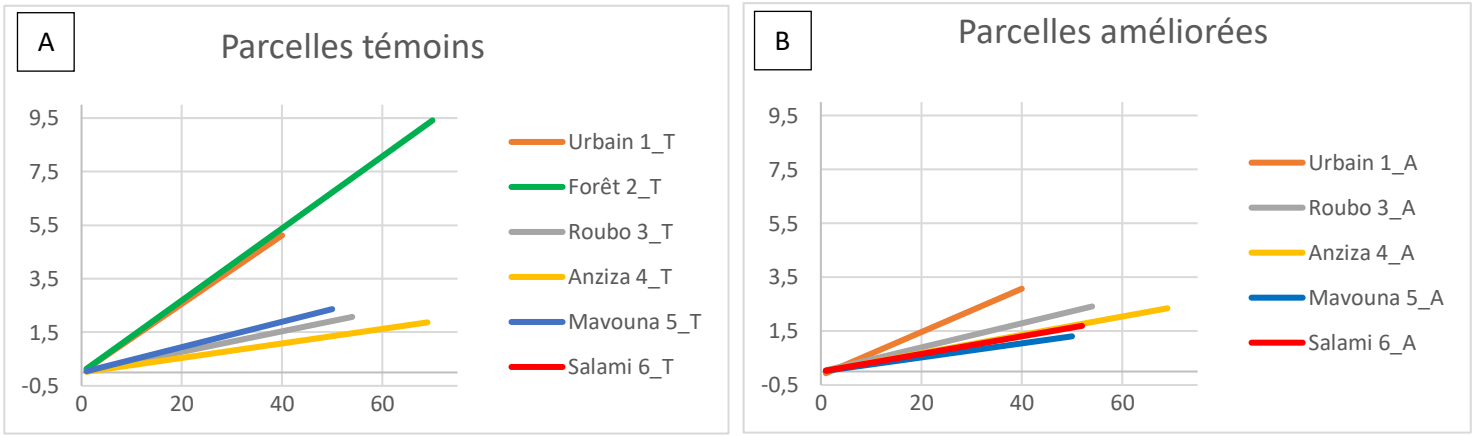


Figure 22 : A) Lame d'eau ruisselée en fonction de l'eau de pluie sur l'ensemble des parcelles témoins du projet LESELAM B) Lame d'eau ruisselée en fonction de l'eau de pluie sur l'ensemble des parcelles améliorées du projet LESELAM

Légende : 1_T : Urbain témoin ; 1_A : Urbain améliorée ; 2_T : Forêt ; 3_T : Roubo témoin ; 3_A : Roubo améliorée ; 4_T : Anziza témoin ; 4_A : Anziza améliorée ; 5_T : Mavouna témoin ; 5_A : Mavouna améliorée ; 6_T : Salami témoin ; 6_A : Salami améliorée

Pour comparer le ruissellement des eaux à l'échelle évènementielle, l'ensemble des droites de tendance ont été extraites sur les ruissellomètres améliorés et témoins de la figure 21.

Sur les parcelles témoins du projet, les lames d'eau ruisselée les plus importantes sont sur le ruissellomètre forêt et urbain (Fig. 22.A). Les quatre ruissellomètres agricoles présentent les lames d'eau ruisselée les moins importantes (-40% d'eau ruisselée en moins par rapport aux ruissellomètres urbain et forêt ; Fig.22.A).

Sur les parcelles améliorées, le schéma observé sous les parcelles témoins se réitère. La parcelle urbaine est celle où l'eau ruisselée est la plus importante (Fig.22.B). Les parcelles agricoles améliorées sont quant à elles les zones où le ruissellement de l'eau est le moins important lors d'un évènement pluvieux (Fig.22.B).

En partant de ces résultats, on peut hiérarchiser par parcelle les paramètres forçant la réponse hydrologique :

- **Parcelle urbaine :** la forte pente (34%) entraine des ruissellements importants. Le couvert végétal est donc un paramètre de second ordre qui limite le ruissellement ;
- **Parcelle sur forêt :** le sol semble être le premier paramètre jouant sur la réponse hydrologique. La présence d'un horizon argileux compact sous l'horizon humifère pourrait favoriser le ruissellement par saturation du sol ;
- **Parcelles agricoles :** l'occupation des sols ainsi que les pratiques culturales utilisées sont le paramètre de premier ordre.

3.4°) Impact de la végétation sur la réponse hydro-sédimentaire

De la précédente analyse, trois paramètres majeurs semblent gouverner sur la réponse hydrologique et sédimentaire des placettes : la pente, le sol et la couverture du sol par la végétation. Dans cette partie, seul l'impact de la couverture du sol par la végétation est étudié.

Pour traduire la couverture du sol, un taux de recouvrement a été défini pour chaque type d'occupation des sols et pour chaque mois de l'année (Tab.3).

Tableau 3 : A) Taux de recouvrement du sol sur les parcelles du projet durant la saison hydrologique 2018-2019 B) Taux recouvrement du sol durant l'année hydrologique selon le type de parcelle ; d'après Valentin Landemaine et Jean-François Desprats

A

Type de parcelle	Placette	janv.-18	févr.-18	mars-18	avr.-18	mai-18	juin-18	juil.-18	août-18	sept.-18	oct.-18	nov.-18	déc.-18	janv.-19	févr.-19	mars-19	avr.-19
Banane monoculture	RUIS_3_T	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Foret	RUIS_2_A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Foret	RUIS_2_T	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Jardin Mahorais	RUIS_1_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Jardin Mahorais	RUIS_3_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Jardin Mahorais	RUIS_4_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Jardin Mahorais	RUIS_5_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Jardin Mahorais	RUIS_6_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Jardin Urbain	RUIS_1_T	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Manioc monoculture	RUIS_4_T	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Manioc monoculture	RUIS_5_T	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Manioc monoculture	RUIS_6_T	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Padza	RUIS_7_A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Padza	RUIS_7_T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Padza											
Sol nu											
Jardin urbain											
Manioc monoculture											
Banane monoculture											
Légume											
Arbustif											
Jardin Mahorais											
Foret											
Prairie											
Ylang											

L'estimation du taux de recouvrement du sol est réalisée avec les données de suivi annuel de terrain (CAPAM). Lors des passages sur les placettes, des photographies étaient effectuées afin de réaliser des estimations du taux de recouvrement durant la saison hydrologique 2018-2019. Les estimations ont donné lieu à la création d'un tableau du taux d'occupation du sol général sur les ruissellomètres du projet (Tab.3.A). Cette estimation est réalisée à l'aide d'un tableau déterminant les taux de recouvrement du sol par type d'occupation du sol (Jardin mahorais, monoculture de bananes ou manioc ou encore champs d'Ylang, etc. ; Tab.3.B). Les estimations du taux de recouvrement selon l'occupation du sol sont réalisées de manière hiérarchisée.

De manière générale, les taux d'occupation du sol sont plus faibles à la fin de la saison sèche en octobre et novembre (Tab.3.A). Le taux d'occupation du sol peut être amené à varier selon le type de parcelle (le taux est nul sur un sol nu comme un padza et augmente progressivement en fonction du recouvrement de la parcelle ; Tab.3.A).

Durant le stage, un taux de recouvrement du sol a été réalisé avec les relevés de surface qui ont été effectués en début et fin de chaque saison des pluies (Annexe 1). Ce travail a permis de renforcer et d'avoir une comparaison avec le travail effectué par la CAPAM.

Ainsi, pour chaque placette et pour chaque évènement, un taux de recouvrement du sol a été affecté et la concentration en MES moyenne extraite. Les deux variables ont ensuite été mises en relation (Fig.23).

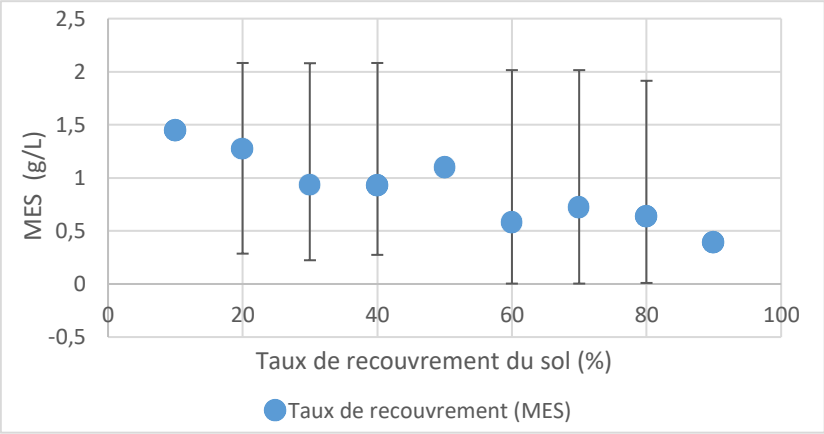


Figure 23 : Taux de recouvrement végétal des ruissellomètres de l'observatoire du Nord

On peut constater que la concentration en MES décroit en fonction de l'augmentation du taux de recouvrement (Fig.23). Lorsqu'un taux de recouvrement est à 90% sur un ruissellomètre, la concentration en MES est plus faible (inférieure à 0,5 g/L). A contrario, lorsque le taux de recouvrement est faible, le flux sédimentaire est plus élevé (à 10% de taux de recouvrement, la concentration en MES est estimée à 1 ,45 g/L).

Le taux de recouvrement du sol semble être un paramètre pertinent pour caractériser le type d'occupation du sol ainsi que les pratiques culturales. Ces résultats vont pouvoir alimenter l'étape de modélisation qui sera menée en 2020.

La présence d'un couvert végétal sur les parcelles améliorées permet ainsi de réduire l'érosion des sols durant la saison des pluies. En 2012, une étude a été menée sur l'érosion ainsi que sur le ruissellement et notamment en présence d'un couvert végétal en polyculture (maïs et haricot) à Madagascar (Douzet *et al.,* 2012). Les résultats de l'étude menée montrent également que le taux de recouvrement du sol permet de réduire l'érosion des sols sur la parcelle en polyculture : 0,4 T/ha/an

sont érodés sur la parcelle recouverte à 75 % par rapport à une parcelle agricole conventionnelle recouverte à 25 % et délivrant 24 T/ha/an de sédiments.

IV°) Discussion et perspectives

L'érosion des sols mahorais est un phénomène qui suscite des questionnements vis-à-vis des problèmes environnementaux et sociétaux (Raunet, 1992 ; Desprats *et al.,* 2016). A ce jour, le projet LESELAM est la première étude approfondie sur les processus d'érosion et de ruissellement, s'appuyant sur la mise en place d'un observatoire avec un suivi pluriannuel à Mayotte. Cette étude multidisciplinaire a pour objectif global de modéliser ces phénomènes à l'échelle du territoire. Au sein de cette étude, l'objectif du stage était de comprendre les paramètres forçant sur la réponse hydrologique et sédimentaire des placettes expérimentales.

En premier lieu, l'étude hydro-sédimentaire menée à l'échelle annuelle s'intéresse au ruissellement (coefficient de ruissellement) et aux quantités de matières ayant pu être érodées (taux d'érosion) durant les années hydrologiques 2017-2018 et 2018-2019 (Fig.19 et 20). Ces paramètres étudiés sont importants pour comprendre la dynamique de l'érosion hydrique sur les 13 parcelles du projet. L'ensemble des données permet des premières estimations d'érosion sur les bassins versants avant la modélisation.

D'une manière générale, les résultats montrent que les coefficients de ruissellements sont les plus importants sur les parcelles témoins par rapport aux parcelles améliorées (Fig.19). Les résultats sont moins probants concernant le ruissellement, plus important sur les parcelles aménagées de paillage que sur les parcelles témoins associées (sur Anziza, Roubo et en forêt ; Fig.19.A et C). Ces résultats n'ont pas été retrouvés lors d'études similaires menées par E.Roose (1983) et C.Neyrinck (2011 ; cf. 3.3.2). Pour mieux comprendre le phénomène de ruissellement sur ces parcelles, il serait intéressant de mener une campagne d'observation du phénomène lors de précipitations susceptibles de provoquer des ruissellements. Cette campagne permettrait de comprendre si le phénomène supposé se produit réellement ou bien si le phénomène est lié à un dysfonctionnement du matériel installé.

Les taux d'érosion des sols à l'échelle annuelle ont permis de prendre conscience que les matières érodées les plus importantes étaient principalement sur des sols nus (padza, jardin urbain témoin) avec des fortes pentes (>20% ; Fig. 20). L'érosion des sols est liée dans ce cas directement au ruissellement de surface et notamment à l'état de recouvrement du sol qui influe sur l'arrachement des particules. Pour poursuivre, les jardins mahorais aménagés (paillage ou andin d'ananas) et la forêt sont les moins érodés. Malgré des phénomènes de ruissellement surprenant sur les zones paillées (ruissellement supérieur sur les parcelles avec paillage que sur les témoins associés), aucune influence sur l'érosion des sols n'est relevée. Au-delà de ces résultats satisfaisants, il est important de prendre en compte que chaque propriétaire d'îlot n'aménage pas obligatoirement ses terres de paillage ou d'andins d'ananas. Si les phénomènes de ruissellements sont révélés importants sur le paillage, les parcelles non aménagées plus en aval des versants risqueraient ainsi de recevoir des quantités d'eau ruisselées plus élevées qui pourraient avoir un impact sur l'érosion. L'autre grand volet du projet est donc consacré à la sensibilisation des agriculteurs et villageois (actions pilotées par la CAPAM et les Naturalistes de Mayotte) à travers des ateliers de sensibilisation visant à aider les agriculteurs et autres propriétaires de terres à adopter des pratiques agro-conservatoires sur leur jardin mahorais et non pas

à faire évoluer ceux-ci vers des monocultures de manioc ou de bananes qui amplifient le ruissellement et l'érosion.

En second lieu, l'étude hydro-sédimentaire à l'échelle évènementielle a démontré que les lames d'eau ruisselées étaient plus importantes sur les parcelles témoins par rapport aux parcelles améliorées hormis pour les parcelles aménagées de paillage (Anziza et Roubo ; Fig.21). Les résultats sont similaires entre les analyses de ruissellement de surface annuelle et évènementielle. Les ruissellements à l'échelle évènementielle sont fortement liés à l'état de saturation du sol. Les analyses de ruissellement ont été réalisées avec un antécédent pluvieux de 48h. Pour pousser les recherches, il aurait été intéressant de mener les mêmes analyses avec des antécédents pluvieux différents (antécédents de 24h, 72h, 1 semaine). Ces résultats auraient permis de comparer si les réponses hydro-sédimentaires étaient similaires à des temps différents. Le temps imparti pour réaliser ces analyses n'a pas été assez conséquent. Par la suite, une étude de l'érodibilité des sols sur les parcelles du projet et à l'échelle de l'île aurait été utile pour observer la variabilité spatiale des sols et de leurs propriétés.

En ce qui concerne le taux de recouvrement du sol, paramètre qui sera directement intégré à la modélisation, celui-ci a permis de prouver que le taux de recouvrement du sol était un paramètre déterminant sur l'érosion et le ruissellement des sols et notamment sur les jardins mahorais aménagés. En effet, la présence d'un couvert végétal diminuerait le facteur érosion : plus le taux de recouvrement du sol est élevé et moins le flux sédimentaire est important (Fig.23). Le taux de recouvrement a été un des paramètres suivis sur le terrain de deux manières différentes : lors des suivis des états de surface (1 à 2 fois par saison des pluies) et lors des passages fait par les agents de la CAPAM lors des suivis des plantes de couvertures (courges, pastèques). Les suivis des états de surface n'étant pas assez réguliers, les observations faites par les agents de la CAPAM ont été sélectionnées pour réaliser le taux de recouvrement du sol sur les différentes parcelles du projet (cf.2.3.3). Pour avoir des résultats plus poussés, il aurait été intéressant de réaliser un suivi du taux de recouvrement du sol régulier pour constater de l'évolution du couvert végétal au sol (toutes les semaines lors de la saison des pluies et toutes les 3 semaines en saison sèche). Pour ce faire, il aurait été intéressant de faire le suivi du taux de recouvrement par photographie sur les différentes années du projet (à l'aide d'un cadre de 1m²). Ces suivis auraient facilité l'estimation des taux de recouvrement du sol sur les différentes années hydrologiques.

Conclusion

Le suivi de la dynamique hydro-sédimentaire dans le cadre du projet LESELAM, à l'échelle de plusieurs bassins versants, est une étude scientifique innovante sur l'île de Mayotte, avec la mise en place d'un observatoire sur trois bassins versants pour un suivi multi échelle sur plusieurs années. L'érosion hydrique est un phénomène dont les processus causent des problèmes environnementaux, sociétaux et économiques majeurs sur le territoire.

L'objectif de ce stage était de réaliser une étude du ruissellement et de l'érosion des sols en contexte tropical en (1) effectuant une analyse de la réponse hydrologique et sédimentaire de placettes couvrant la diversité des classes d'occupation des sols et des pratiques culturales rencontrées sur l'île et en (2) identifiant les facteurs responsables de ces phénomènes.

L'analyse des processus hydro-sédimentaires annuels a en premier temps permis de révéler que le ruissellement était important sur les sols nus (monoculture manioc/bananes avec sarclage du sol) mais aussi sur les parcelles agricoles aménagées avec un paillage. Cette dernière observation se doit d'être approfondie. La suite de l'analyse a déterminé des taux d'érosion des sols plus importants sur des sols nus (parelles agricoles témoins, padza et jardin témoin en zone urbaine). Ce résultat a permis de déterminer les zones les plus sujettes aux phénomènes d'érosion et de ruissellement pour prioriser la sensibilisation et les actions agro-conservatoires.

En ce qui concerne l'analyse des processus hydro-sédimentaires évènementiels, ceux-ci indiquent les mêmes résultats par rapport à l'échelle annuelle : les ruissellements de surface sont plus importants lorsque les sols sont nus (parcelles témoins) ou aménagés de paillage. Les analyses ont aussi révélé que les ruissellements étaient fortement liés à l'état de saturation du sol.

Enfin, l'analyse des paramètres de l'occupation du sol a été étudiée avant sa future intégration dans le modèle Watersed. Cette partie s'était intéressée à une définition théorique adaptée du jardin mahorais sur les bassins versants du Nord du projet. Cette enquête a permis de faciliter la compréhension du fonctionnement type des cultures en jardin mahorais. Cette notion a facilité la détermination des paramètres utiles au modèle Watersed et notamment le taux de recouvrement du sol qui n'était alors exploité. Cette approche a déterminé que le recouvrement végétal du sol en surface limitait l'érosion hydrique.

Le suivi de l'observatoire LESELAM est actuellement prévu jusqu'à 2020.

Références bibliographiques

Barbe, A., Boyer, P., Coulomb, R., Moreau De Saint-Martin, J., Nougaro, J., 1967. Loi hauteur-débit d'un déversoir en mince paroi fonction de la charge totale et valable dans une large plage d'utilisation. La houille blanche, 3 : 249-256.

Bensoussan, O., 2009.La mer, menace ou espoir de développement pour Mayotte ?.Cahiers d'Outre-Mer, 248 : 489-512.

Bordereau, N., 2018. Etude des processus de dépôts et de remobilisation des sédiments fins sur un tronçon de rivière alpine, Mémoire Master 2 Hydrosystèmes et Bassins Versants, Université de Tours, Irstea Grenoble.

Bozza, J., Chamssidine, H., 2006. Lutte anti-érosive en zones de culture à Mayotte. Comprendre l'érosion à Mayotte, 2 : 1-5.

Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Souchere, V., Antoni, V., Surdyk, N., Dubus, I., Arrouyas, D., Desprats, J.F., 2006. Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport, BRGM/RP-55104-FR, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 87 p.

Debeuf, D., 2011. Etude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte, Archipel des Comores, océan Indien : approches structurale, pétrographique, géochimique et géochronologique, Thèse, Université de la Réunion.

Deffontaines, S., 2013. Agroécologie et Agroforesterie à Mayotte : diagnostic et lignes directrices pour l'Action. Rapport, Agrisud International, 22 p.

De La Torre, Y., Aubie, S., 2003. Etude de la morphodynamiqye des littoraux de Mayotte. Phase 1 : synthèse, typologie et tendances d'évolution. Rapport BRGM/RP-53320-FR, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 43p.

Desprats, J.F, Lopez, J.M, Dejean, K., Saïd, K., Lidon, B., Bernard, H., Lousteau, J.D, Rinaudo, B., Colas, B., Landemaine, V., 2016. Projet LESELAM (Lutte contre l'Erosion des Sols et l'Envasement du Lagon à Mayotte). Rapport, BRGM/RP – 33621-FR, Bureau de Recherches Géologiques et Minière, 79p.

Desprats, J. F, Colas, B., Lopez, J.M, Dejean, C., Dectot, G., Eddam, F., Garnier, V., Landemaine, V., Lidon, B., Lousteau, H., Rinaudo, J.D., Saïd, K., 2017.Projet LESELAM (Lutte contre l'Erosion des Sols et l'Envasement du Lagon à Mayotte. Rapport, BRGM/RP – 37392-FR, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 90p.

Didelot, D., Dhinou, Y., 2016. Le jardin mahorais : modèle agroécologique, mais quel avenir ?. Agreste, 68 : 1-4.

Didelot, D., Dhinou, Y., 2018. L'agroforesterie à Mayotte. Agreste, 87 : 1-4.

Emerick, C.M., Ducan, R., 1982. Age progressive volcanism in the Comore Archipelago, western Indian Ocean and implcations for Somali plate tectonics. Earth and Planetary Sciences Letters, 60 : 415-428.

Food and Agriculture Organization on the United Nations, 2011. The state of the world's land and water ressources for food and agriculture – Managing systems at risk. Earthscan, Abingdon.

Food and Agriculture Organization on the United Nations et Groupe Technique Intergouvernemental sur les Sols, 2015. Etat des ressources en sols du monde. Rapport, Groupe Technique Intergouvernemental sur les Sols, 92 p.

Hajash, A., Amstrong, R.L., 1972. Palemagnetic and radiometrix evidence for the age of the Comores islands, west central Indian Ocean. Earth and Planetary Sciences Letters, 16 : 231-236.

Landemaine, V., 2016. Erosion des sols et transferts sédimentaires sur les bassins versants de l'Ouest Bassin de Paris : analyse, quantification et modélisation à l'échelle pluriannuelle, Thèse, Université de Rouen Normandie.

Lazerges, R., 2010. Rapport d'évaluation des aides agricoles à Mayotte. Rapport, Conseil général de l'agriculture de l'alimentation et des espaces ruraux, 45 p.

Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J., 2002. L'érosion hydrique des sols en France. Rapport, Institut Français de l'Environnement, 106 p.

Le Bissonnais, Y., Bubreuil, N., Daroussin, J., Gorce, M., 2004. Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale – Exemple du département de l'Aisne. Etude et Gestion des Sols, 11 : 307-321.

Leguedois, S., 2010. Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés, Thèse, Université d'Orléans.

Malod, J.A, Mougenot, D., Raillard, S., Maillard, A., 1991. Nouvelles contraintes sur la cinématique de Madagascard : les structures de la chaîne de Davie. Rapport, Académie de Sciences de Paris, 7 p.

Maugnard, A., Bielders, C.L., Bock, L., Colinet, G., Cordonnier, H., Degre, A., Demarcin, P., Dewez, A., Feltz, N., Legrain, X., Pineux, N., Mokadem, A.I., 2013. Cartographie du risque d'érosion hydrique à l'échelle parcellaire en soutien à la politique agricole wallone (Belgique). Etude et Gestion des Sols, 20 : 127-141.

Montier, C., Daroussin, J., King, D., 1998. Cartographie de l'aléa « Erosion des sols » en France. Institut Français de l'Environnement, Orléans.

Nehlig, P., Lacquement, F., Bernard, J., Caroff, M., Deparis, J., Jaouen, T., Pelleter, A-A., Perrin, J., Prognon, C., Vittecoq, B., 2013. Notice explicative, carte géologique de Mayotte (1/ 30000), Carte géologique de Mayotte, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Mayotte.

Neyrinck, C., 2011. L'impact du paillage et du non-labour sur le ruissellement et l'érosion dans les systèmes bananes-haricots dans la région du Sud-Kivu, Mémoire Université catholique de Louvain, The Consortium for Improving Agriculture-based Livelihoods in Central Africa.

Nougier, J., Cantagrel, J.M., Krache, J.P., 1986. The Comore archipelago in the western Indian Ocean : volcanology, geochronology and geodynamic setting. Journal of African Earth Sciences, 5 : 135-145.

Pelleter, A-A., 2013. L'île de Mayotte, archipel des Comores (France) : caractérisation pétrogéochimique des laves et pétrogenèse des mélilitites à olivine, Mémoire Master SML mention géosciences Brest spécialité pétro-géochimie, Université de Bretagne Occidentale, UMR 6538.

Rabinowitz, P.D., Coffin, M.F., Falvey, D., 1983. The separation of Madagascar and Africa. Science, 220 : 67-69.

Raunet, M., 1992. Ile de Mayotte- Les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon. Rapport, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, 91 p.

Rivière, M., 2017. Développement de l'agroforesterie ultra-marine : état des lieux de l'agroforesteries et réflexions sur l'application du Plan de Développement de l'Agroforesterie dans les Départements d'Outre-Mer, Thèse professionnelle, École des Ponts, AgroParisTech.

Rodier, J., 1993. Paramètres caractéristiques des fortes crues dans les régions tropicales sèches. Hydraulique continent, 8 : 139-160.

Roose, E., 1983. Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique occidentale. Pédologie, 4 : 327-339.

Roose, E., 1999. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Rapport pédologique de la FAO, M-57 – ISBN 92-5-203451-X, Institut de Recherche pour le Développement de Montpellier, 442 p.

Simanton, J.R., Osborn, H.B., Renard, K.G., 1980. Application of USLE Southwestern Rangelands. Hydrology and Water Ressources in Arizona and the Southwest, 213-220.

Thietry, C., 2018. Quantification des flux sédimentaires sur les bassins versants de Mayotte. Mémoire de Master 1 Hydrosystèmes et Bassins Versants, Université de Tours, BRGM Mayotte.

Liste des Figures

Figure 1: A) Localisation de Mayotte dans le monde ; B) Localisation de Mayotte dans le Canal du Mozambique ; C) Identification de Grande et Petite Terre à Mayotte ; d'après Benoussan, 2009 4
Figure 2: A) Formations géologiques présentes sur l'île de Mayotte ; B) Formation géologique sur le site d'étude LESELAM au Nord de Mayotte.....5
Figure 3: A) Topographie (m) de l'île de Mayotte ; B) Pentes sur l'île de Mayotte (zonage en rouge : localisation des bassins versant Nord du projet LESELAM) ; d'après BRGM Mayotte 6
Figure 4: répartition de l'occupation du sol à Mayotte en 2010 (zonage en jaune : bassins versants Nord du projet LESELAM) ; d'après GéoMayotte 6
Figure 5: Mesures mises en œuvres pour le projet d'étude LESELAM (surlignage en rouge: manipulations réalisées afin de répondre à la problématique du stage) (modifié d'après N.Bordereau, 2018) .....**Erreur ! Signet non défini.**
Figure 6: Localisation des équipements et ruissellomètres réalisant le suivis hydrosédimentaire dans le Nord de Mayotte.....7
Figure 7: A) Station hydro-sédimentaire de Mtsamboro aval (présence du seuil de jaugeage) ; B) Crépine d'aspiration, sonde de turbidité et de pression ; C) Préleveur de MES et centrale d'acquisition des données 8
Figure 8: A) Schéma expérimental d'une parcelle du projet LESELAM ; B) Citerne de la parcelle sous Forêt (d'après Desprats et al., 2016) 9
Figure 9: A) Pesée d'un filtre à sec avant filtration ; B) Mise en place d'un filtre sur l'unité de filtration ; C) Passage des échantillons dans les unités de filtration ; D) Dépôts des filtres chargés dans leur réceptacle avant la mise à l'étuve 11
Figure 10: Droite d'étalonnage lors des essais de la sonde installée sur la parcelle Salami Témoin (saison des pluies 2018) 12
Figure 11: Estimation annuelle du volume d'eau, de pluie et de concentration en MES sur la parcelle urbaine améliorée (utilisation de l'outil Excel). 13
Figure 12: A) Site de la parcelle de Roubouanti après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Roubouanti sur le terrain (Figure 12.A : d'après Kadafi SAÏD, CAPAM).....16
Figure 13: A) Site de la parcelle d'Anziza après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Anziza sur le terrain (Figure 13.A : d'après Kadafi SAÏD, CAPAM ; Fig.13.B : d'après Jean-François Desprats) 16
Figure 14: A) Site de la parcelle de Mavouna après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Mavouna sur le terrain (Figure 14.A : d'après Kadafi SAÏD, CAPAM) 17
Figure 15: A) Site de la parcelle de Slami après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Salami sur le terrain (Figure 15.A : d'après Kadafi SAÏD, CAPAM ; Fig.15.B d'après Jean-François Desprats) 17
Figure 16: A) Site de la parcelle de Slami après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre Salami sur le terrain (Figure 16.A : d'après Kadafi SAÏD, CAPAM ; Fig.16.B d'après Jean-François Desprats) 18
Figure 17: A) Site des « padzas » après la mise en place de l'aménagement du projet LESELAM ; B) Photographie du ruissellomètre des « padzas » sur le terrain 18
Figure 18: Cumul annuel des évènements majeurs pluvieux durant les années hydrologiques 2017-2018 et 2018-2019 21

Figure 19: A) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles de suivis agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2017-2018 ; B) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles de suivis urbaines et padza durant l'année hydrologique 2017-2018 ; C) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles de suivis agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2018-2019 ; D) Evolution des coefficients de ruissellement sur les parcelles de suivis urbaines et padza durant l'année hydrologique 2018-2019.....22
Figure 20: A) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles de suivis agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2017-2018 ; B) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles de suivis urbaines et padza durant l'année hydrologique 2017-2018 ; C) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles de suivis agricoles et forêt durant l'année hydrologique 2018-2019 ; D) Evolution des taux d'érosion sur les parcelles de suivis urbaines et padza durant l'année hydrologique 2018-2019.....24
Figure 21: A) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Urbaines durant l'année hydrologique 2018-2019 ; B) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur la parcelle Forêt durant l'année hydrologique 2018-2019 ; C) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Roubo durant l'année hydrologique 2018-2019 ; D) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Anziza durant l'année hydrologique 2018-2019 ; E) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Mavouna durant l'année hydrologique 2018-2019 ; F) Lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie sur les parcelles Mavouna durant l'année hydrologique 2018-2019.....26
Figure 22: A) Lame d'eau ruisselée en fonction de l'eau de pluie sur l'ensemble des parcelles témoins du projet LESELAM B) Lame d'eau ruisselée en fonction de l'eau de pluie sur l'ensemble des parcelles améliorées du projet LESELAM 27
Figure 23: Taux de recouvrement végétal des ruissellomètres de l'observatoire du Nord 29

Liste des tableaux

Tableau 1: Filtration des pluies sur la parcelle urbaine améliorée à l'aide de l'outil Excel 12
Tableau 2: Calendrier cultural des parcelles Roubo et Anziza durant l'année hydrologique 2018-2019 15
Tableau 3 : A) Taux de recouvrement du sol sur les parcelles du projet durant la saison hydrologique 2018-2019 B) Taux recouvrement du sol durant l'année hydrologique selon le type de parcelle ; d'après Valentin Landemaine et Jean-François Desprats.....28

Annexe

Annexe 1 : proposition des taux de recouvrement à partir des états de surface réalisés durant le projet LESELAM sur les placettes de l'observatoire (2016-2017, 2017-2018 et 2018-2019)

		Taux de recouvrement du sol											
		2016			2017								
		Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept
SALAMI	Ruis. Amelioré	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	43%	43%	43%	43%	43%
	Ruis.témoin	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	41%	41%	41%	41%	41%
MAVOUNA	Ruis. Amelioré	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81%	65%	65%	65%	65%	65%
	Ruis.témoin	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	69%	69%	69%	69%	69%
ANZIZA	Ruis. Amelioré	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	59%	59%	59%	59%	59%
	Ruis.témoin	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	53%	53%	53%	53%	53%
ROUBO	Ruis. Amelioré	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	40%	40%	40%	40%	40%
	Ruis.témoin	48%	48%	48%	48%	48%	48%	48%	55%	55%	55%	55%	55%
URBAIN	Ruis. Amelioré	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	23%	23%	23%	23%	33%
	Ruis.témoin												
FORET	Ruis. Amelioré	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	100%	100%	100%	100%	100%
PADZAS	Ruis. Amelioré	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
	Ruis.témoin	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

		Taux de recouvrement du sol											
		2017			2018								
		Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept
SALAMI	Ruis. Amelioré	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	70%	75%	0%	20%	30%
	Ruis.témoin	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	70%	75%	0%	20%	30%
MAVOUNA	Ruis. Amelioré	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	70%	80%	0%	10%	30%
	Ruis.témoin	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	60%	70%	0%	20%	30%
ANZIZA	Ruis. Amelioré	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	60%	70%	40%	40%	40%
	Ruis.témoin	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	60%	70%	0%	10%	20%
ROUBO	Ruis. Amelioré	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	70%	70%	60%	60%	60%
	Ruis.témoin	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	40%	50%	0%	20%	50%
URBAIN	Ruis. Amelioré	33%	33%	43%	43%	43%	43%	43%	33%	33%	23%	23%	23%
	Ruis.témoin												
FORET	Ruis. Amelioré	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	97%	97%	97%	97%
PADZAS	Ruis. Amelioré	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	9%	9%	9%	9%
	Ruis.témoin	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

		Taux de recouvrement du sol											
		2018			2019								
		Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept
SALAMI	Ruis. Amelioré	0%	10%	20%	30%	0%	20%	40%					
	Ruis.témoin	0%	10%	10%	20%	40%	0%	20%					
MAVOUNA	Ruis. Amelioré	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%					
	Ruis.témoin	0%	10%	10%	10%	0%	10%	20%					
ANZIZA	Ruis. Amelioré	50%	20%	50%	30%	30%	40%	40%					
	Ruis.témoin	0%	0%	10%	15%	20%	25%	30%	Pas d'état de surface réalisé				
ROUBO	Ruis. Amelioré	50%	40%	40%	40%	30%	30%	30%					
	Ruis.témoin	0%	10%	10%	20%	0%	0%	20%					
URBAIN	Ruis. Amelioré	33%	33%	43%	43%	43%	43%	43%					
	Ruis.témoin												
FORET	Ruis. Amelioré	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%					
PADZAS	Ruis. Amelioré	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%					
	Ruis.témoin	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%					

Légende :

données non renseignées lors de l'état de surface

Résumé

L'érosion hydrique des sols est un phénomène naturel qui est à l'origine de la dégradation des sols. A Mayotte, l'érosion des sols devient un enjeu environnemental, sociétal et économique important. L'explosion démographique de l'île a poussé ses habitants à produire sur des terres à forte pente et inadaptées aux conditions pour pouvoir subvenir aux besoins vivriers de la population.

Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet « LESELAM » (Lutte contre l'Erosion des Sols et l'Envasement du Lagon à Mayotte). Durant 6 mois, le stage avait pour objectif de (1) récupérer et traiter les données de terrain en réalisant des analyses de données sur les paramètres hydro-sédimentaires à l'échelle annuelle et évènementielle sur différentes parcelles de la zone d'étude du projet, (2) mener une enquête de terrain pour mieux appréhender les phénomènes d'érosion en définissant la pratique culturale la plus utilisée sur l'île : le jardin mahorais, (3) déterminer et analyser les paramètres pouvant être intégrés dans un modèle (Watersed) en mesure de réaliser différents scénarios possibles sur l'érosion des sols de l'échelle parcellaire jusqu'à l'échelle du département.

Les traitements de données sur les deux dernières années hydrologiques apporteront un complément à l'étude pour permettre d'avoir une compréhension plus précise sur les dynamiques hydro-sédimentaires. La détermination des paramètres nécessaires à la future modélisation du projet conclura la partie de traitement de données à l'échelle parcellaire du projet.

Mots clés : érosion hydrique, ruissellement, analyse de données, jardin mahorais, ruissellomètres, Mayotte

Abstract

Water erosion is a natural phenomenon caused by soil degradation. In Mayotte, water erosion becomes a significant environmental, societal and economic issue. With the demograhic explosion on the island, inhabitants farm with steep slope and inappropriate lands to meet their needs.

This intership is part of « LESELAM » project (Figth against Sols Erosion and Lagoon Siltation in Mayotte). During 6 months, the objectives of this intership were to, (1) collect and analyse field data to make data analysis about hydro-sedimentary parameters at annual or rainwater scale in severals plots in the study aera, (2) to lead fieldwork for understand erosion phenomenon and difine the most agricultural practice in the island : mahorais garden, (3) to determin and analyse parameters who can be integrate in a computer model to realize severals scenarios about water erosion from parcel scale to regional scale.

The data processing during the two last years will can complete by study for allow to improve knowledges about hydro-sedimentary dynamic. Parameters determined will be used in the futur for computer modeling. This action will be conclued the project.

Key-words : Water erosion, water runoff, data analysis, mahorais garden, ruissellomètres, Mayotte.