



U.F.R de Géographie



**Pôle de recherche Agro-environnementale
de Martinique**



Unité AEMA

MEMOIRE

Présenté par : Daniel RENE CORAIL

Licence GREMR (Gestion des ressources environnementales en milieu rural)

Thème :

« Test de l'efficacité de techniques de génie végétal (micro barrages filtrants) dans le cadre de la lutte contre l'érosion ravinatoire dans une bananeraie au Robert en Martinique »

Enseignant - responsable de la Licence : Guy LEMPERIERE

Maître du stage : Kevin PINTE

**U.F.R de Géographie
Université de CAEN
Esplanade de la paix
14000 CAEN, Cedex
Tél : 02.31.56.59.39 Fax : 02.31.56.58.08**

Remerciements

Je remercie tout d'abord Madame Anne RIZAND qui m'a accueilli au sein de l'unité AEMA (Agriculture et espace insulaire de la Martinique) du CEMAGREF de Martinique pour ces cinq mois de stage. Grace à la confiance et à l'intérêt qu'elle a porté à mon stage, elle a largement contribué à mon intégration au sein de l'équipe.

J'adresse maintenant mes remerciements appuyés à mon Maître de stage, PINTE Kevin au contact de qui j'ai acquis des connaissances sur les phénomènes d'érosion et une approche méthodique. Par ailleurs, son écoute et sa patience ont permis des échanges fructueux et bénéfiques. Ses précieux conseils et les données des travaux initiaux (diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la baie du Robert) sont des éléments clefs de situation, repère et d'analyse, utiles à la rédaction du présent rapport.

Mes remerciements vont ensuite à mes collègues de terrain (Anne CATLOW, Anne-Claire NIVET, Albert ARIMONE) qui se sont investis à mes côtés pour la réalisation du profil en long de la ravine et /ou la réalisation des micro-barrages filtrants. Un grand merci aussi à tous les autres membres de l'équipe (Julie GRESSER, Sabrina EDMOND, Maylis CARRE, Monique ARNAUD et Michel GAYALIN). Le travail d'équipe dans la joie n'a rien enlevé à la rigueur et à la synergie du travail.

Ce fut une expérience enrichissante et un réel plaisir d'être immergé au niveau de la sphère scientifique du Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique (PRAM) et de participer à la « production de connaissances » sur une thématique agro-environnementale.

Sommaire

Remerciements

Sommaire

Liste des sigles et lexique

Introduction	1
Partie 1 : Présentation de la zone d'étude et du contexte du stage	2
I. La Martinique, une île avec une diversité de facies.....	2
A. Contexte Géomorphologique et bioclimatique de la Martinique	2
1. Géographie de la Martinique	2
2. Géologie : une histoire liée au volcanisme antillais	2
3. Un climat tropical humide insulaire	3
4. Le réseau hydrographique de la Martinique.....	3
5. Pédologie : des sols d'origine volcanique soumis au climat tropical.....	4
B. L'expansion démographique modifie l'occupation de l'espace.....	4
1. Démographie et urbanisation croissante.....	4
2. Un secteur agricole en pleine mutation	5
II. Zoom sur le bassin versant de la baie du Robert	6
A. Situation du bassin versant et de sa baie au sein de l'île.....	6
B. Milieu physique : entre atouts et contraintes.....	6
1. Un relief très disséqué	6
2. Un climat peu contraignant	7
3. Des sols très argileux.....	7
C. Occupation du sol.....	7
1. Une agriculture diversifiée	7
2. Un habitat diffus, non sans conséquences sur l'érosion.....	8
3. Un habitat naturel : les mangroves, un milieu tampon.....	8
4. Un territoire en pleine mutation	9
D. Enjeux environnementaux.....	9
1. Une baie semi fermée soumise à de fortes pressions anthropiques.....	9
2. Une hyper sédimentation qui gêne le développement de certains écosystèmes.....	10
3. Des eaux côtières à protéger de l'eutrophisation.....	10
III. Présentation de la structure d'accueil et des objectifs du stage.....	12
A. L'organisme d'accueil.....	12
1. Le Cemagref.....	12
2. Le PRAM, pôle de recherche agro-environnementale de la Martinique.....	12
B. Etudes du Cemagref sur le bassin versant du Robert	13
C. Situation et objectifs du stage.....	14
Partie 2 : Synthèse bibliographique.....	16
I. Généralités sur l'érosion	16
A. Définition	16
1. L'érosion hydrique	16
2. Les principaux agents érosifs	16
B. Les différentes formes d'érosion hydrique.....	17
1. L'érosion en nappe	17
2. L'érosion linéaire, en griffe ou en rigole et formation de ravine	17
C. Indicateurs de vulnérabilité à l'érosion	18
1. L'érodibilité.....	18

2.	La topographie.....	18
3.	Végétation	18
D.	Effets néfastes de l'érosion	19
1.	Effets néfastes de l'érosion là où elle se produit.....	19
2.	Effets néfastes de l'érosion hors du lieu où elle se produit.....	19
II.	Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface	20
A.	Les mécanismes d'action de la végétation	20
1.	Protection active contre l'érosion : limiter l'ablation du substrat	20
2.	Protection passive contre l'érosion : le piégeage des sédiments et donc limitation du transport des particules érodées.....	21
B.	Efficacité des différentes formations végétales.....	21
C.	Importance du taux de couverture végétale.....	23
III.	Le génie végétal.....	25
A.	Définition	25
B.	Domaines d'application et objectifs	25
C.	Avantages et limites	25
1.	Avantages	26
2.	Limites.....	27
IV.	Les actions de lutte contre l'érosion linéaire.....	28
A.	Limiter le ruissellement sur le bassin versant de la ravine	28
B.	Actions dans le lit de la ravine	29
C.	Accompagnement et gestion durable de l'écosystème réhabilité : le suivi et entretien des dispositifs de correction du ravinement	31
V.	Adaptation au contexte local des mesures préventives d'érosion	32
Partie 3 : Test d'une technique de réhabilitation de la ravine		34
I.	Etude préliminaire topographique et floristique du site	34
A.	Etude des caractéristiques physiques de la ravine à réhabiliter :	34
B.	Diagnostic floristique	37
1.	Inventaire des espèces répertoriées sur site	37
2.	Quantification du couvert végétal	38
3.	Réflexion sur la localisation des espèces	39
II.	Réalisation des ouvrages de génie végétal	40
A.	Choix du type d'ouvrage ; quelle technique est adaptée à notre situation?	40
1.	Justification du choix des barrages biologiques pour le traitement de l'érosion sur la ravine, descriptif sommaire	40
2.	Choix des espèces végétales.....	41
a.	Espèces retenues pour les boutures	41
b.	Espèces retenues pour le tressage.....	44
c.	Espèces retenues pour le piégeage des sédiments	44
d.	Espèces utilisées pour prévenir l'affouillement des dispositifs.....	45
B.	Mise en place des ouvrages dans la ravine Mansarde	48
1.	Détermination du nombre d'ouvrages, espacement et positionnement.....	48
a.	Détermination du nombre d'ouvrages.....	48
b.	Espacement des dispositifs.....	48
c.	Positionnement des dispositifs, fonction de la dynamique de la ravine	48
2.	Travaux relatifs à l'installation d'un ouvrage type	49
C.	Bilan technico-économique (ramené à un micro barrage filtrant)	51
III.	Suivis et valorisation des ouvrages de réhabilitation	53
A.	Suivis réalisés au niveau des ouvrages.....	53
1.	Reprise des boutures.....	53

2. Entretien des barrages	53
3. Observations en crue	54
B. Suivis réalisés au niveau de la ravine	54
1. Etude du profil en long	54
Un état initial du profil en long a été réalisé en saison sèche avant la mise en place des ouvrages.	54
2. Quantification des sédiments retenus	55
C. Valorisation des ouvrages	56
1. Valorisation des zones d'atterrissement	56
2. Adaptation du système à une ravine instrumentée	57
3. Etendre le dispositif à d'autres bananeraies	57
Conclusion	58
Bibliographie.....	59
Annexes.....	63

Liste des figures

Figure 1 : Moyenne des cumuls mensuels sur 13 années de mesure	7
Figure 2 : Projets du Cemagref sur la baie du Robert	13
Figure 3 : Domaines et but du Génie Végétal d'après Lachat, B.2000	25
Figure 4 : Principe du niveau optique	34
Figure 5 : Schéma de principe de la méthode de nivellement par cheminement	34
Figure 6 : Schéma explicatif du nivellement par cheminement	36
Figure 7 : illustrations des différentes espèces présentes dans la ravine.....	38
Figure 8 : Structures d'écoulement et cortège floristique observé dans la ravine Mansarde...	39
Figure 9 : Matérialisation de l'emplacement des micro-barrages filtrants.....	49
Figure 10 : Illustrations des étapes de mise en place des micro-barrages.....	49
Figure 11 : Calcul du volume de sédiment.....	55
Figure 12 : Illustrations des espèces florales exploitées dans la ravine	57

Liste des cartes

Carte 1 : Relief de la Martinique	2
Carte 2 : Cumul annuel des pluies sur la Martinique	3
Carte 3 : Pédologie de la Martinique au 1/100 000 ^{ème}	4
Carte 4 : Localisation du bassin versant de la Baie du Robert	6
Carte 5 : Relief et réseau hydrographique du bassin versant de la baie du Robert	7
Carte 6 : Carte pédologique simplifiée au 1/20 000 ^{ème}	8
Carte 7 : Occupation du sol sur le bassin versant de la baie du Robert.....	9
Carte 8 : Etat de santé des biocénoses au niveau de la baie du Robert	10
Carte 9 : Vulnérabilité à l'érosion sur le bassin versant et détails	14
Carte 10 : Situation des ravines et des drains dans les bananeraies avec l'intensité observée de l'érosion.....	15

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des principales formes d'érosion rencontrées en Martinique	17
Tableau 2 : Ordres de grandeurs des pertes de sols causés par les principales formes d'érosion hydrique.....	18
Tableau 3 : Espèces présentes dans la ravine Laverne	38
Tableau 4 : Notation des espèces selon leur intérêt biotechnique	42
Tableau 5 : Tableau de synthèse de l'intérêt économique des boutures retenues	43
Tableau 6 : Fonctionnalité du micro barrage à ce stade d'avancement.....	45
Tableau 7 : Matériel nécessaire pour la limitation de l'affouillement au niveau d'un barrage	47
Tableau 8 : Travaux relatifs à l'entretien d'un micro-barrage type	50
Tableau 9 : Récapitulatif des dépenses liées à la mise en place d'un micro-barrage.....	52
Tableau 10 : Espèces pour la valorisation des atterrissements.....	57
Tableau 11 : Tableau de synthèse des enjeux.....	58

Liste des graphiques

Graphique 1 : Profil en long de la ravine vue de dessus	36
Graphique 2 : Variation de hauteur de la ravine	37

Liste des photographies

Photo 1 : Photographie de l'habitat diffus sur les mornes en amont des bananeraies.....	15
Photo 2 : Photo illustrant les deux variétés de Draceana utilisées	43
Photo 3 : Photo de l'ouvrage dans la ravine Laverne, Juin 2008	44
Photo 4 : Photo d'une touffe de zizanoïde de vétéviera prélevée trois mois et demi après plantation dans un sol à allophane (l'enlèvement de la touffe a requis des outils affutés et une certaine dose d'énergie !!!)	45
Photo 5 : Photo illustrant l'intérêt du vétiver pour contribuer à parfaire l'efficacité des micro barrages	54
Photo 6 : Photo d'illustration de l'efficacité du dispositif dans le piégeage de sédiments, lors d'une crue après deux mois de plantation	54

Liste des sigles et lexique

Sigles

AEMA : Agriculture et espace insulaire de Martinique

CA : Chambre d'agriculture de Martinique

CEMAGREF: Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement

CIRAD: Centre international de recherche agronomique et de développement

DCE : Directive cadre sur l'eau

FEADER : Fond Européen Agricole pour le développement rural

GCES : Gestion conservatoire de l'eau et des sols

GIZC: Gestion intégrée des zones côtières

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la mer

INSEE : Institut National de la statistique et des études économiques

IRD: Institut de recherche et de développement

MAE T : Mesure agro-environnementale Territorialisée

PDAD : Pré-étude de Développement Agricole Durable

PLU : Plan local d'urbanisme

PNRM : Parc naturel Régional de Martinique

PRAM: Pole de recherche agro-environnementale de Martinique

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des eaux ZNT: Zone non traitée

SIG : Système d'information géographique

Définitions

Andains : surface représenté par l'espacement entre deux lignes de bananiers en rang jumelé

Baillonnette : type de matériel végétal utilisé pour la plantation de bananier (rejeton)

Pseudo tronc : faux tronc constitué de l'assemblage des gaines entrelacées de la plante, le bananier étant une herbe

Totote : terminaison de l'inflorescence du bananier (bourgeon le moins volumineux, organe mâle)

Introduction

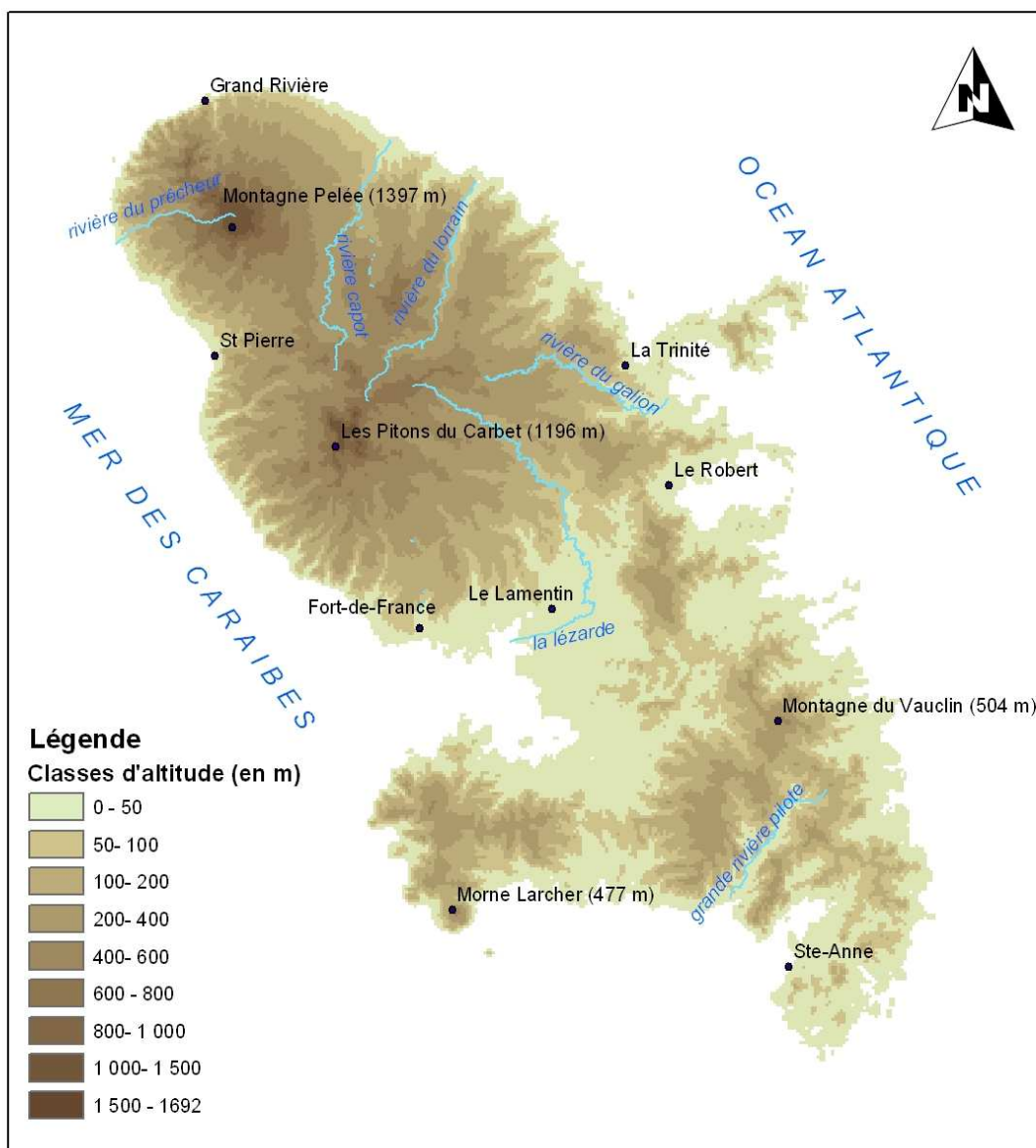
Les précipitations atmosphériques constituent le facteur déclencheur de l'érosion hydrique. Celle-ci a pour conséquences : l'ablation de terre, l'appauvrissement et la dégradation biologique du sol. L'intensité de cette évolution naturelle de la couche pédologique est conditionnée par la nature du substratum, la pente, la végétation et les pressions anthropiques. Ainsi, ces dernières influencent un processus qui façonne et modifie naturellement l'environnement. En effet, les activités humaines qui se développent sur les milieux terrestres influencent l'intensité du phénomène, parfois en protégeant les sols, parfois en aggravant l'action érosive.

La zone d'étude choisie présente des enjeux environnementaux. Ces derniers illustrent les répercussions des activités anthropiques sur le milieu. Le stage présenté ici s'inscrit dans le cadre de la démarche de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) lancée sur le bassin versant de la baie du Robert en Martinique, et fait suite à un diagnostic de l'érosion hydrique sur ce bassin versant.

On s'intéresse dans le cadre de ce projet à la réhabilitation d'une ravine avec la mise en place d'ouvrages permettant de limiter l'érosion. En effet, il s'agit ici de tester l'efficacité de micro-barrages filtrants construits en techniques végétales.

Le mémoire comprend trois parties :

- la première partie présente la zone de l'étude et quelques caractéristiques associées au milieu, en se focalisant sur les facteurs à l'origine des formes d'érosion observées sur le terrain. Suite à cette présentation, le contexte et les objectifs du stage sont définis.
- la synthèse bibliographique, préalable aux travaux, fait l'objet de la deuxième partie
- la dernière partie est consacrée aux différentes phases de réhabilitation de la ravine. A ce niveau, les méthodes utilisées et le matériel mis en œuvre sont explicités. De la première visée lors de l'établissement du profil en long à la mise en place des ouvrages avec une étude technico-économique. Enfin un programme de suivi pour sa réhabilitation est proposé à la fin de ce rapport.



 Unité AEMA	
Site Atelier de la baie du Robert	
Sources: Cemagref et BD_Topo IGN	Auteur: K.PINTE
Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la Baie du Robert	

Carte 1 : Relief de la Martinique

Partie 1 : Présentation de la zone d'étude et du contexte du stage

Cette première partie présente un bref aperçu du contexte géomorphologique, bioclimatique et économique de l'île de la Martinique dans un premier temps. Puis elle décrit de manière plus précise, le lieu d'étude du suivi réalisé dans le cadre de mon stage ainsi que les enjeux environnementaux du site.

I. La Martinique, une île avec une diversité de facies

A. Contexte Géomorphologique et bioclimatique de la Martinique

1. Géographie de la Martinique

Appartenant à l'arc insulaire des Antilles, la Martinique compte environ 380 000 habitants pour une superficie de 1100 km². Elle s'est édifiée à la suite d'une succession de phases volcaniques, et fait partie de l'arc géologique récent, exceptée la presqu'île de la Caravelle (en face de La Trinité) et la péninsule de Sainte-Anne, issues de l'arc ancien. La zone côtière est très découpée et hétérogène. Le plateau insulaire, d'une superficie équivalente à celle de l'île, est principalement développé côté atlantique (75%), et baigné toute l'année par les eaux du courant nord-équatorial. Son relief irrégulier peut se décomposer en trois ensembles :

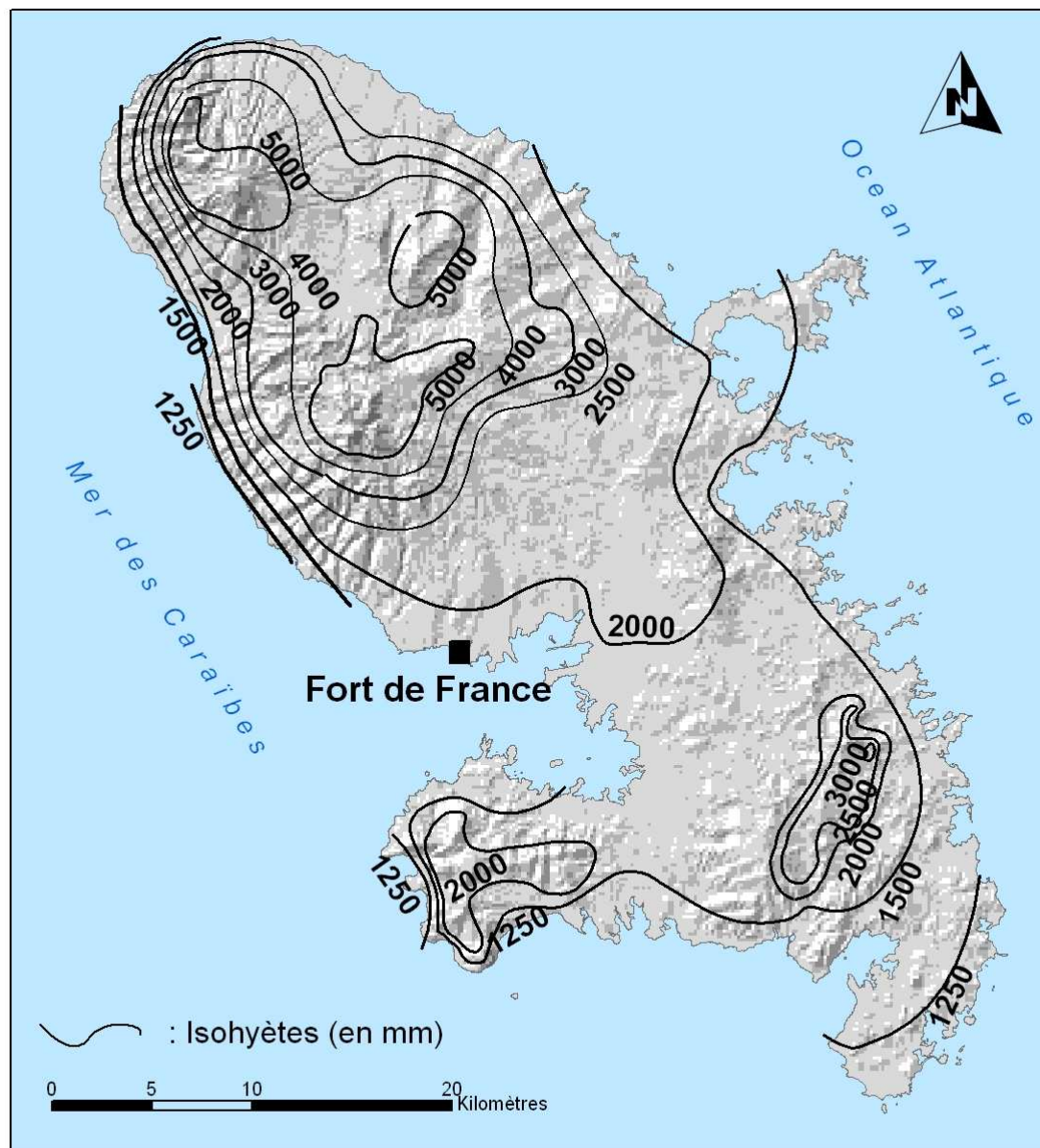
- Un secteur méridional (dit Sud Martinique), où le relief est composé de "mornes", massifs volcaniques anciens de moyenne altitude (Morne Larcher, 477m ; Montagne du Vauclin, 504 m).
- Un secteur central, composé de petites plaines fragmentées (plaine du Lamentin) qui s'étale sur 112 km².
- Un secteur septentrional (dit Nord Martinique), composé de hauts reliefs, accidentés et dominés par la montagne Pelée (1397 m et les pitons du Carbet (1196 m).

2. Géologie : une histoire liée au volcanisme antillais

Fruit de la subduction de la plaque océanique sous celle de la Caraïbe, la Martinique est une île au volcanisme de type andésitique et explosif (KhamSouk, 2001 ; Cabidoche et al., 2001). [48], [45]

D'après Westercamp et Tazieff (1980), la formation de la Martinique résulte de façon simplifiée de la mise en place successive de trois arcs insulaires distincts [50]:

- L'arc ancien constitué par les presqu'îles de Sainte Anne et de la Caravelle (Oligocène supérieur - début Miocène). Ces formations anciennes sont constituées de tuffs lités



 Unité AEMA	
Site Atelier de la baie du Robert	
Sources: IRD Bondy, Cemagref	Auteur: C.Scherer
Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la Baie du Robert	

Carte 2: Cumul annuel des pluies sur la Martinique

(formations détritiques volcano-sédimentaires) incluant parfois des bancs coquilliers et des massifs coralliens.

- L'arc intermédiaire constitué par la montagne du Vauclin et le morne Pitault (Miocène inférieur et moyen). Ces formations intermédiaires sont volcano-sédimentaires avec des bancs de calcaire francs en alternance avec des brèches pyroclastiques.
- L'arc récent constitué par la région nord jusqu'au Morne Larcher (début Pliocène). Ces formations récentes sont des projections aériennes composées d'andésite et de labrodite donnant des tuffs légers, des cendres et des ponces ou brèches.

Cette chronologie de la formation géologique de la Martinique explique en partie la variabilité spatiale des sols.

3. Un climat tropical humide insulaire

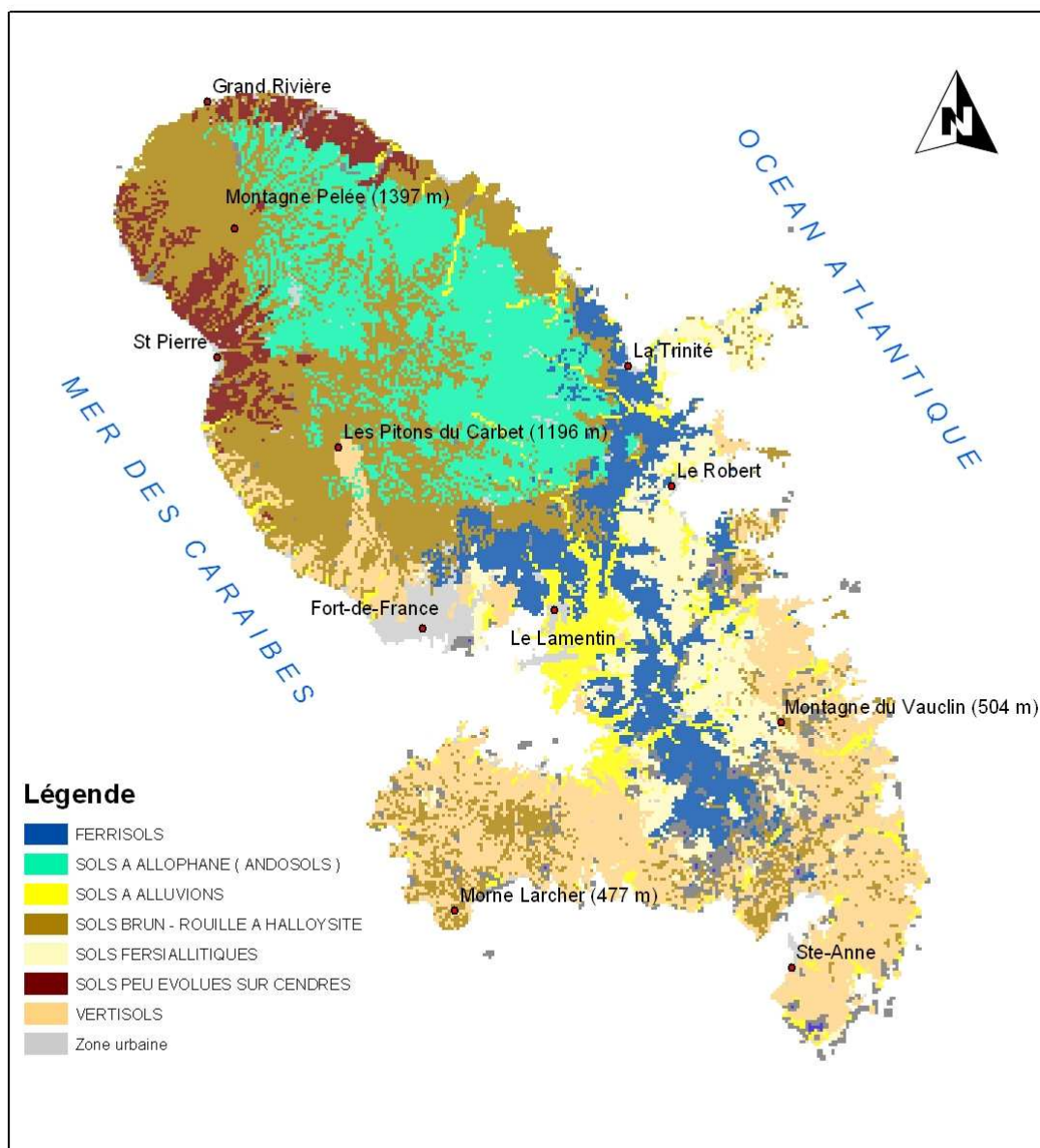
Avec une moyenne annuelle des températures de 25°C, le climat de la Martinique est caractérisé par des irrégularités pluviométriques aussi bien spatiales que temporelles.

Variations temporelles car l'île est sous l'influence d'un climat tropical humide avec une saison sèche (dite «carême» : janvier à juin) et une saison humide (dite "hivernage : juillet à décembre). A la saison sèche, l'anticyclone des Açores apporte des vents frais et réguliers. L'air est donc sec et les pluies peu fréquentes. Seule la partie nord de la Martinique au relief plus prononcé continue alors d'être arrosée par des pluies orographiques. Le bilan hydrique y est excédentaire. Durant la saison cyclonique, l'île est soumise aux pluies orographiques dues aux ondes tropicales amenant des pluies de forte intensité et distribuées assez uniformément sur l'île.

Variations spatiales, car le relief influence la variabilité insulaire du climat. Ainsi entre le nord et le sud de la Martinique, les cumuls annuels varient de 500 mm à Sainte Anne (l'extrême sud de l'île), à plus de 5000 mm dans le nord. D'autre part, on observe à altitude égale des différences entre le côté Nord Atlantique au vent et le côté Nord Caraïbe sous le vent, très sec surtout pendant le carême, et soumis à de forts risques d'incendies.

4. Le réseau hydrographique de la Martinique

Deux types de réseaux hydrographiques calqués sur les différences géomorphologiques et climatiques entre le nord et le sud de l'île s'observent.



 Cemagref Unité AEMA	
Site Atelier de la baie du Robert	
Sources: INRA, Colmet-Daage, 1969	Auteur: K.PINTE
Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la Baie du Robert	

Carte 3 : Pédologie de la Martinique au 1/100 000^{ème}

Au nord, les massifs volcaniques sont parcourus par un réseau hydrographique dense et rayonnant, avec des cours d'eau alimentés par de petits bassins versants. Au sud, le réseau hydrographique est moins dense : il est constitué de petites rivières inférieures à 30 km de long. Ces rivières ont un caractère torrentiel dans les mornes puis s'allongent en méandres dans les plaines alluviales proches des côtes.

5. Pédologie : des sols d'origine volcanique soumis au climat tropical

La Martinique étant une île volcanique au relief accidenté sous climat tropical humide, le processus majeur d'altération chimique des minéraux est par conséquent l'hydrolyse. Celle-ci est plus ou moins marquée sur l'île selon les conditions de pluviosité (Khamsouk, 2001). [48] De plus, les sols martiniquais issus d'une même roche mère peuvent évoluer différemment selon le climat, et des matériaux différents mais de composition analogue peuvent donner des sols comparables (Colmet-Daage, 1969) [46] .

Globalement, ces auteurs distinguent sept grands groupes de sols qui peuvent être regroupés en deux familles d'âges différents : la famille des sols évoluant sur formations volcaniques anciennes, à savoir les vertisols, les ferrisols et les sols ferrallitiques ; et la famille évoluant sur formations volcaniques récentes, regroupant des sols peu évolués sur cendres et ponces, sols à allophanes (andosols), sols brun-rouille à halloysite et sols sur alluvions.

Un tableau, disponible en annexe 1, détaille un peu plus les principales caractéristiques de ces sols.

L'agressivité des pluies n'affecte pas trop ces sols peu sensibles à la battance, grâce à leur texture argileuse relativement élevée.

B. L'expansion démographique modifie l'occupation de l'espace

1. Démographie et urbanisation croissante

Connaissant depuis 30 ans une forte croissance démographique (+ 20% entre 1977 et 1999 selon le recensement de l'INSEE), la Martinique est la deuxième région française la plus densément peuplée avec une densité de 387 habitants/km². La répartition de la population sur le territoire est assez complexe et est en grande partie responsable du mitage du territoire naturel et agricole par l'urbanisation croissante. On assiste à une urbanisation préférentielle de

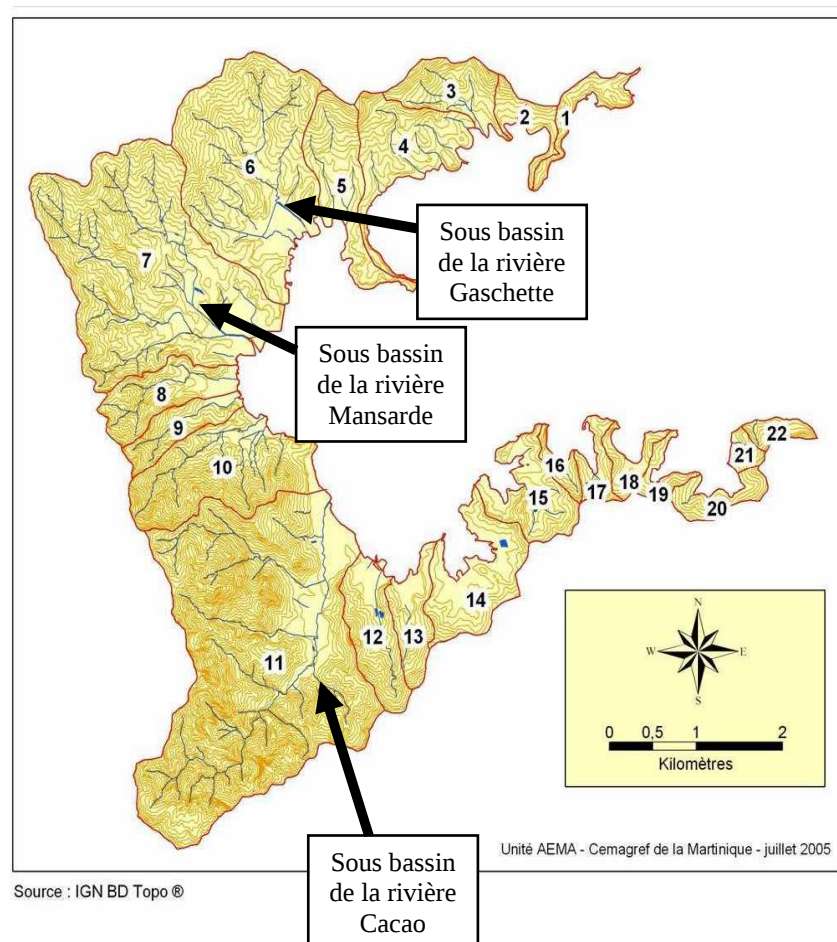
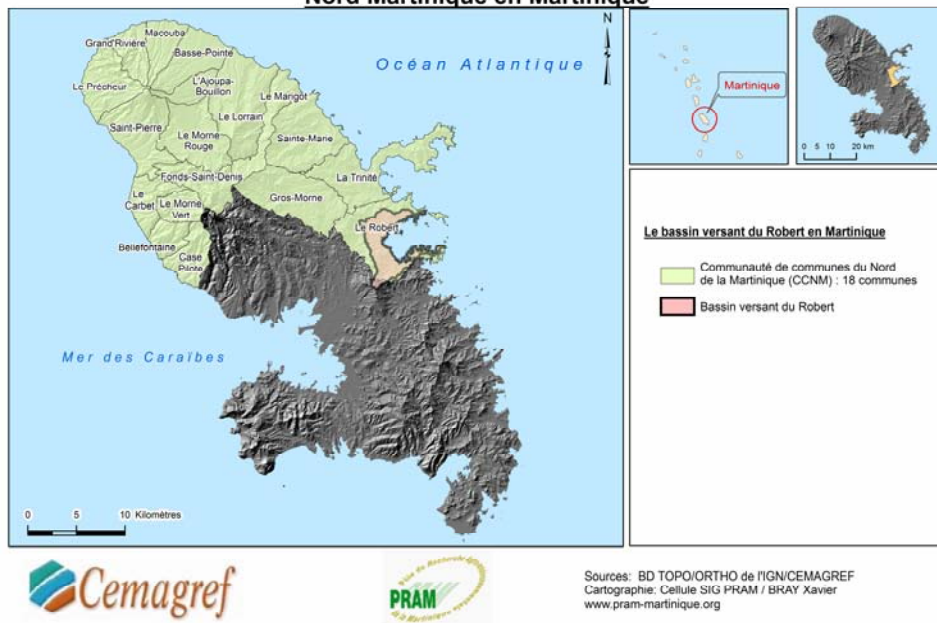
la partie sud de l'île au détriment du nord (désaffecté). D'après le rapport SAURIN relatif à l'étude des composantes spatiales du territoire, l'urbanisation accélérée par les dispositifs (la défiscalisation outre-mer entre autres) a favorisé le renchérissement du foncier et le grignotage de la sole agricole. Aussi, on peut observer une affectation incohérente de ces sols par rapport à leur vocation première, ainsi que des modifications et transformations paysagères dues à un urbanisme incontrôlé.

2. Un secteur agricole en pleine mutation

Pilier économique de l'île, l'agriculture est en crise depuis le déclin de l'activité sucrière amorcé dans les années 1970. Depuis on assiste à un recul inexorable de la surface du foncier agricole. En effet, 1000 hectares de SAU disparaissent par an (Rapport SAURIN, 2000). Ainsi, entre 1974 et 2000, est-elle passée de 51100 ha à 32 040 ha (Augier, 2002) [43]. Par ailleurs, la crise du logement, le récent scandale de la chlordécone et les prix de nos produits non compétitifs par rapport au marché, remettent en question la profession toute entière. C'est donc dans ce contexte agricole défavorable que les terres agricoles perdent du terrain à la faveur de l'urbanisation.

→ Les généralités sur la Martinique ayant été présentées, on s'intéresse maintenant aux spécificités du bassin versant de la baie du Robert où se situe le site d'étude (sous bassin versant de Mansarde, ravine Laverne)

**Le bassin versant du Robert et la Communauté de Communes
Nord Martinique en Martinique**



Carte 4 : Localisation du bassin versant de la baie du robert et du sous bassin versant mansarde

II. Zoom sur le bassin versant de la baie du Robert

A. Situation du bassin versant et de sa baie au sein de l'île

Commune du Centre Martinique, le Robert se trouve sur la façade Est de l'île, qui reçoit les vents principaux. Le bassin versant de la baie du Robert (23 km²) se trouve presque entièrement sur le territoire de la commune du Robert (43 km²). Seule l'extrémité sud ouest, constituée par la partie amont du bassin versant de la rivière Cacao, appartient à la commune voisine du François. Cette position privilégiée du bassin, par unicité administrative, est un atout en termes de coordination des projets d'étude lancés dans le cadre du site atelier de la baie du Robert. La portion de la commune non concernée par le bassin versant de la baie est occupée par le bourg du vert pré situé au nord ouest du bassin.

Le bassin versant de la baie du Robert est spécifique. Il est en effet ramassé autour de la baie, qu'on qualifie de semi fermée, et est drainé par un grand nombre de rivières ou ravines auxquelles sont attachés autant de bassins versants élémentaires. Pour le caractériser, les indices utilisés couramment en hydrologie (indice de compacité ou le taux de drainage) sont inappropriés. Il faut en fait passer par un découpage en sous bassins versants à exutoire unique, que l'on peut alors étudier plus classiquement. Une étude précédente, réalisée par le Cemagref (Marie et Lucas, 2005) sur le diagnostic des pollutions agricoles diffuses, a permis un découpage en 22 sous bassins versants [49]. Ce découpage a fait ressortir 3 sous bassins de taille supérieure. Il s'agit des sous bassins comportant les rivières Cacao (6,3 km²), et la ravine Gaschette (3 km²) et la Mansarde (4,2 km²).

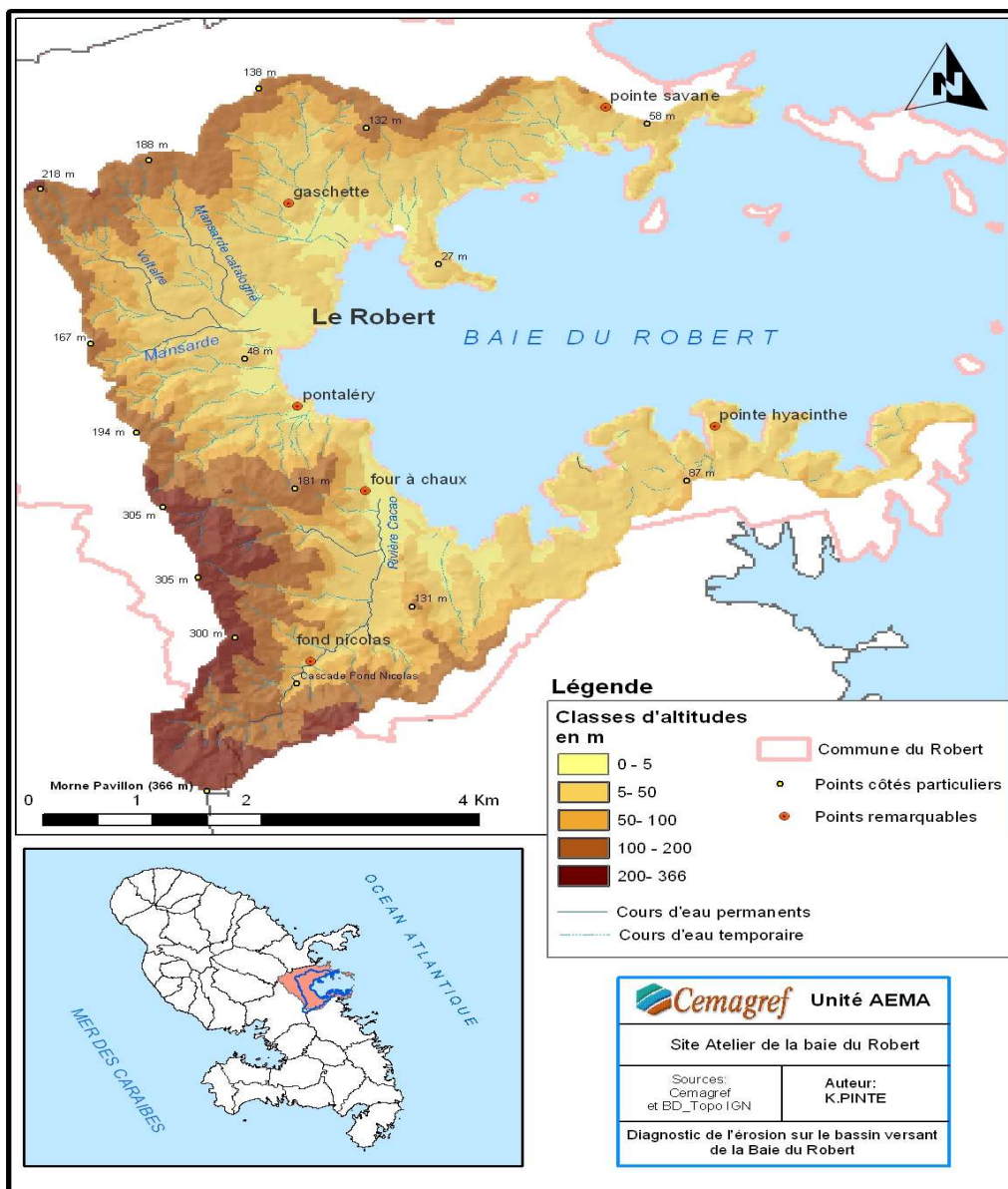
B. Milieu physique : entre atouts et contraintes

1. Un relief très disséqué

Le relief s'organise de façon circulaire autour de la baie. La ligne de crête, constituée de mornes, est bien dessinée et culmine à 366 m au niveau de Morne Pavillon.

Dans la partie centrale, une plaine majoritairement occupée par le bourg du Robert, borde le front de la baie. Dans la moitié nord, la transition entre la plaine et les versants abrupts sous la ligne de crête est plus douce avec une zone intermédiaire de collines, bien visible sur le sous bassin versant de la rivière Mansarde.

On peut définir, en s'intéressant au paysage géomorphologique du bassin, 3 grands ensembles paysagers :



Carte 5 : Relief et réseau hydrographique du bassin versant de la baie du Robert

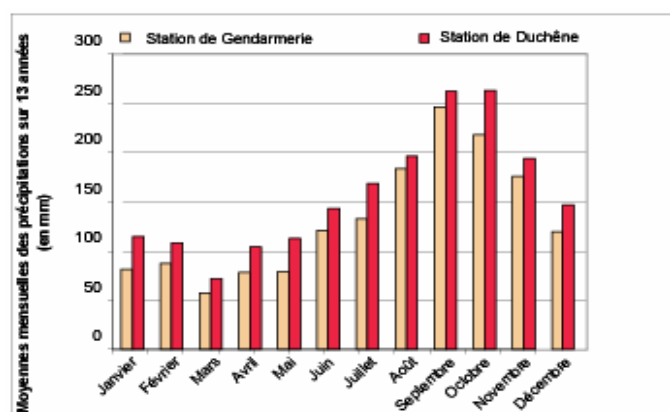


Figure 1 : Moyennes des cumuls mensuels sur 13 années de mesure

- Les plaines qui bordent le fond de la baie,
- La zone d'arrière plaine constituée de collines peu élevées avec des pentes moyennes,
- Le fond de bassin avec les mornes de la ligne de crête et les versants longs et abrupts qui arrivent parfois directement à la baie (zone de Four à Chaux).

L'organisation assez simple du relief et le caractère ramassé du bassin font que le réseau hydrographique est constitué de rivières et ravines qui partent des lignes de crêtes et arrivent sans détour jusqu'à la baie.

2. Un climat peu contraignant

Le bassin versant de la baie est soumis à un climat tropical dont la saison sèche est relativement marquée. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1500 mm à 2000 mm.

Les zones situées à une altitude très faible et éloignées des premiers reliefs, ne reçoivent pas de pluie pendant la saison sèche. L'ensemble du bassin reste concerné par les épisodes pluvieux d'hivernage plus conséquents. La figure 1 résume les moyennes mensuelles réalisées sur 13 années et pour deux stations pluviométriques.

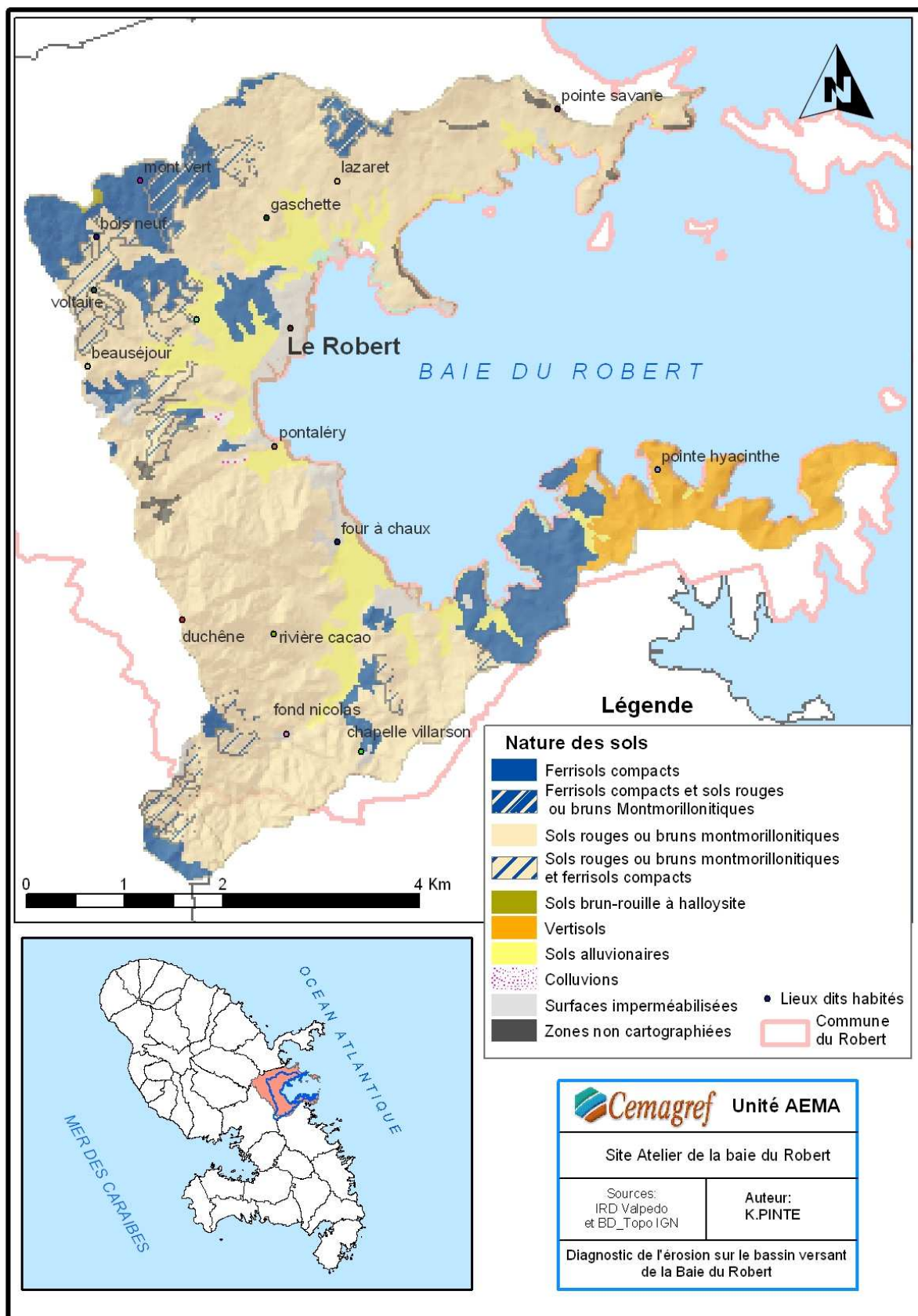
3. Des sols très argileux

Selon la cartographie de Colmet-Daage (1969) réactualisée par l'IRD (Unité Valpédo de Montpellier), les sols présents sur le bassin versant sont presque exclusivement issus de formations volcaniques anciennes. Soumis à un climat relativement humide, ces formations ont subi une altération chimique poussée pour donner des sols très argileux [46]. On rencontre ainsi une majorité de sols brun rouge à montmorillonite et ferrisols compacts. Les vertisols se rencontrent en majorité sur la pointe Sud du bassin (Pointe Hyacinthe), zone occupée d'ailleurs par des pâturages. Ces sols argileux constituent des terres agricoles relativement bonnes, d'autant qu'elles se situent pour la plupart sur des zones en pente, favorisant le drainage du sol et évitant ainsi leur engorgement. Seules quelques bananeraies entre Four à chaux et Fond Nicolas se trouvent sur des terrains très plats.

C. Occupation du sol

1. Une agriculture diversifiée

Les chiffres résultent d'enquêtes chez les agriculteurs correspondant à 68 % de la surface agricole du bassin. Cette SAU ne représente que 24% de la superficie totale du bassin. Le reste du territoire est occupé par l'habitat et les zones naturelles (bois et savanes) comme en



Carte 6 : Carte pédologique simplifiée au 1/20 000^{ème}

témoigne la carte de l'occupation du sol. Trois activités agricoles dominent, en termes de surface : l'élevage (57%), la culture de la canne à sucre (14%) et celle de la banane (12%). Les élevages intensifs (porcins, cunicoles, avicoles), les vergers (plantés en goyaves et agrumes) et le maraîchage se partagent le reste de la surface agricole. La taille des exploitations est relativement faible (10 ha en moyenne) mais la répartition des surfaces est très hétérogène selon les activités. Les parcelles de pâturage sont en moyenne plus grandes que celles vouées à la culture de canne et de banane (respectivement 9 ha, 4,5 ha, 2,35 ha).

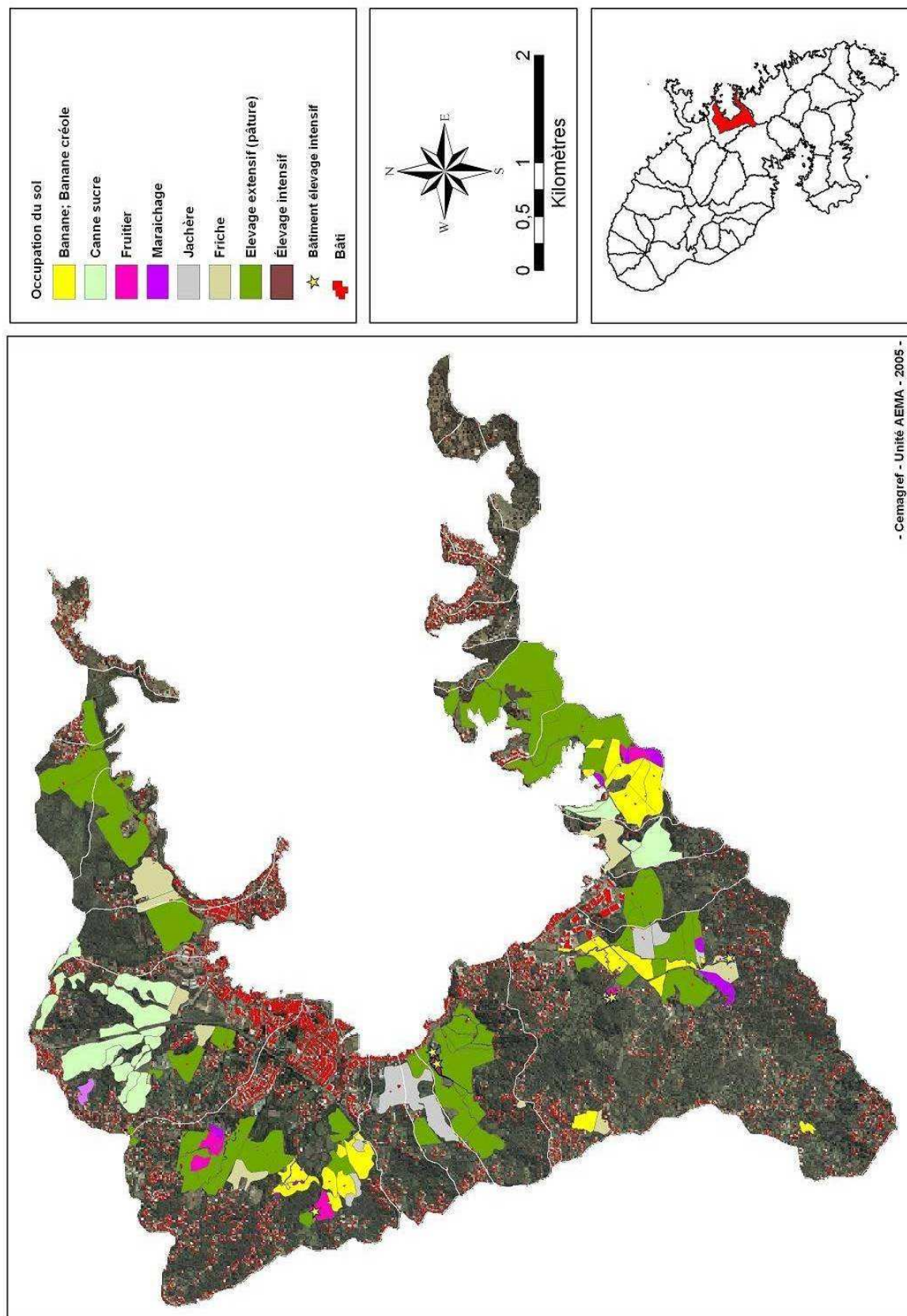
2. Un habitat diffus, non sans conséquences sur l'érosion

Par habitat diffus il faut entendre une occupation mixte de l'espace. Il comprend des surfaces boisées, des surfaces découvertes et des surfaces imperméabilisées. Cette typologie de l'occupation du sol est caractéristique et représentative de l'occupation du sol sur la Martinique toute entière. Pinte a analysé la dynamique spatiale de l'érosion à l'échelle du sous bassin de la Mansarde, dans le cadre du diagnostic de l'érosion des sols à l'échelle du bassin versant de la baie du Robert [23]. Ces conclusions indiquent que cette organisation spatiale se traduit pour les terres agricoles en aval, par des flux massifs d'eau en provenance de ces zones spécifiques. Ces flux d'eau en provenance des surfaces amont se connectent aux structures d'écoulement propres aux bananeraies. Ainsi, elles multiplient les formes du ruissellement, concentrant les écoulements et renforcent l'énergie de ruissellement de l'ensemble. Une part de responsabilité leur est imputable dans l'organisation du ruissellement et dans la formation des structures ravinaires. Au niveau des champs, les parcelles se trouvent fortement endommagées et les pertes de sol occasionnées engendrent un manque à gagner pour les producteurs.

3. Un habitat naturel : les mangroves, un milieu tampon

Les mangroves constituent un écosystème particulier à l'interface entre milieu marin et milieu terrestre qui se développe au sein de la zone intertidale (Desse et Saffache, 2005) [47]. Les mangroves de la baie du Robert font donc partie intégrante de la richesse écologique de la baie. Milieu de nourricerie et de reproduction, la mangrove regorge d'une biodiversité remarquable qu'il est essentiel de préserver. Elles sont un support à des activités écotouristiques de plus en plus développées sur la commune. Elles sont des vecteurs de communication et de sensibilisation des populations au respect de l'environnement à travers

Occupation des sols du bassin versant



Carte 7 : Occupation du sol sur le bassin versant de la baie du Robert

des activités ludiques pour petits et grands. Leurs gestionnaires viellent à leur sauvegarde, notamment pour le rôle tampon qu'elles peuvent jouer.

4. Un territoire en pleine mutation

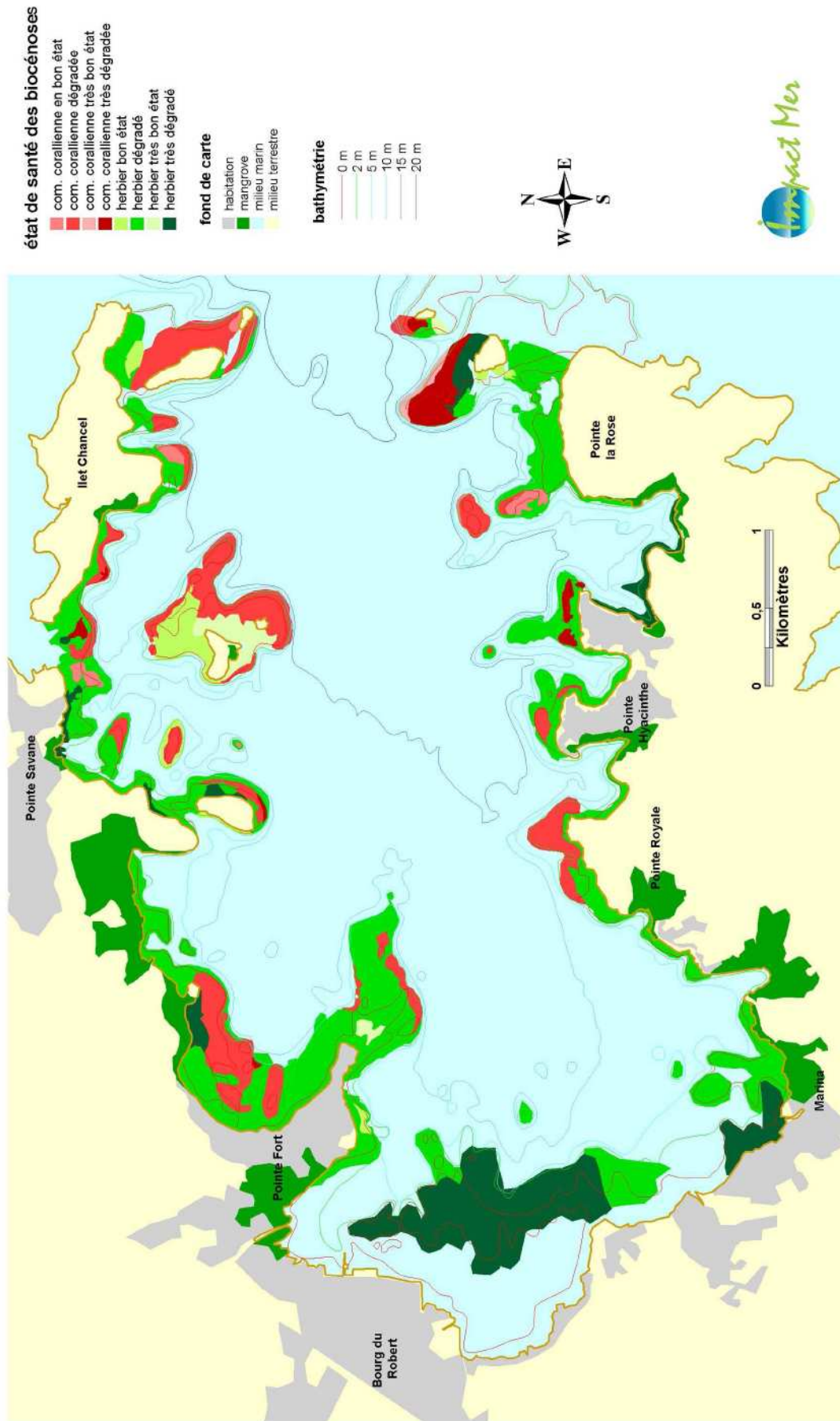
Selon Marie et Lucas (2005) [49], la commune du Robert connaît aujourd'hui des modifications territoriales importantes en termes d'habitat, que ce soit sur sa frange littorale ou son arrière pays. Les avantages offerts par la baie du Robert expliquent en partie l'évolution positive de la démographie. Depuis cinquante ans, les recensements successifs enregistrent en effet un solde moyen de +15% (Plan local d'urbanisme de la commune, ou P.L.U, 2002). Actuellement, le Robert se classe comme la troisième commune du département, avec une densité de 449 habitants au km². Cette augmentation de la population n'est pas sans conséquence sur la gestion de l'habitat. On constate ainsi une occupation diffuse du territoire (avec une installation éclatée des nouvelles propriétés. Le bourg lui-même ne concentre que 14% des logements (P.L.U, 2002). Ceci signifie que plus de trois habitants sur quatre vivent dans les mornes de l'arrière pays. On constate donc une mutation de l'organisation urbaine, qui se traduit notamment sur le territoire par un mitage du tissu rural. L'un des inconvénients réside dans la banalisation du paysage. En outre, les parcelles agricoles du bassin versant, positionnées en contre bas de ces surfaces imperméabilisées, se trouvent exposées à un risque érosif accru.

D. Enjeux environnementaux

1. Une baie semi fermée soumise à de fortes pressions anthropiques

La baie du Robert possède un linéaire côtier d'une vingtaine de kilomètres très disséqué. La baie de 6,5 km de long et 3 km de large est quasi fermée par les îlets du large et les cayes. Le renouvellement des eaux est donc limité. Il est estimé entre 2 et 8% en fonction de la marée. Les eaux superficielles entrent par les passes et sont poussées par les alizés en fond de baie, le courant de retour passe dans l'axe central de la baie (SAFEGE, 2001).

Ce faible renouvellement des eaux fait de la baie un espace particulièrement sensible aux pressions polluantes anthropiques favorisant l'eutrophisation, l'envasement et la pollution chimique et agricole.



Carte 8 : Etat de santé des biocénoses au niveau de la baie du Robert

2. Une hyper sédimentation qui gêne le développement de certains écosystèmes

La baie du Robert, comme la plupart des baies protégées, est sujette au phénomène de sédimentation, accéléré de façon alarmante depuis quelques années par les activités anthropiques du bassin versant. Deux raisons sont principalement invoquées : les pratiques agricoles et le rythme croissant des aménagements (constructions, travaux...) favorisant l'érosion du bassin versant. En 2006, 7% du bassin versant était classé comme très fortement vulnérable à l'érosion. De vastes terrassements de chantier ainsi que des parcelles de banane et maraîchage sur forte pente expliquaient en partie ces résultats. Si l'érosion en nappe reste forte sur les surfaces mises à nu, l'érosion ravinatoire est parfois spectaculaire dans certaines parcelles cultivées. L'imperméabilisation d'importantes surfaces alimentant les ravines accélère leur dynamique [23]

Le remblaiement des zones inondables et la canalisation des cours d'eau sans passage en exutoire par les mangroves sont aussi des raisons citées pour expliquer l'envasement de la baie.

Ce phénomène a deux conséquences :

- le comblement progressif des chenaux de navigation (nuisible pour les bateaux et pour la circulation des masses d'eau dans le fond de la baie) ;
- l'étouffement des herbiers et des communautés coralliennes

3. Des eaux côtières à protéger de l'eutrophisation

L'eutrophisation est un phénomène naturel correspondant à l'enrichissement des eaux littorales en éléments nutritifs (nitrates, phosphates). Ici, l'anthropisation accentue le phénomène conduisant à la dystrophie du système par le rejet massif de nitrates et surtout de phosphates provenant des habitations, des stations d'épuration et de l'activité agricole ou piscicole. Cela se traduit par une prolifération algale brune, verte, ou rouge, à des blooms phytoplanctoniques et à la prolifération des macrophytes. Ce phénomène entre dans un cercle vicieux qui induit la baisse de productivité des herbiers en raison du stress dû aux conditions hypoxiques du milieu. L'eutrophisation amène donc un herbier à un état dégradé plus ou moins rapidement.

Concernant les formations coralliennes, elles subissent un stress qui les fragilise et favorise la production de macro-algues. Les seuils de mortalité directe des coraux sont

toutefois rarement atteints. Par contre le stress engendré associé à l'augmentation de la production algale induit une baisse de l'intensité lumineuse ce qui réduit la photosynthèse des zooxanthelles des communautés coralliennes. La présence de macro-algues en abondance favorise également la sédimentation ce qui vient s'ajouter à l'ombre portée des algues sur les colonies coralliennes situées à leur pied. Cela se traduit alors, associé à l'hypersédimentation, par la dégradation des colonies, et une baisse de la biodiversité.

La carte n°4 de l'état de santé des biocénoses marines, herbiers et coraux ci –contre, permet de montrer que les herbiers et coraux sont quasi tous dégradé et ce, surtout en fond de baie.

→ Au vu de ces enjeux, scientifiques et décideurs ont décidés de s'associer fin 2004 pour mener des études visant à préserver le milieu marin et limiter les apports terrestres de polluants. Cette démarche s'inscrit dans le concept actuel de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC). Associés à la commune, un groupe de scientifiques variés (milieu marin, milieu terrestre et sociologie) a mis en place des suivis sur la zone. Le Cemagref s'est vu confié la partie terrestre de l'étude. C'est ainsi qu'est né le site Atelier de la baie du Robert.

III. Présentation de la structure d'accueil et des objectifs du stage

Cette partie propose un descriptif de la structure d'accueil et explique l'intégration de mon stage et de ses objectifs dans cette démarche de Gestion Intégrée des Zones Côtières en cours sur le site Atelier du Robert.

A. L'organisme d'accueil

1. Le Cemagref

Le Cemagref est un organisme de recherche finalisée qui en Martinique s'implique dans des études relatives à la gestion des eaux et des territoires (Unité AEMA : Agriculture et Espace Insulaire de la Martinique). Ses recherches sont orientées vers la production de connaissances nouvelles et d'innovations techniques mises en œuvre par les gestionnaires, les décideurs et les entreprises pour répondre à des questions concrètes de société dans les domaines de la gestion des ressources, de l'aménagement et de l'utilisation de l'espace.

Les travaux du Cemagref sont axés sur la définition d'outils devant permettre une meilleure préservation de l'espace agricole allant du suivi de l'évolution de cet espace à la mise en œuvre de programmes de développement destinés à diminuer certains effets externes négatifs dus aux pratiques des agriculteurs.

Les thématiques sont les suivantes : Indicateurs agri-environnementaux, gestion intégrée des zones côtières, productions fourragères et élevage, socio- économie, et plus récemment SIG et télédétection avec le développement de géo-indicateurs.

Concernant l'équipe BVMA (bassin versant de la Martinique), les axes de travail ont trait aux problématiques environnementales de l'île, notamment sur la gestion de la ressource en eau à l'échelle des bassins versants côtiers. C'est ainsi que, le CEMAGREF s'est mobilisé face à l'altération de l'environnement et singulièrement de la qualité des eaux observées au niveau de la baie du Robert.

2. Le PRAM, pôle de recherche agro-environnementale de la Martinique

Cette unité est hébergée au sein du PRAM (Pôle de Recherche Agro-environnemental de Martinique). Le PRAM est un groupement d'intérêt scientifique qui regroupe le Cemagref, le CIRAD et l'IRD au sein d'un même espace. Ces structures rassemblent leurs moyens et leurs

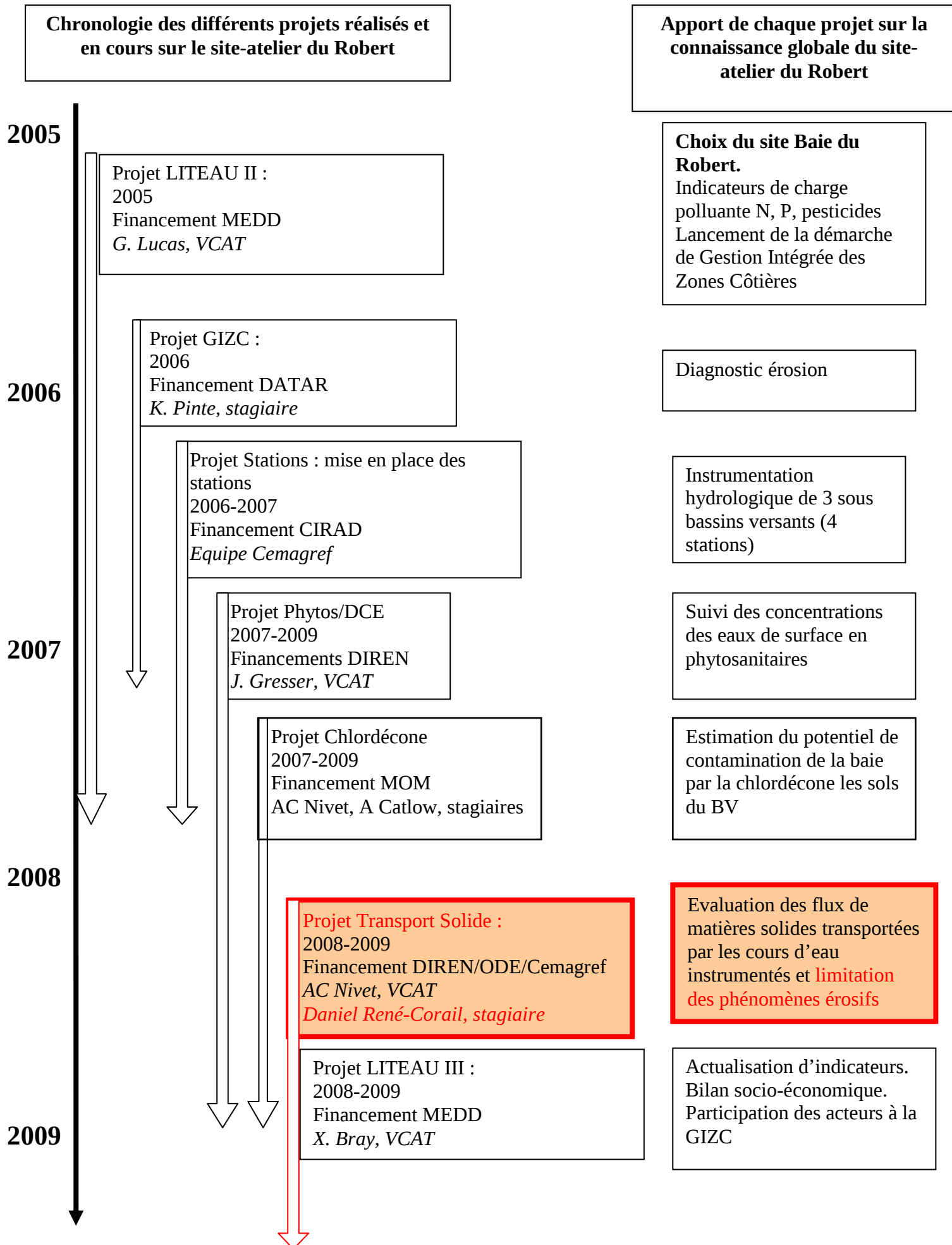


Figure 2 : les différentes études réalisées au Cemagref Martinique depuis 2005

compétences pour d'offrir des réponses pertinentes aux nouveaux défis de l'agriculture Martiniquaise. Leur proximité permet des échanges d'informations et des réflexions en synergie sur des thématiques complémentaires.

B. Etudes du Cemagref sur le bassin versant du Robert

Depuis 2005, de nombreux projets sur les thématiques des apports terrestres : pollution chimique et érosion ont été lancés. Le récapitulatif ci-contre présente ces projets.

La compréhension des mécanismes qui régissent l'hyper sédimentation de la baie, étant essentielle pour l'ensemble des acteurs impliqués (et à fortiori, la municipalité), des premiers travaux concernant l'érosion ont été lancés par Kévin Pinte en 2006. La réalisation du diagnostic approfondi des apports terrigènes à la baie (Pinte, 2006) a permis la mise en place d'un indicateur de sensibilité à l'érosion à l'échelle du bassin versant de la baie. L'objectif de ce diagnostic était d'étudier les interactions entre les différentes composantes de l'occupation du sol (territoire agricole, zones urbaines) et en termes de genèse de phénomènes érosifs. Il s'agissait également de diagnostiquer la dynamique des sédiments, une fois émis sur le bassin versant, vers le milieu récepteur marin.

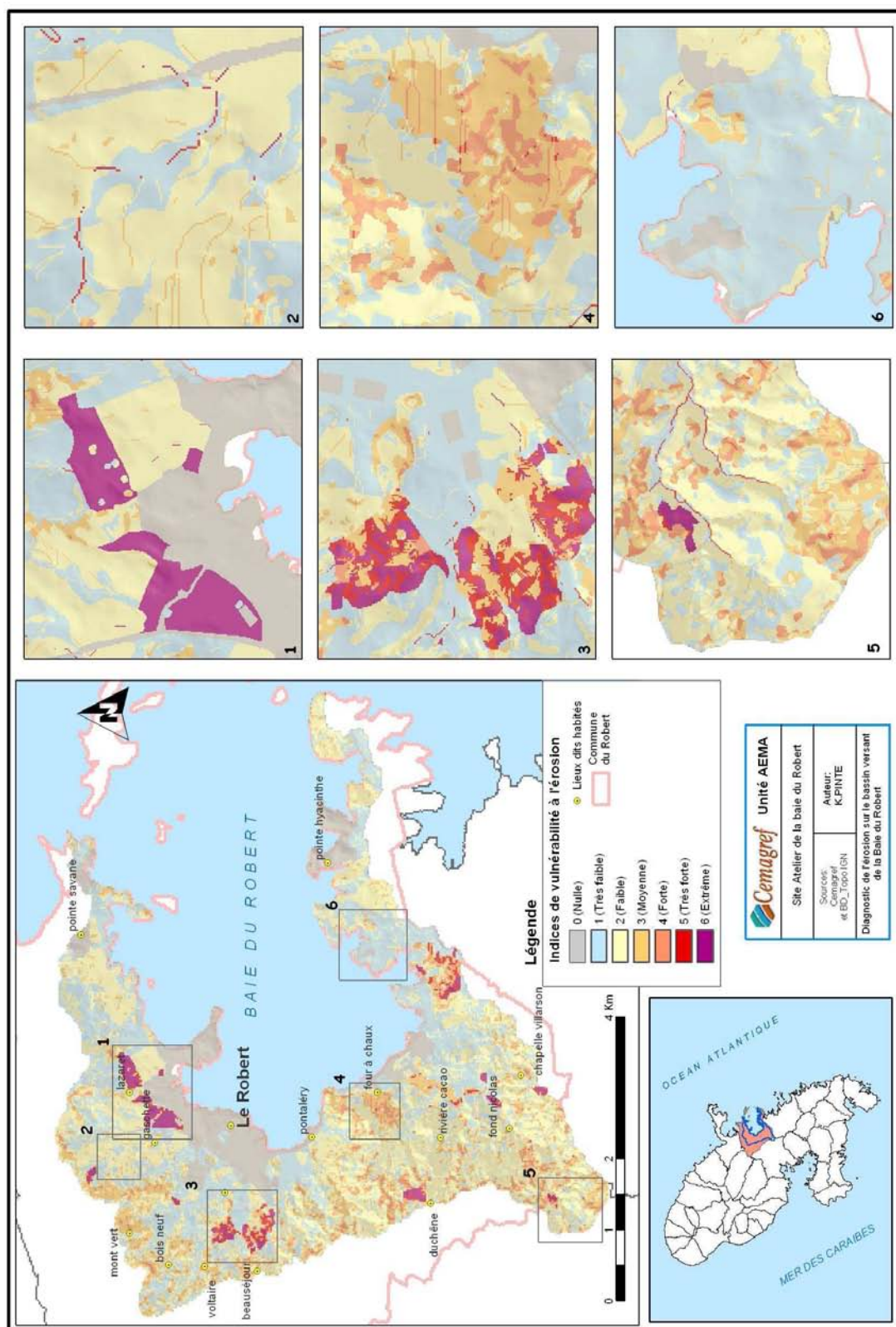
Ce travail a permis de caractériser l'érosion hydrique sur le plan qualitatif. Il a entre autres, mis en évidence :

- l'organisation du processus érosif
- les réseaux de connexion des structures qui concentrent les écoulements au niveau du bassin versant de la baie du Robert
- l'identification sous SIG (cartographie) des zones les plus vulnérables à l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant de la baie du Robert.

Les différentes formes d'érosion hydrique observées et les transports de sédiments associés à chacune étant connus, il convient maintenant, de quantifier ce phénomène et d'intervenir pour réduire les apports terrigènes à la baie.

Suite à ces premiers travaux qualitatifs, un projet « transport solide » a vu le jour. Il propose d'une part, un suivi quantitatif au niveau de 4 stations de mesures des MES et du charriage, et d'autre part, une réflexion sur des actions préventives et curatives performantes, pour limiter les départs terrigènes vers le milieu récepteur : la baie du Robert.

Mon stage s'inscrit dans ce contexte, il fait l'objet de la seconde partie du projet « transport solide ».



Carte 9 : Vulnérabilité à l'érosion sur le bassin versant

C. Situation et objectifs du stage

L'objet de l'étude est d'analyser l'impact des travaux de végétalisation de ravines sur la réduction de production sédimentaire à leur exutoire. On souhaite étudier l'efficacité des ouvrages de génie biologique pour le piégeage et la rétention des sédiments. Ces ouvrages de génie biologique doivent mener au développement de barrières végétales, destinées à piéger les sédiments en transit. Pour cela, un suivi sur 6 mois du comportement des 5 barrières végétales construit dans le lit d'une ravine expérimentale a été réalisé.

La zone d'étude se situe au niveau du sous bassin versant, appelé Mansarde, dit prioritaire sur le bassin versant du Robert en raison de sa vulnérabilité à l'érosion¹.

Cette zone est divisée en deux parties : une partie amont avec de l'habitat diffus et une partie aval occupée par des bananeraies. Au sein des bananeraies, on observe des zones qui concentrent les écoulements et creusent des figures d'érosions appelées ravines. Ces ravines sont donc présentes de manière naturelle et diffuse au milieu des parcelles agricoles. Cependant, l'augmentation des surfaces imperméabilisées en amont augmentent l'énergie des flux d'eau convergeant vers ces ravines et entraînent un départ de terre accru.

Sur le bassin versant de Mansarde, on observe plusieurs ravines de ce type. Il a été décidé d'étudier plus en détail une des ravines les plus en amont, nommé ravine Laverne (nom de l'exploitante de la parcelle). Cette ravine est située sur la carte ci contre.

Sur ce site, on tente de répondre à la problématique suivante : « les technique de Génie Végétal permettraient-elles de lutter efficacement contre les apports de sédiments à la baie ?

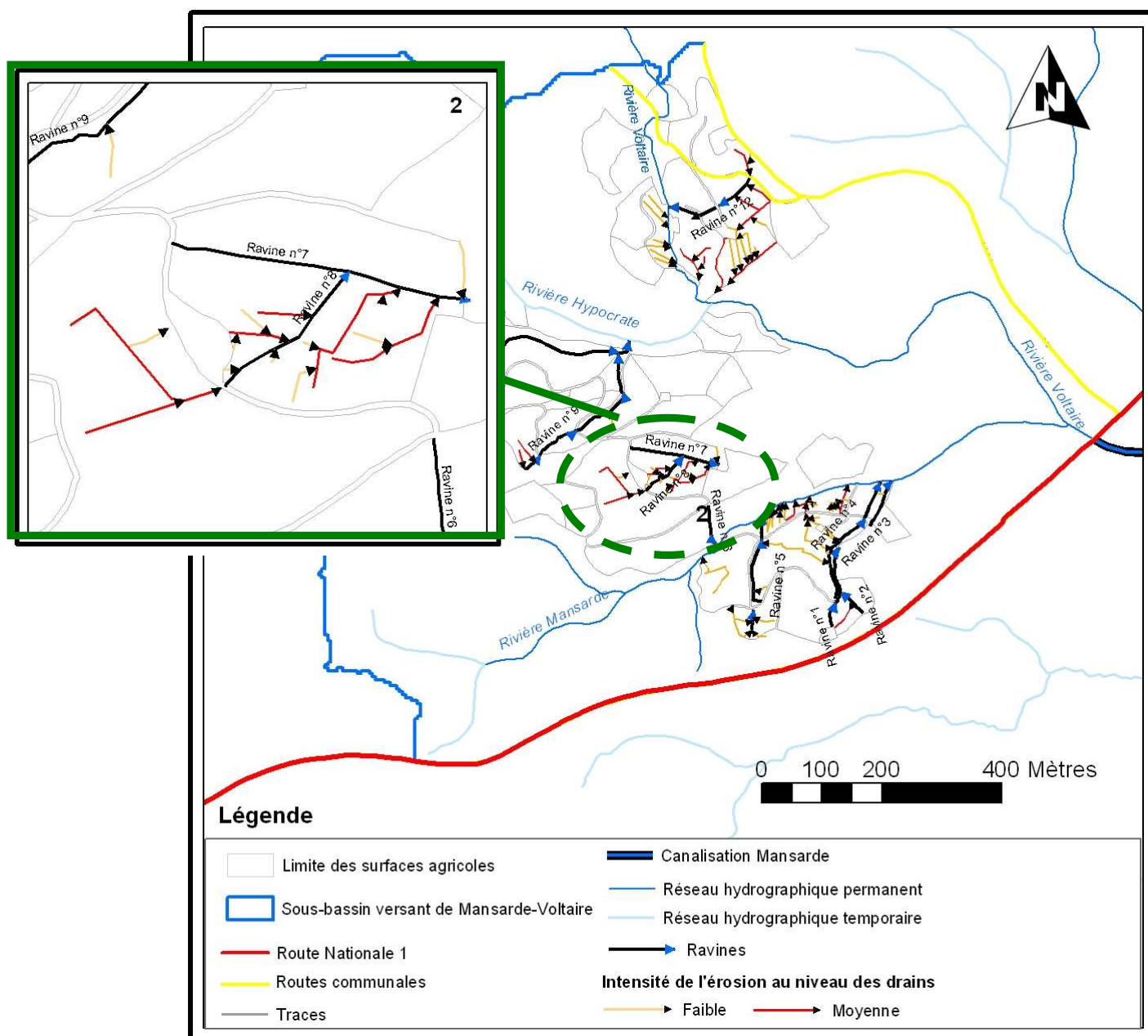
Plusieurs objectifs ont été définis dans le cadre de ce stage :

- produire des connaissances en matière de génie biologique
- mettre en place des micros barrages filtrants pour le piégeage de sédiments en ravine de bananeraies
- tester leur efficacité
- lancer des premières pistes de réflexion pour étendre la technique à d'autres exploitations

¹ L'annexe 2 présente les problèmes d'érosion du site par le biais d'illustrations, ainsi que les pratiques culturales.



Photo 1 : Photographie de l'habitat diffus sur les mornes en amont des bananeraies



Carte 10 : Localisation de la ravine LAVERNE

→ Ainsi en premier lieu, une étude bibliographique a été réalisée en vue de s'imprégner du sujet : définition du phénomène d'érosion, prospections sur les méthodes de lutte anti-érosives existantes en génie végétal et réflexion sur leur efficacité et leur adaptabilité à la zone d'étude.

Puis, une partie technique expliquant le dispositif est proposée avec un choix de barrages réalisé suite à l'étude bibliographique et de la connaissance du terrain.

I. Généralités sur l'érosion

A. Définition

L'érosion de surface réunit tous les processus qui affectent, sur une faible profondeur, les sols, les formations superficielles et/ou le substratum géologique.

1. L'érosion hydrique

L'érosion qui est essentiellement due à l'action des eaux courantes est appelée « **érosion hydrique** ». Elle comprend des formes de ruissellement et de petites coulées boueuses de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur, mais elle exclut tous les grands mouvements de terrain qui peuvent avoir des profondeurs de plusieurs mètres.

Elle comprend deux phases qui se succèdent :

- la première phase correspond à l'ablation du substrat ;
- la deuxième correspond au transport et au dépôt de sédiments érodés. [28]

2. Les principaux agents érosifs

L'intensité des précipitations et le ruissellement doivent être considérés lors de l'évaluation d'un problème dû à l'érosion hydrique.

- L'intensité des précipitations

L'éclaboussement du sol par les gouttes de pluie est habituellement le plus fort et le plus évident lors d'orages de courte durée et de grande intensité. L'impact des gouttes de pluie (effet splash) peut alors détache les particules briser les agrégats et disperser les particules de sol qui seront maintenues en suspension par turbulence et emportées par le ruissellement. [41]

- Le ruissellement

Le ruissellement apparaît lorsque l'eau des précipitations ne s'infiltre plus dans le sol. Deux principes expliquent la genèse du ruissellement. On parle de ruissellement « Hortonien » lorsque le ruissellement naît parce que l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol. On parle en revanche de ruissellement par saturation lorsque le ruissellement est dû à des précipitations qui tombent sur un sol saturé en eau, et donc incapable d'en infiltrer plus. En Martinique, ces deux phénomènes coexistent. [23]

Les processus d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu	Les zones affectées en Martinique
Erosion en nappe : Formes : pellicule de battance ou de sédimentation. « demoiselle coiffée »	Battance des gouttes de pluie (énergie cinétique des gouttes)	1° le couvert végétal, 2° la pente, 3° le sol, 4° les techniques et structures antiérosives.	Surfaces agricoles et zones de sol nu (travaux)
Erosion linéaire Formes : griffes, rigoles, ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et du carré de sa vitesse	1° la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, 2° le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de, 3° la capacité d'infiltration, résistance du profil du sol et des racines.	Surfaces agricoles, zones péri-urbaines, zones naturelles (bois, savanes, etc.)

Paramètres	Exemple	Fonction associée
Témoin des formes d'érosion		
<i>Erosion en nappe</i>	Micro demoiselle coiffée Croûte de battance	Emission de particules solides
<i>Erosion linéaire</i>	Griffes (profondeur de 0 à 10 cm) Rigoles (prof. de 10 à 50 cm)	

Tableau 1
Description des principales formes d'érosion rencontrées en Martinique (Pinte, 2006) [23]

B. Les différentes formes d'érosion hydrique

La forme d'érosion « universelle » que l'on rencontre sur un grand nombre de surfaces et qui correspond également au stade initial de la dégradation des sols, est l'érosion en nappe.

1. L'érosion en nappe

La cause de l'érosion en nappe est l'énergie cinétique des gouttes de pluies, qui arrache des particules de terres au niveau des agrégats du sol. Ces particules sont d'abord transportées par effet « splash » à proximité de leur lieu d'arrachage puis elles sont reprises par le ruissellement en nappe. L'érosion en nappe a un effet érosif maximal au sommet des versants ou à l'aval d'un obstacle. [23]

L'érosion en nappe est liée à 2 mécanismes :

- Le détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies (effet splash).
- Le ruissellement lorsque l'intensité devient supérieure à la vitesse d'infiltration.

Le principal facteur qui limite l'érosion en nappe est la couverture végétale. Etant donné le développement de la végétation sous climat tropical humide, les principales surfaces affectées sont les surfaces agricoles. En effet, les sols cultivés passent souvent par différents états de couverture au cours des cycles culturels. [23]

2. L'érosion linéaire, en griffe ou en rigole et formation de ravine

L'érosion linéaire apparaît lorsque l'érosion en nappe s'organise, ou quand un flux concentré d'eau en provenance d'une surface amont arrive sur une surface aval et augmente la force de cisaillement du flux sur des sols fragilisés. Selon Roose (1994) cité dans [41], on distingue les formes d'érosion linéaire en fonction de leur profondeur. On parle de griffes lorsque les canaux ont quelques centimètres de profondeur, de rigoles lorsqu'ils dépassent 10 cm de profondeur et de ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de centimètres (plus de 50 cm).

La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires. Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion et peut transformer le paysage en "badlands". [24]

Par rapport à l'érosion en nappe qui affecte de grandes surfaces, l'érosion linéaire est plus localisée. Si on rapporte les pertes en terre à l'hectare, l'érosion linéaire est en revanche plus importante. En dehors de la perte nette de sol engendrée par l'érosion linéaire, ce sont les dégâts qu'elle provoque qui sont beaucoup plus spectaculaires que ceux occasionnés par l'érosion en nappe. Ce sont d'ailleurs les seuls problèmes d'érosion pointés du doigt par les agriculteurs. En effet, les ravines sapent les traces et entaillent les parcelles, gênant ainsi fortement leur travail. [23]

Formes d'érosion	Ablation de terre (en tonnes/ha/an)	Illustration de la forme d'érosion
Erosion en nappe	1 à 5	Photo 1 : Témoin d'érosion en nappe (micro demoiselle coiffée)
Erosion linéaire		
- griffes	5 à 10	Photo 2 : Griffes d'érosion sur un talus
- rigoles	10 à 100	Photo 3 : Rigole d'érosion dans une bananeraie
- ravines	100 à 500	Photo 4 : Ravine dans une bananeraie

Tableau 2 : Ordres de grandeurs des pertes de sols causés par les principales formes d'érosion hydrique (Pinte, 2006) [23]

Dans le cas de la Martinique, il convient de faire un point particulier sur les ravines qui ont une signification beaucoup plus large. Le terme de ravine est employé pour distinguer les éléments du réseau hydrographique qui ont un écoulement temporaire (seulement pendant la saison des pluies) des rivières permanentes. La limite entre rivière et ravine reste floue car il arrive que certaines ravines coulent toute l'année. Sur le bassin versant de la baie du Robert, on peut noter ainsi le cas de la ravine Gaschette qui a un écoulement permanent (sauf sécheresse extrême).

C. Indicateurs de vulnérabilité à l'érosion

1. L'érodibilité

L'érodibilité s'intéresse à l'aptitude d'un sol à résister aux processus érosifs (battance et entaille par le ruissellement). Cette érodibilité est fonction de diverses caractéristiques pédologiques. [23] Les sables, loams et autres sols loameux tendent à s'éroder moins que les limons, sables très fins et certains sols argileux.

Le travail du sol et les façons culturales qui tendent à abaisser la teneur du sol en matière organique, à dégrader la structure du sol et à le compacter, contribuent à augmenter la susceptibilité du sol à l'érosion. Une couche de sol compactée peut aussi réduire l'infiltration et augmenter le ruissellement. La réduction de l'infiltration peut aussi être causée par la formation d'une croûte qui tend à sceller la surface. A certains endroits, cette croûte réduit les pertes de sol par éclaboussement et érosion en nappe, mais le ruissellement qui l'accompagne peut provoquer des problèmes de ravinement.

2. La topographie

Selon Pinte [23], le facteur topographique va intervenir à double niveau dans la conception de l'indicateur :

- ☐ Avec le paramètre d'inclinaison de la pente (en pourcentage).

Il est bien entendu que, plus la pente est raide, plus l'eau érodera le sol. Ce paramètre intervient dans la formation de l'érosion superficielle en général.

- ☐ Avec le paramètre « accumulation de l'écoulement » qui lui intervient pour modéliser la vulnérabilité à l'érosion linéaire.

L'érosion hydrique augmente donc aussi avec la longueur de la pente à cause de l'augmentation du ruissellement.

3. Végétation

L'efficacité du couvert de végétation et de résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et

de l'éclaboussement, tendent à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permettent une meilleure infiltration. [23]

D. Effets néfastes de l'érosion

1. Effets néfastes de l'érosion là où elle se produit

Les répercussions de l'érosion des sols vont au-delà de la perte du sol de la couche arable. La levée des plantes, leur croissance et leur rendement sont directement affectés par la perte d'éléments nutritifs du sol et des engrais qui y sont appliqués. La semence et les plantes peuvent être dérangées ou totalement transportées hors du lieu où se produit l'érosion.

La qualité du sol, sa structure, sa stabilité et sa texture peuvent être affectées par l'érosion. Le morcellement des agrégats, le déplacement de particules fines, de couches entières de sol ou de matière organique peuvent détériorer la structure et même modifier la texture. Tout changement de texture peut à son tour affecter la capacité de rétention d'eau du sol le rendant alors plus susceptible aux conditions extrêmes telle que la sécheresse.

2. Effets néfastes de l'érosion hors du lieu où elle se produit

L'impact de l'érosion des sols sur les sites plus éloignés n'est pas toujours aussi apparent que celui sur le site même de l'érosion. Le sol érodé, déposé au bas des pentes, peut empêcher ou retarder l'émergence de la semence, enterrer les jeunes pousses et nécessiter un deuxième semis dans les endroits affectés. Les sédiments peuvent se déposer sur les propriétés en aval et occasionner des dommages aux routes.

Les sédiments qui atteignent les cours d'eau peuvent accélérer l'érosion des talus, ensabler les fossés de drainage et les cours d'eau, envaser les réservoirs, couvrir les zones de fraie et réduire la qualité de l'eau. Les pesticides et engrais fréquemment transportés avec les particules de sol peuvent contaminer ou polluer les sources d'eau et les sites récréatifs. A cause des répercussions de l'érosion sur certains sites en aval, le contrôle de la pollution à l'échelle de vastes étendues agricoles prend de plus en plus d'importance.

→ Le ravinement ou les différentes formes d'érosion peuvent être prévenus grâce à l'usage de mesures visant à maîtriser l'érosion.

Différentes études portant sur le génie végétal ont été entreprises afin de trouver des moyens de lutte contre l'érosion.

Pour proposer une gestion optimale des problèmes d'érosion par le génie écologique, il faut connaître au mieux l'influence de la végétation dans la maîtrise de l'érosion.

II. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface

Plusieurs études ([21] et [1]) ont montré que la végétation peut exercer non seulement un rôle de protection des sols qu'elle recouvre et qu'elle fixe, mais également contribuer à une action de piégeage de sédiments à l'amont d'obstacles végétaux.

A. Les mécanismes d'action de la végétation

La végétation peut intervenir contre l'érosion de deux manières principales [38]:

- d'une part elle peut empêcher l'érosion de se produire, jouant ainsi un rôle de protection « active » contre l'érosion,
- d'autre part elle peut retenir les sédiments érodés à l'amont, jouant alors un rôle « passif » ou « à distance » contre l'érosion

1. Protection active contre l'érosion : limiter l'ablation du substrat

La végétation protège les sols de l'érosion de manière active par protection contre les agents érosifs [17] et fixation des sols [6]

- La végétation permet de réduire l'énergie de l'érosion pluviale en jouant un rôle d'interception des gouttes de pluie, grâce aux parties aériennes des plants [28]. Par son couvert, la végétation joue ainsi un rôle de protection mécanique : elle permet de diminuer l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de réduire l'effet de splash (Geddes et al, 1999) cité dans [28].
- Au sol, la végétation permet de lutter contre le ruissellement, en augmentant l'infiltration de l'eau (Cerdeira, 1998) cité dans [28]. De plus, la végétation améliore les propriétés physiques et chimiques des sols. Les sols sont plus poreux et favorisent, de ce fait, l'infiltration de l'eau. Ils sont alors à même de stocker de plus grandes quantités d'eau, jouant un rôle d'éponge, plus ou moins important selon l'état de saturation des sols. La régulation hydrologique jouée par la végétation, a ainsi pour effet de diminuer la quantité, la concentration et le débit du ruissellement (Combes, 1995) cité dans [28].
- La végétation permet également de lutter contre l'érosion par fixation des sols grâce aux systèmes racinaires [12]. Les végétaux permettent en effet d'améliorer la cohésion des sols et donc de renforcer leurs propriétés mécaniques [22]
- La végétation permet de capter et retenir l'humidité des sols limitant alors les phénomènes de « dessiccation/humectation », phénomène fragilisant les sols et les rendant plus friables et donc plus apte à se détacher.
- Les végétaux permettent également de diminuer l'effet du vent sur la mobilisation des sédiments érodés [19]

2. Protection passive contre l'érosion : le piégeage des sédiments et donc limitation du transport des particules érodées

La végétation peut exercer un effet favorable sur la sédimentation des particules, grâce à des processus de piégeage et de rétention d'une partie des sédiments érodés à l'intérieur d'un bassin versant. Lee et al. [15] ont montré qu'il existe un effet de filtration des écoulements au travers de la végétation. Ces écoulements déposent les sédiments par suite de la réduction de leur énergie de transport. Bien que Beuselinck et al. [4] aient montré que la végétation est davantage susceptible de piéger les sédiments fins, d'autres études [18] ont montré que les sédiments grossiers pouvaient également être piégés par des obstacles végétaux. Des dépôts ont ainsi été observés à l'amont de barrières végétales, sur des pentes plus fortes que celles sans végétation [5].

Van Dijk et al. [37] ont montré qu'il existe un effet de filtration des écoulements au travers de la végétation. Ces écoulements déposent les sédiments suite à la réduction de leur énergie de transport. Des dépôts ont ainsi été observés à l'amont de barrières végétales [33], sur des pentes plus fortes que celles sans végétation [5]

Les sédiments ainsi retenus par les obstacles végétaux créent de petits atterrissements qui sont favorables à la mise en place spontanée d'une végétation colonisatrice stabilisant le sol. [13] Rey et al 2005, [41] ont évalué la capacité de la végétation naturelle à se maintenir dans ces dépôts de sédiments. Il a observé une colonisation spontanée les deux premières années après la mise en place d'un tel dispositif.

Les végétaux constituant l'obstacle végétal peuvent également se développer au contact des sédiments atterris arrivant au niveau de l'obstacle après chaque phase de ruissellement, colonisant ainsi les sédiments piégés. [28]

Cette dynamique végétale naturelle peut permettre d'une part de retenir durablement les sédiments piégés grâce au développement des systèmes racinaires, d'autre part d'augmenter la capacité de piégeage des obstacles végétaux [27]. En conséquence, à l'intérieur des bassins versants, de grandes quantités de sédiments érodés sont piégées et ne rejoignent pas l'exutoire des bassins ([4]; [26]).

B. Efficacité des différentes formations végétales

L'effet de la végétation peut être différent selon les formations végétales ; il peut dépendre du type de végétation ou de l'utilisation du sol. Certains auteurs affirment que la forêt constitue la meilleure protection contre l'érosion hydrique de surface en montagne (Kim, 1998) cité dans [28].

D'autres auteurs ont observé qu'une couverture arbustive ou une végétation basse peut offrir une protection similaire à celle jouée par des arbres (Francis, 1990) cité dans [28].

Le rôle de la couverture herbacée est souvent dénigré, alors que, bien souvent, elle peut être très efficace pour lutter contre l'érosion hydrique de surface.

L'herbe – ou le gazon – présente notamment la particularité de bien recouvrir le sol et ainsi d'offrir de bonnes possibilités de stockage d'eau en profondeur [10]. Son action peut être optimale en mélange avec une formation arborée, les arbres permettant de dessécher les couches profondes, tandis que les herbes maintiennent la couche superficielle du sol. Dans les géofaciès où les ligneux n'ont pas lieu d'être (pistes de ski), ou ceux où les arbres sont à proscrire (grands mouvements de terrain ou certaines berges de cours d'eau), l'herbe peut représenter la solution adéquate. Certains auteurs (White, 2000) cité dans [28] ont même observé une augmentation de l'érosion sur des terrains où une couverture herbacée avait été remplacée par une couverture arbustive. Ils expliquent cela par une moindre résistance des ligneux bas au ruissellement diffus. Toutefois, on doit constater qu'en contexte torrentiel, la couverture herbacée est bien souvent insuffisante pour lutter efficacement contre l'érosion concentrée. Il apparaît donc que, suivant le type de ruissellement, l'herbe ne constitue pas la meilleure solution pour lutter contre l'érosion linéaire.

Selon Brisbane [42], les couvertures forestières sont celles qui retiennent le mieux la terre du fait de leur enracinement important en comparaison avec les autres formes de couverture.

L'utilisation de haies végétales sur terrasses pour favoriser la sédimentation a souvent été testée avec succès. Les haies végétales de vétiver (*Vetiveria* sp.) ont notamment souvent montré leur efficacité pour le piégeage des sédiments [9]. Ce piégeage a également été observé sur les berges des cours d'eau. Les accumulations de sédiments permettent alors de renforcer la stabilité des berges [36]

Sassa [34] explique que des racines pénétrant à 50 cm dans un sol peuvent doubler la consolidation de ce dernier. Cet effet de renforcement des sols grâce aux systèmes racinaires a également été mis en évidence sur les berges végétalisées des cours d'eau (Abernethy, 2000) cité dans [28].

A ce titre, le vétiver (*zizanioides vetiveria*, (L)) , qui possède un système racinaires spongieux , s'illustre en termes d'efficacité. En effet, d'après(A), le dernier manuel de la banque mondiale, le système végétal de la plante qui se caractérise par un tallage important, réduit la vitesse de la lame ruisselante lors du phénomène d'érosion hydrique et retient la charge de terre et d'autres sédiments, en toute souplesse. Puis, la plante se talle, et au fur et à mesure des dépôts de terre, une terrasse naturelle se forme. Avec le système, la terrasse devient une caractéristique permanente du paysage. Le vétiver est présenté comme étant la plante idéale pour le système végétal de conservation des sols et de l'humidité au niveau des champs cultivés. Son efficacité résiderait dans le développement exceptionnel de ses racines

filamenteuses qui s'enroulent autour de la plante, jusqu'à une profondeur atteignant 3-4 mètres. En formant un rideau souterrain dense, ses racines empêchent la formation de ruisselets, de rigoles et de tunnels, et craquages. Ces derniers étant d'après [31], les principales causes d'affouillement des dispositifs sommaires utilisant des boutures principalement.

C. Importance du taux de couverture végétale

L'effet de la couverture végétale sur l'érosion hydrique de surface a pu être mis en évidence par comparaison entre des terrains diversement végétalisés. Il est souvent admis que, sur un versant partiellement végétalisé, les zones dénudées peuvent être soumises à l'érosion, alors que les zones végétalisées sont protégées [25]. Des études menées à l'échelle du bassin versant ont montré qu'en général l'érosion diminue quand la couverture végétale augmente [3]. Des résultats similaires ont été obtenus sur des surfaces plus réduites, celles du versant de quelques ares par exemple (Carroll, 2000) cité dans [28]

À l'échelle de ravines marneuses de surface inférieure à un hectare, Rey [26] a montré que la distribution spatiale de la végétation au sein de ces ravines est importante pour la réduction de la production sédimentaire à leur exutoire, en raison de l'existence de processus de piégeage des sédiments marneux par des barrières ou couvertures végétales. Des ravines de même couverture végétale totale peuvent avoir des productions sédimentaires très différentes et il est possible d'obtenir une production sédimentaire nulle à l'exutoire d'une ravine, avec seulement 33% de couverture végétale. Une valeur de 40% a été avancée par McIvor et al. [16] comme couverture végétale minimale à maintenir ou installer sur des terrains érodables pour une maîtrise significative de l'érosion.

Rey [26] a montré que, sur une zone marneuse en érosion de surface inférieure à 500 m², un obstacle végétal recouvrant 20% de cette zone et situé entièrement à son aval peut permettre de maîtriser complètement la sortie de sédiments de celle-ci.

Rovéra et al. [30] ont, quant à eux, pu observer un piégeage à l'amont de touffes herbacées, qui est fonction de la grosseur et de la densité des touffes. Le piégeage s'observe dès que la couverture végétale, composée d'herbacées et de ligneux bas, dépasse 50% de recouvrement au sol, jusqu'à des pentes de 30–35°. Avec une couverture encore plus dense, le piégeage est davantage pérenne (au-delà de trois ans).

D'autres études ont démontré qu'une couverture végétale complète n'est pas indispensable pour obtenir une production sédimentaire nulle ou très faible à l'exutoire d'un bassin versant hydrologique défini. La distribution spatiale de la végétation est alors particulièrement importante. Ainsi, en terme de gestion, il n'est pas nécessaire d'installer une couverture végétale complète sur un bassin versant hydrologique

dégradé pour parvenir à stopper la production sédimentaire à son exutoire, de même qu'il n'est pas indispensable de maintenir une couverture végétale complète sur les bassins recouverts d'une couverture végétale protectrice totale (Rey, 2002) cité dans [41]

D'ailleurs, plusieurs études ont montré que la production sédimentaire de bassins ou de versants diversement végétalisés ne variait pas de façon linéaire avec la couverture végétale ([29]; [16]).

Ce mode d'action particulier de la végétation peut être utilisé pour proposer des stratégies optimales pour la maîtrise de l'érosion et de la production sédimentaire des bassins versants hydrologiques. En particulier, il n'est pas nécessaire d'intervenir sur la totalité d'un bassin versant – en revégétalisation ou en gestion forestière – pour garantir une faible de la production sédimentaire à l'exutoire de ce bassin.

F. Rey et al. (2002a) [26] ont mis en évidence qu'une surface minimale de tapis végétal est suffisante pour être efficace ; il suffit que 20 % de la superficie d'une topographie ravinée dans des marnes soient couverts de végétation dans sa partie aval pour que le transit de débris soit arrêté.

Les nombreuses références bibliographiques présentées dans cet article plaident en faveur d'un rôle important joué par la végétation contre l'érosion hydrique de surface. Elles soulignent l'importance, au delà de la simple prise en compte du couvert végétal total, de la répartition du couvert végétal sur le terrain, du type de couvert et du type d'action de la végétation sur les différents processus érosifs.

Cette efficacité de la végétation peut être mise à profit dans la lutte contre les phénomènes érosifs.

Cependant, l'installation d'une couverture végétale sur des terrains érodés doit faire appel à des techniques de génie biologique (par exemple, [35]). L'efficacité de ces techniques est elle-même abondamment étudiée par la communauté scientifique [28].

Cette couverture végétale protectrice peut être utilisée dans les régions érodées utilisant des techniques de génie végétal basées sur des pratiques courantes de génie biologique

→ Ces différents résultats ont été repris par la technique du génie végétal afin de mettre en place des ouvrages permettant de stabiliser et d'aménager les berges et réduire ainsi l'érosion.

Les connaissances actuelles concernant les interactions végétation-érosion vont permettre de proposer des hypothèses sur les actions optimales que peut jouer la végétation contre l'érosion. Les résultats pourront être appliqués au développement ou à l'amélioration d'outils d'aide à la gestion du risque de ravinement et au contrôle de l'érosion par des ouvrages de génie écologique.

Ceci peut avoir un intérêt important pour la gestion optimale des problèmes d'érosion par le génie écologique. Si ces processus de piégeage ont bien lieu et que les sédiments sont durablement retenus dans les bassins versants, cela signifie que les zones en érosion produisent des sédiments qui peuvent ensuite être piégés à l'amont des barrières végétales.

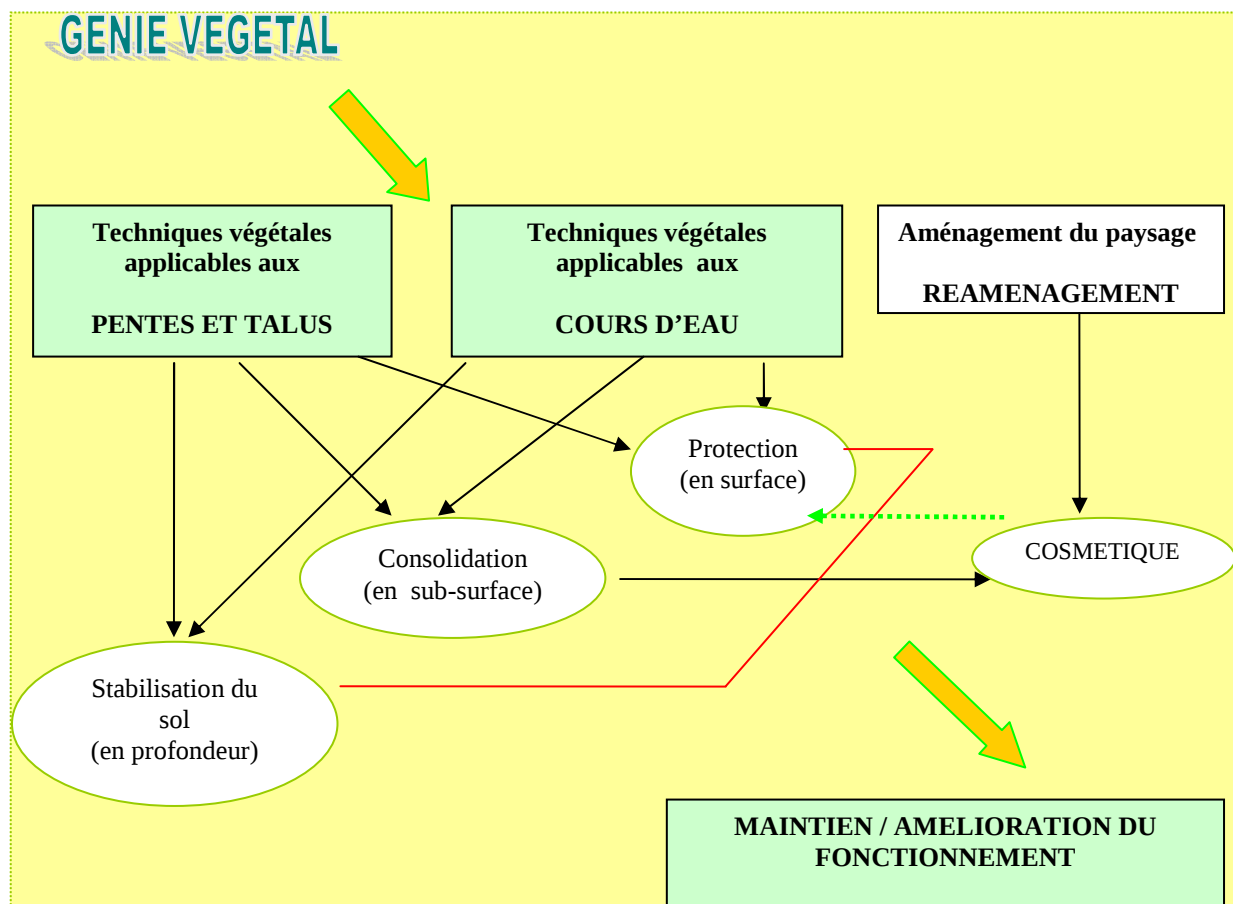


Figure 3
Domaines et but du Génie Végétal d'après Lachat, B.2000

III. Le génie végétal

A. Définition

Le génie végétal se définit comme l'ensemble des techniques et interventions visant à favoriser l'installation ou le maintien d'une couverture végétale à rôle de protection, ici contre l'érosion. Ces techniques exploitent les capacités naturelles du végétal (sa croissance et son développement) afin que la végétation prédomine sur la dynamique de l'érosion et le contrôle [7].

L'objectif majeur du génie végétal est d'apporter des solutions au problème d'érosion hydrique, en ayant recours à des méthodes particulièrement respectueuses de l'environnement. De plus, le but de toutes les techniques végétales employées est :

- d'offrir une solution efficace en termes de protection des sols (érosion, glissement de terrain, etc.)
- d'engendrer un coût de réalisation raisonnable, dont le montant soit à la mesure du problème constaté et des avantages procurés.

Des expériences dans un bassin de captage dans le Saïgon ont montré que de telles techniques permettaient de retenir efficacement des sédiments et favorisaient ainsi la protection passive contre l'érosion [7]

B. Domaines d'application et objectifs

Les techniques du génie végétal sont applicables aux domaines d'activité suivants :

- **Implantation d'une couverture végétale sur des sols nus ou dégradés (talus, chantiers...)**
- **Stabilisation de berges et talus**
- **Réhabilitation de ravines**

C. Avantages et limites

Les végétaux sont avant tout utilisés pour leurs rôles biologiques bien mis en évidence par Maridet (1994) cité dans [14], et leurs fonctions biotechniques ([11], [20]). L'intérêt des plantes se situe à la fois au niveau de :

- l'absorption des contraintes mécaniques du sol
- la stabilisation du sol au moyen des racines
- le drainage du sol par évapotranspiration et formation de cavités
- la protection du sol contre les contraintes météorologiques (vents violents, ensoleillement excessif, glissements de terrain, etc.)
- amélioration du sol en substances humiques.

1. Avantages

Les avantages de l'utilisation des plantes vivaces à la place de matériaux de construction inertes (comme des enrochements) sont multiples. Tout d'abord, au fur et à mesure du développement des plantes qui sont vivaces, les techniques végétales acquièrent une efficacité de stabilisation croissante. En effet, leur résistance aux forces d'arrachement est comparable, voire supérieure après plusieurs années, aux techniques minérales habituelles. Les plantes vivaces opposent une résistance souple aux forces du courant, ce qui permet de mieux dissiper l'énergie, en particulier en cas de crue. De plus, elles favorisent l'autoépuration du cours d'eau au niveau des racines sans perturber les relations entre le cours d'eau et les nappes phréatiques. Par ailleurs, elles sont très souples dans leur application Technique douce sans intervention d'engins lourds

Aussi, de par leur grande diversité, elles offrent des possibilités de combinaison avec d'autres matériaux auxiliaires (bois, géotextiles, etc.) leur donnant une capacité d'adaptation et de modulation qui permet de répondre à chaque cas particulier.

De plus, ces ouvrages supportent bien les étiages (cas d'une ravine temporaire), sont efficaces dès la première année (rechercher les références biblio) et s'intègrent dans le site ce qui atténue leur impact environnemental.

De plus, la présence des plantes vivaces contribue à conserver et à restaurer le patrimoine paysager et génétique d'une région. Au niveau des milieux aquatiques, elles permettent de maintenir et de restaurer une grande diversité botanique et son corollaire, une diversité faunistique par la variété de supports et d'habitats qu'elles offrent, du lit des cours d'eau, jusqu'aux rives. Les plantes vivaces entretiennent donc la biodiversité. En outre, elles fournissent l'ombre nécessaire pour maintenir la fraîcheur de l'eau tout en limitant la croissance de plantes aquatiques envahissantes (telles que les algues filamenteuses).

Peu coûteux en fournitures, ces matériaux de base peuvent le plus souvent être prélevés sur place. De plus, après quelques années de croissance, les ouvrages sont eux-mêmes susceptibles de fournir le matériel végétal (branches, pieux, boutures etc.) nécessaires à leur réfection ou à la réalisation d'autres ouvrages. Sur le plan économique, le génie végétal génère des coûts inférieurs à ceux du génie civil (enrochement).

Ce résultat montre qu'il est possible de retenir des sédiments grâce au génie biologique, ceci dès la première année d'installation des ouvrages

L'étude a également montré la rapidité des effets de deux types d'ouvrages de génie biologique (cordons sur fascines et cordons avec garnissages sur fascines) ayant retenu des sédiments dès la première année de leur installation.

2. Limites

Bien que fort avantageuse, l'utilisation des techniques végétales comporte certaines limites majeures. Il existe des facteurs limitant liés directement aux conditions de croissances des végétaux (altitude, lumière, type de substrat, régime des eaux, etc.). D'autres facteurs limitant rendent problématique le recours aux techniques végétales, tels que la présence d'un substrat rocheux, la limite altitudinale de la végétation, un régime torrentiel, une pente de cours d'eau et une énergie élevée. Les aménageurs spécialistes admettent suite à l'analyse du comportement d'ouvrages lors d'évènements exceptionnels, une limite d'utilisation des techniques végétales est admise à partir d'une pente de cours d'eau de 3 % sous 1 m de hauteur d'eau.

D'autres limites secondaires sont à distinguer :

- l'efficacité de la stabilisation n'est pas maximale dès la finition de l'ouvrage. Mais, il est possible d'augmenter les limites inférieures par l'utilisation de géotextiles et par la mise en œuvre plus conséquente de moyens de fixation. Par ailleurs, les ouvrages peuvent nécessiter un entretien de la végétation après plusieurs années de mise en place, afin de limiter l'encombrement du gabarit du cours d'eau et de maintenir un état buissonnant de la végétation à certains endroits du cours d'eau;
- certains types d'ouvrages sont exigeants en main-d'œuvre, d'autant que les entreprises spécialisées et la main-d'œuvre qualifiée sont encore peu nombreuses à ce jour.

IV. Les actions de lutte contre l'érosion linéaire

Selon Lilin, Koohafkan, (1987), l'activité des petites ravines est très variable d'une région à l'autre en fonction du stade de dégradation atteint, et la distribution spatiale de la végétation sur une ravine est importante pour la réduction de la production sédimentaire à son exutoire.

Pour la fixation biologique des petites ravines, il fixe comme principe, l'intervention de l'aménageur de la ravine au niveau des tronçons amont, offrant plus de chances de réussite du fait d'une torrentialité moindre. Ainsi, les chances de réussir l'aménagement sont supérieures. De plus, l'opération sur ces secteurs, facilite le traitement de l'aval par la suite. Ce principe est aussi indiqué par Roose [32]. Il s'agit de stabiliser le profil en long de la ravine dans le secteur où le surcreusement a tendance à s'observer. Pour arrêter l'érosion régressive au niveau de la ravine, il faut la traiter en mettant en place des ouvrages qui retiennent surtout la partie du versant susceptible d'y descendre. On traite la ravine par des dispositifs empêchant à la fois, la poursuite du sapement des berges et le glissement de terrain dans la ravine. Le problème peut être résolu par le génie-végétal sur les zones traitées par un aménagement fonctionnel, avec un dispositif végétal opérationnel en place.

Pour lutter contre l'érosion en ravine par un moyen économique, on peut avoir recours à des techniques plutôt anciennes

On distingue le tressage, le peigne et les techniques qui reposent sur l'utilisation de boutures.

Il y a donc différentes formes de génie biologique pour différentes problématiques et lieux d'application.

A. Limiter le ruissellement sur le bassin versant de la ravine

Le tressage est une protection de pied de berge de faible hauteur (40cm au maximum), réalisée avec des branches entrelacées autour de pieux battus mécaniquement. Le résultat donnant un véritable « mur végétal » capable de résister à de fortes contraintes hydrauliques. Le tressage des osiers entre les pieux constituant à lui seul une protection mécanique immédiate.

Le clayonnage est une variante du tressage de hauteur supérieure à 40cm. Ne constituant pas à lui seul une technique de protection d'un talus en entier, il est souvent accompagné d'autres dispositifs de protection (boutures, couches de branches, ensemencement, plantations, etc.).

Le peigne est une protection de l'ensemble d'une berge par accumulation de végétaux grossiers au pied de berge, capables de piéger les éléments fins en suspension dans l'eau. Cette technique est adaptée au cours d'eau qui transporte beaucoup d'alluvions fines lors des crues. Elle est particulièrement efficace pour protéger les anses des cours d'eau, lutter contre les niches d'arrachement, les affouillements, les sapements de berges et les instabilités de pied.

B. Actions dans le lit de la ravine

Selon Rey, la végétation située dans les lits des ravines joue un plus grand rôle dans la maîtrise de l'érosion que la végétation située sur les versants ou les interfluves. [41]

Sur marnes, Rey [26] a observé que le piégeage de sédiments marneux peut avoir lieu grâce à l'action de barrières et de couvertures végétales constituées d'herbacées et de sous-arbustes, situées essentiellement dans le lit des ravines.

D'autres travaux réalisés par [7] ont à leur tour démontré l'efficacité des barrages filtrants dans le lit des ravines dans la rétention des sédiments. Des dépôts ont été observés à l'amont de chaque barrière. Une végétation a naturellement colonisé ces dépôts pouvant à leur tour améliorer la protection du sol contre l'érosion

Les ouvrages de génie biologique utilisés classiquement pour stabiliser des ravines sont à base de boutures, qui sont des parties ligneuses de végétaux sans feuillage ni racines. Elles sont généralement prélevées sur des saules (*Salix*) [39]. Le recours au bouturage permet un développement rapide de la couverture végétale sur des terrains érodés [2], offrant une couverture du sol efficace en terme de protection contre l'érosion. Ces ouvrages de génie biologique peuvent être accompagnés par des plantations, de l'enherbement (surtout avec la bauche) ou de l'engazonnement.

La dynamique végétale devrait alors, au cours des années suivant la plantation, entraîner le grossissement des boutures, augmentant ainsi la capacité de piégeage des ouvrages.

Il existe trois grands types d'ouvrages : les fascines, les cordons de boutures et les garnissages de boutures ([14]; [27]). Ils présentent des caractéristiques morphologiques différentes leur conférant un rôle spécifique dans la lutte contre l'érosion.

- La **fascine** est une petite barrière constituée de pieux derrière lesquels des boutures sont empilées sous forme de fagots. Rigide, elle s'oppose aux contraintes érosives et hydrologiques provoquées par des pluies intenses et les écoulements rapides qu'elles engendrent. Elle ne joue pas vraiment un rôle dans le piégeage des sédiments. La reprise des boutures doit essentiellement permettre d'augmenter l'ancrage de l'ouvrage dans le sol, au fur et à mesure que les pieux se dégradent.
- Le **cordon de boutures** est une simple rangée de boutures installées verticalement, donnant à l'ouvrage une structure linéaire. Placé perpendiculairement à la direction de transit des débris, il doit aboutir à

créer une barrière végétale permettant la formation d'une retenue de sédiments à son amont. Les boutures des cordons, installées de manière rapprochée, retiennent efficacement les sédiments [28].

- Le **garnissage** est un tapis de boutures qui exerce ses effets en surface. Les boutures peuvent être disposées verticalement ou obliquement. Le tapis végétal ainsi constitué joue non seulement un rôle de barrière mais également un rôle de brosse ou de filtre pour les sédiments et les eaux qui transitent sur toute sa surface. Les boutures des garnissages ont été capables de retenir les sédiments en augmentant la rugosité des lits de ravines, jouant en quelque sorte le rôle de peignes.

Un protocole expérimental effectué dans ce cadre a mis en évidence que les cordons avec garnissages, se révèlent plus efficaces que les cordons seuls. Dans un souci d'efficacité, il convient donc d'opter pour ce dispositif lors d'opérations de lutte contre le ravinement.

De par leur morphologie, les ouvrages de génie biologique ont une efficacité différente

- Pour le piégeage à court terme des sédiments, les **cordons de boutures** présentent une partie aérienne permettant de piéger, tel un peigne, les sédiments les traversant.
- Par contre, les **fascines, et les garnissages** ne permettent pas de piéger immédiatement des sédiments ; ce n'est qu'une fois la reprise des boutures engagée que ce rôle commencera.

Mais les fascines sont les ouvrages les plus adaptés, de par leur résistance, à la végétalisation des lits de ravine. Il apparaîtrait dès lors un moyen de combiner les avantages des cordons et des fascines, en construisant des « cordons sur fascines » : sur l'atterrissement de matériaux au-dessus de la fascine, il s'agirait de placer des rangées de boutures et de créer ainsi des haies végétales allant d'une berge à l'autre du lit.

Par ailleurs, l'utilisation de boutures dont le diamètre est supérieur à 2 cm est préconisée pour une meilleure résistance à la sécheresse

Les végétaux des strates herbacées et sous-arbustives qui sont situés dans les lits des ravines représentent les obstacles les plus efficaces. Ces derniers se présentent soit sous la forme de barrières végétales (obstacles linéaires) bloquant les sédiments à leur amont, soit sous la forme de tapis végétaux (obstacles surfaciques), à l'intérieur desquels les sédiments sont filtrés et retenus. [41]

C'est la présence de cette couverture végétale à l'aval de la ravine qu'il faut assurer pour envisager de manière optimale une inactivité à l'exutoire de la ravine. Les opérations de végétalisation par génie

biologique doivent ainsi s'effectuer dans les lits des ravines, puis sur les berges et éventuellement sur les bas de versant. Ainsi, il n'est pas nécessaire de végétaliser une ravine en entier pour stopper la production sédimentaire à son exutoire. La végétalisation des hauts et milieux de versant n'est pas indispensable : si ces zones amont sont érodées et produisent des sédiments, ces derniers seront stoppés par la végétation située à l'aval de la ravine et n'atteindront ainsi pas l'exutoire de celle-ci ; ces zones correspondent ainsi à des zones de « non-intervention ». Bien entendu, il faut que les barrières végétales permettant cette rétention des sédiments soient à terme suffisamment présentes. Un suivi et un entretien des ouvrages de génie biologique sont indispensables pour veiller à ce que la végétation occupe bien les zones-clés du lit de la ravine.

C. Accompagnement et gestion durable de l'écosystème réhabilité : le suivi et entretien des dispositifs de correction du ravinement

La dynamique végétale devrait alors, au cours des années suivantes, entraîner le grossissement des boutures, augmentant ainsi la capacité de piégeage des ouvrages. On devrait également assister à la colonisation progressive des sédiments piégés par des végétaux [13], point de départ d'une rétroaction positive qui aurait pour conséquence d'une part de retenir durablement les sédiments grâce aux systèmes racinaires, et d'autre part de renforcer l'obstacle végétal, contribuant à reporter vers l'amont un nouveau piégeage de sédiments. Toutefois, un barrage filtrant terminal, fermant les plages de dépôts en amont, devrait être mis en place pour créer une aire de stockage susceptible de recevoir des laves torrentielles provoquées par des ravinements exceptionnels ou des glissements de berges.

La protection contre l'érosion assurée par les végétaux installés va être effective jusqu'au vieillissement – et donc à la déstabilisation – de ces végétaux. La durabilité de la protection contre l'érosion à long terme va dépendre de la pérennité de la couverture végétale. Des reprises d'érosion suite à une déstabilisation des installations peut être envisagée dans certaines ravines, ce qui pourrait avoir des répercussions sur les productions sédimentaires aux exutoires des bassins versants.

Aussi, le suivi de la fonctionnalité des ouvrages réalisés pour limiter l'érosion hydrique est nécessaire pour le maintien de leur efficacité. En effet, comme l'ont montré les travaux de l'ONF relatifs à la protection antiérosive et revégétalisation assistée d'un versant décapé du Parc de la Caravelle, « l'érosion hydrique reprend de plus belle quand les pièges à sédiments (planches) sont saturés (de sables).

La couverture végétale doit donc être pérennisée pour assurer une protection **durable** contre l'érosion.

V. Adaptation au contexte local des mesures préventives d'érosion

Le site d'étude est un lieu fortement soumis à l'érosion. On se propose donc de tester la mise en place de micro-barrages filtrants sur la limitation du flux de particules de terres. Sur ce type de ravine temporaire en bananeraies, la mise en place seule d'ouvrages de génie végétal n'est pas suffisante, il faut qu'elle soit associée à d'autres mesures. Plusieurs préconisations pour limiter l'érosion sont proposées aux agriculteurs, elles sont listées ci-dessous.

- Favoriser l'infiltration de l'eau dans les sols

Pour limiter le ruissellement il convient de favoriser la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol. En effet, les plantations étant en place pour de longs cycles de culture, (parfois les bananeraies ne sont pas replantées avant 8 ans), et les travaux réalisés ne concernent plus le travail du sol. Cette réalité implique un tassement du sol qui lissé ne favorise pas l'infiltration de l'eau. Il importe, donc, en cycle de culture d'améliorer la porosité structurale du substrat. Le passage dans les andains de matériels léger, sur sol ressuyé devrait y contribuer. Les exploitants en profiteraient pour incorporer au sol les débris végétaux, qui enfouis amélioreront d'autant la fraction humique du sol, elle même améliorant sa fertilité.

- Couvrir le sol après les travaux de préparation, lors de la mise en place des parcelles

Au niveau de l'itinéraire technique, le stade « plantation » est une phase où la couverture du sol est quasiment nulle (qu'il s'agisse de vitro plants, de baïonnettes ou de vieilles souches de bananiers). Aussi, lors de replantation de parcelles, il est important de veiller à couvrir le sol au niveau des pentes abruptes, jusqu'à un développement de la masse foliaire, offrant une couverture suffisante au sol. Au niveau des bananeraies avec des pentes trop abruptes les exploitants agricoles devraient veiller à planter les bananiers quelques mètres en retrait par rapport aux berges.

- durant le cycle du bananier, assurer une homogénéité de la répartition des vieilles feuilles de bananiers restituées au sol

En effet, les vieilles feuilles sont disposées traditionnellement, dans les andains. Cette pratique assure une couverture optimale des surfaces correspondantes au détriment d'espaces laissés sans protection (Voir conséquences observées sur le terrain : photo). Ces surfaces se trouvent exposées à l'énergie cinétique des gouttes de pluie, parfois sur un linéaire important avec déclivité. Dès lors, l'effet « splash » qui donne naissance à l'érosion en nappe, peut être renforcé par le ruissellement linéaire que la déclivité du terrain favorise. Dans ces conditions, le processus d'érosion est amorcé.

- maintenir une couverture végétale au niveau des berges

Concernant le traitement des parcelles contre les adventices, les pratiques observées consistent à éradiquer les mauvaises herbes, qui font concurrence au bananier pour les éléments fertilisants et l'eau principalement. Les traitements herbicides sont systématisés, au niveau des structures d'écoulement temporaire, des talus et des berges (le lit de la ravine étudié est épargné pour les besoins de l'étude en cours) à partir d'un certain stade de développement des adventices. Or, ces désherbages systématiques sont réalisés sans tenir compte de l'intérêt évident que présente certaines espèces à la fois en termes de couverture du sol, qu'en terme de support de vie pour une faune auxiliaire (Wedelia rubra, notamment qui tapisse le sol quoique de manière superficielle, 15 cm d'enracinement, est une espèce mellifère).

Le maintien d'une couverture végétale à ce niveau aurait l'avantage d'améliorer la cohésion du sol et sa résistance à l'effet splash. La stabilisation des ravines requiert l'entretien de ses abords.

- Envisager de mettre en place des zones tampons

La totalité de la superficie est plantée, les zones de bas fonds et les pentes fortes à l'amont de fossés (zones instables) sont mises en culture. Le port élevé du bananier associé à un poids de régime avoisinant les 25 kilos conduit à des chutes occasionnelles de souches de bananier dans les fossés. Ces pratiques favorisent le déchaussement des bananiers et la fragilisation des berges.

- Diversifier les productions de l'exploitation en ciblant des produits à forte valeur ajoutée (fleurs tropicales)

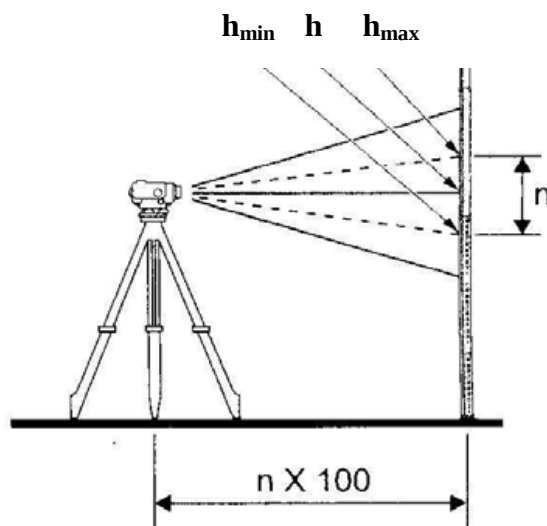
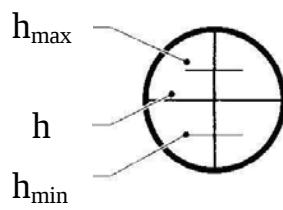
Dans cette optique ; le projet Pole d'excellence rurale qui appelle une augmentation de la production de fleurs tropicales offre des perspectives de débouchés. La proximité du client potentiel est un avantage supplémentaire confortant l'agriculteur dans cette voie.

→ Ainsi les mesures à mettre en place sont nombreuses. Il serra proposer dans ce rapport l'étude d'une de ces mesures, à savoir l'efficacité d'ouvrages de rétention de sédiments au niveau du lit de la ravine même.



Le niveau optique est un instrument de mesure permettant de calculer, par différence de hauteurs relatives, la dénivelée entre deux points.

Une personne va viser, à l'aide du niveau optique, la mire qui sera placée à l'endroit où l'on souhaite effectuer la mesure.



Le niveau est équipé d'un réticule stadia pour effectuer les mesures lors des différentes visées effectuées

la ligne stadia du milieu **h** permet de lire la hauteur

les lignes stadia supérieure et inférieure **h_{min}** et **h_{max}** permettent la mesure des distances :

$$n = h_{\min} - h_{\max}$$

$$d = n \times 100$$

Figure 4 : principe du niveau optique

Partie 3 : Test d'une technique de réhabilitation de la ravine

Cette partie présente un essai de réhabilitation de la ravine Laverne par les techniques de génie végétal, à savoir la mise en place de micro-barrages filtrants. Une première étape est consacrée à la description détaillée de la ravine étudiée.

I. Etude préliminaire topographique et floristique du site

A. Etude des caractéristiques physiques de la ravine à réhabiliter :

Pour évaluer, l'influence de la mise en place de barrages sur la limitation de l'érosion, il est nécessaire de faire un état initial du site. Il a donc été convenu de réaliser un premier profil en long de la ravine. Ce profil sera refait en fin de saison des pluies pour voir l'évolution du lit de la ravine suite aux aménagements.

De plus ce profil détaillé permettra de localiser précisément les zones de dépôts existantes, les espèces végétales en place et surtout de définir les emplacements des barrages.

Principe du niveau :

Le niveau optique est un instrument de mesure permettant de calculer, par différence de hauteurs relatives, la dénivelée entre deux points. Les méthodes de mesures sont de deux types :

- on parle de nivellement lorsque que le niveau est fixe et que la mire (grande règle graduée) est placée en différents points pour le suivi de la dénivelée,
- on parle de nivellement par cheminement lorsqu'on déplace le niveau en deux points pour mesurer la différence de hauteur, comme illustré sur la figure ci dessous.

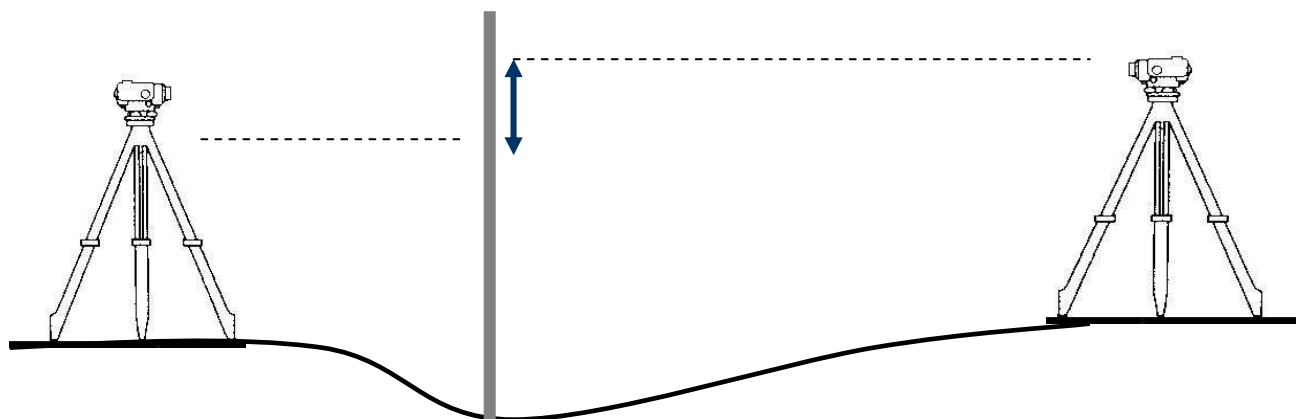
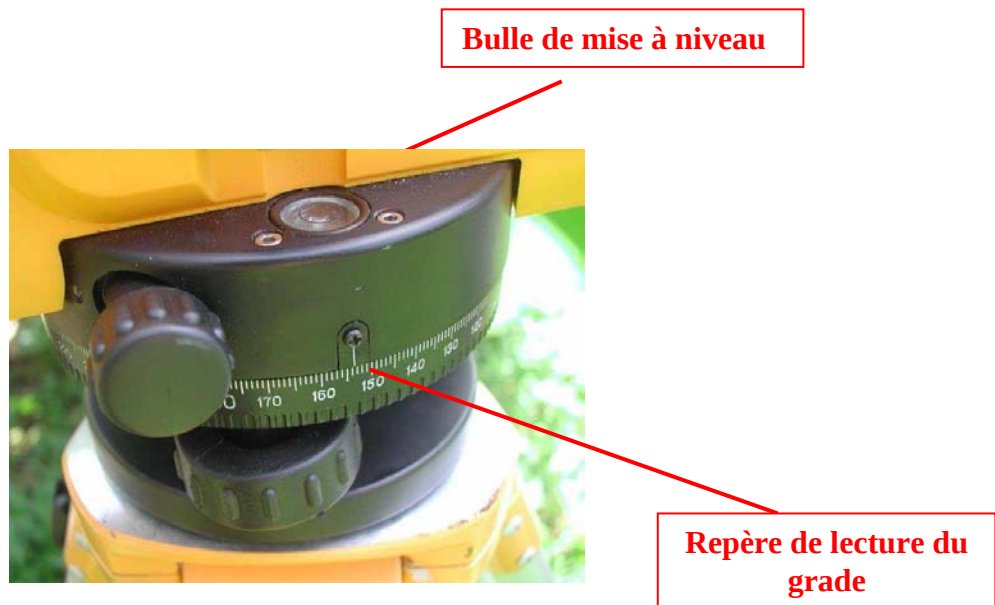


Figure 5 : Schéma de principe de la méthode de nivellement par cheminement



La lecture des angles horizontaux s'effectue sur le disque horizontal gradué situé sur [le niveau optique](#). L'angle lu en grades est relatif.



Le zéro du disque peut être placé préalablement sur le nord magnétique à l'aide d'une boussole. La lecture directe des azimuths magnétiques (en grades) est ainsi lue.

Cette méthode est utile lorsque l'on procède par cheminement et permet de recalculer les données prises par différents positionnement de niveau.

Figure 4 : principe du niveau optique

Application à la ravine étudiée : méthode du nivellement par cheminement:

Un profil en long de la ravine Laverne a été réalisé en Avril 2008 avec un niveau optique mis à notre disposition par le conseil général.

La réalisation d'un profil en long de toute la ravine implique de procéder par cheminement.

Cette méthode consiste à choisir des points intermédiaires de mesures. On mesure ainsi des dénivelées successives qu'il suffira d'ajouter afin d'obtenir la dénivelée totale.

Lorsque l'on procède par cheminement, il faut limiter au maximum les déplacements trop fréquents du niveau car cela propage et accroît les erreurs de mesures au fil des lectures.

Ainsi, la meilleure méthode consisterait à placer le niveau à l'extérieur de la ravine et balayer un plus grand nombre de points afin de limiter le déplacement du niveau. Cependant, cette méthode ne peut être appliquée à tous les tronçons de la ravine.

En effet, la partie aval ainsi que la partie amont de la ravine traverse des plantations de bananiers et donc des bananiers se trouvent de part et d'autre de la ravine. Cette disposition gêne dans les relevés étant donné que les bananiers, très rapprochés les uns des autres, peuvent limiter ou stopper la visée. De plus, la pente est assez marquée et la profondeur de la ravine assez importante par endroit. La mire (qui ne mesure que 2 m 40) ne dépasse alors à certains endroits que très peu et n'est donc que peu visible de l'extérieur de la ravine.

Le niveau va être donc placé à l'intérieur de la ravine ce qui impliquera un déplacement fréquent du niveau sur l'ensemble de la distance de mesure.

Les distances entre la mire et le niveau ainsi que les hauteurs successives sont connues grâce à la lecture des valeurs lues au niveau de la mire.

Cependant, en procédant par cheminement, des angles entre les points devront être connus afin de recalculer les points entre eux après déplacement du niveau.

La méthode adoptée consiste à définir les points en fonction

- de leur orientation par rapport au Nord grâce à une boussole
- de leur distance par rapport au niveau

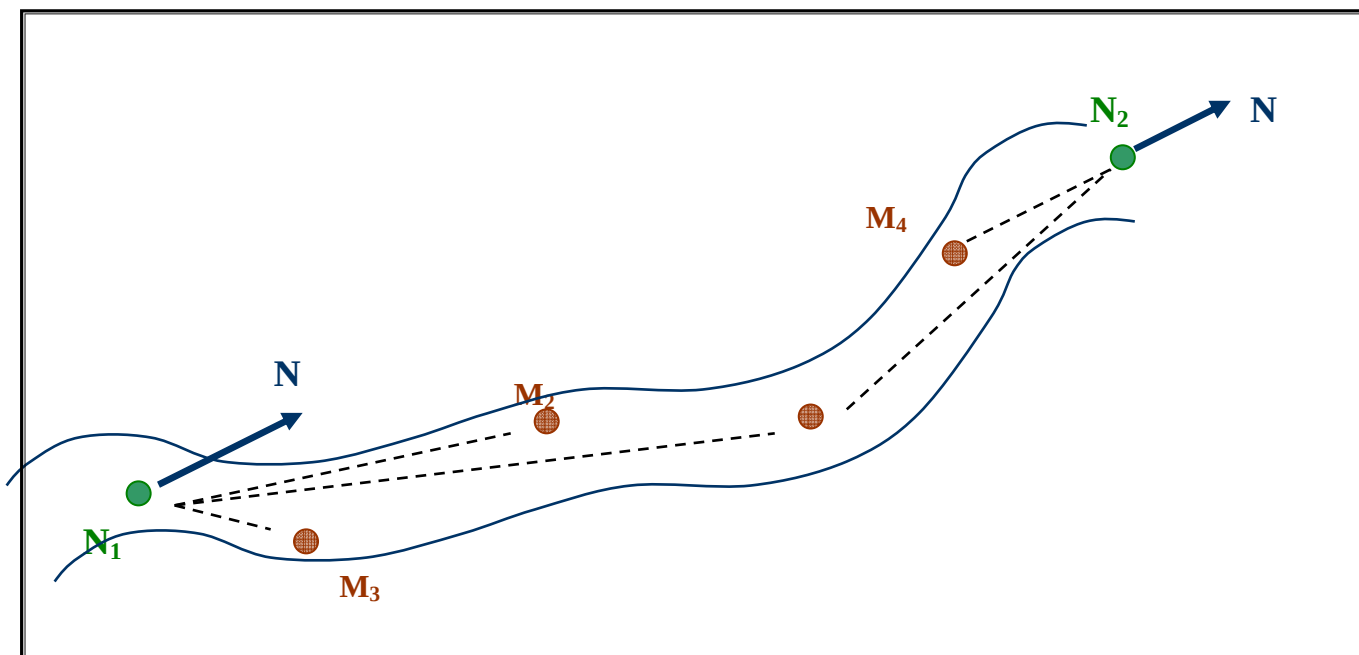
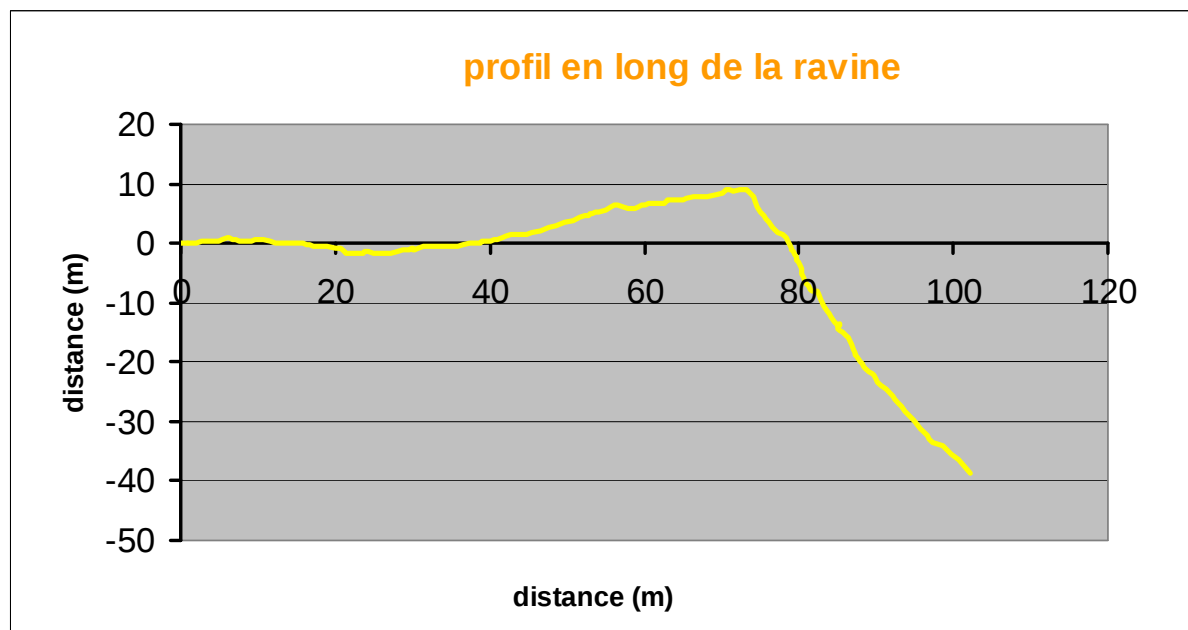


Figure 6 : Schéma explicatif du nivellement par cheminement

Résultats

On obtient deux résultats le profil en long de la ravine et une valeur de pente moyenne².

Profil en long



Graphique 1 : Profil en long de la ravine vue de dessus

² L'annexe 3 explique en détail le traitement de données réalisé pour obtenir ces résultats.



Distribution en pivot du système racinaire du Bois-
Canon
Sa sensibilité au déchaussement entraîne la fragilisation
des berges



Wedelia trilobata



Cyperus rotundus

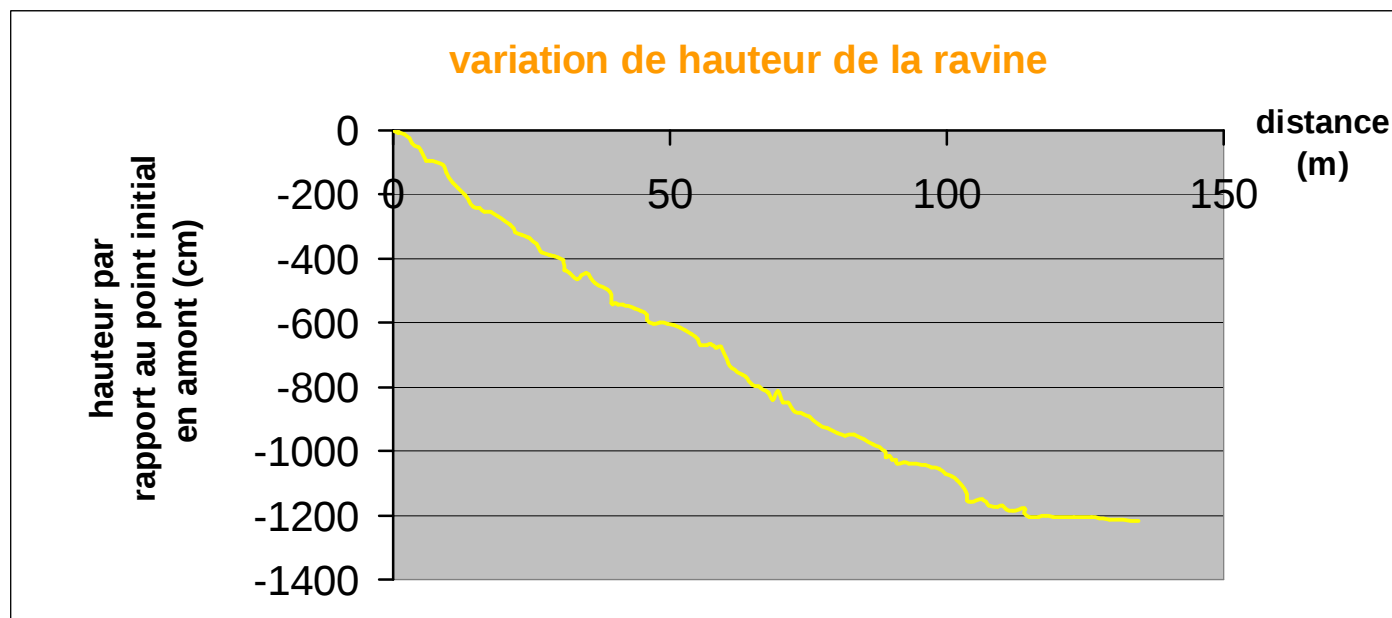


Commelina diffusa

Figure 7: Illustrations des différentes espèces rencontrées dans la ravine

Pour réaliser le profil en long de la ravine, on part du point le plus en amont de la ravine. Pour chaque point de visée, on relève les coordonnées (x ; y) du point et on le reporte sur le graphique. Ainsi on obtient une vue de dessus de la ravine avec pour point de référence le point le plus en amont (coordonnées (0 ; 0)).

Grâce à la connaissance des coordonnées (x ; y) de chaque point, on peut calculer la distance entre chaque point ($d = \sqrt{x^2 + y^2}$). Au final, on calcule que la ravine a un linéaire de 134 mètres.



Graphique 2 : Variation de hauteur de la ravine

L'utilisation du niveau permet de connaître la différence de hauteur entre le point amont et le point aval de la ravine. Si on considère que le point amont est à l'altitude 0, le point aval, 134 m plus loin, est à une altitude de -12,10m. La ravine a donc une pente moyenne de 9 % ($= 12,1/134$).

Il est important de noter que ces relevés topographiques ne remplacent pas une observation terrain qui reste indispensable pour mieux visualiser la ravine et se rendre compte de son fonctionnement.

→ Le site d'étude étant maintenant défini topographiquement (étude physique), on peut étudier le cortège floristique qui l'accompagne.

B. Diagnostic floristique

Au niveau de la ravine, un relevé floristique a été réalisé en mai 2008. Il s'appuie sur l'ouvrage suivant : « Plantes, milieux et paysages des Antilles Françaises » (Breuil A et Sartre C, 2007)[52].

Les espèces identifiées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

1. Inventaire des espèces répertoriées sur site

Huit espèces différentes ont été répertoriées sur tout le linéaire de la ravine. Ces dernières sont énumérées dans le tableau ci-dessous ainsi que les caractéristiques qui leur sont associées.



Momordica charantia



Digitaria insularis



Leptochloa filiformis



Echinochloa colona

Figure 7: Illustrations des différentes espèces rencontrées dans la ravine

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Famille	Caractéristiques
Wedelia trilobata	« Herbe soleil; herbe à femme »	Asteracées	Herbe rampante et radicante, véritable couvre sol, enracinée tous les 12 cm au sol, avec développement très dense avec des branches ascendantes. Les feuilles sont épaisses, subcharnues.
Cyperus rotundus	« ti coco, chien-coq, ti venson »	Cypéracées	C'est une des mauvaises herbes principales (difficile à éradiquer)
Commelina diffusa	« Herbe grasse »	Comelinacées	Herbe ramifiée, diffuse à rampante, annuelle ou pérenne, assez succulente Espèce affectionnant les endroits fertiles, ombragées et humides
Echinochloa colona	« Herbe à riz »	Poacées	Plante annuelle, caractéristique des savanes fertiles, des fossés, en général très ramifiée à la base.
Momordica charientia	« Mangé couli »	Cucurbitacées	S'élimine facilement
Digitaria insularis		Poacées	Herbe annuelle ou pérenne, érigée ou prostrée. à longs poils soigneux et brunâtres.
Leptochloa filiformis	« Herbe fine »	Poacées	Herbe annuelle érigée de 0.6 de h avec fleurs flasques, planes et peu nombreuses
Cecropia schreberiana	« Bois canon »	Cecropiacées	*

Tableau 3 : Espèces présentes dans la ravine Laverne

*Cecropia schreberiana est une espèce indicatrice de sol instable (sols inondés, meubles ou zones de pente prononcée). Cette plante fait face aux conditions de son environnement grâce à une stratégie adaptative qui consiste à développer des racines-échasses pour survivre. Le système racinaire superficiel associé au port élevé de l'arbre entraîne l'inconvénient suivant : la plante est sujette à des déchaussements (comme les peupliers) qui fragilisent les berges. Son entretien (taille) s'avère fastidieux : puisqu'ils sont en concurrence avec les bananiers pour la lumière, ils ont tendance à s'étioler. De ce fait il faut deux fois par an les tailler sévèrement. Les Bois canons doivent donc être remplacés au niveau des berges.

2. Quantification du couvert végétal

La quantification de chaque espèce fait suite à l'identification de ces dernières. Cette étape nous permet de mettre en évidence l'importance de chaque espèce.

Diagnostic floristique effectué au niveau de la ravine

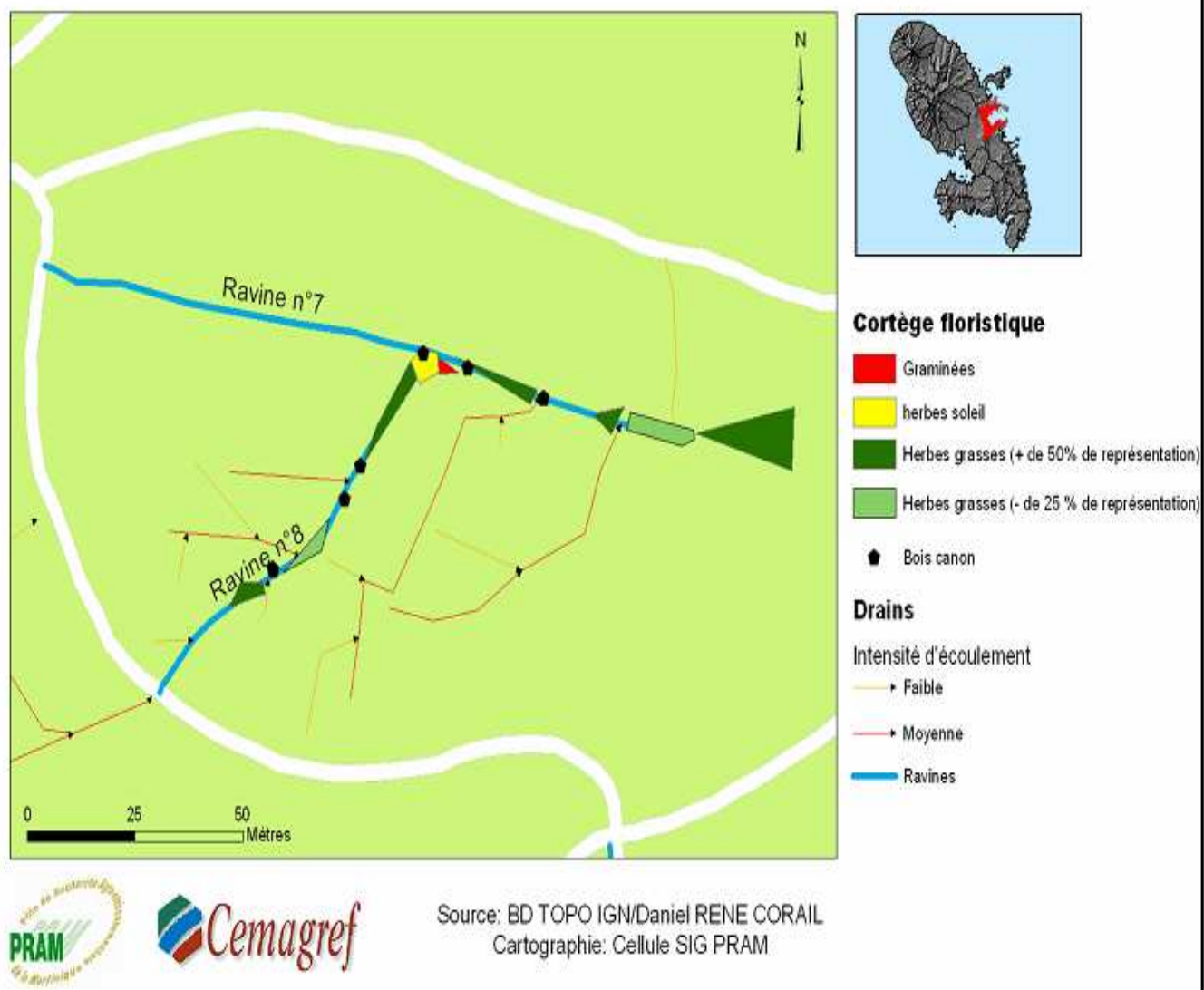


Figure 8 : Structures d'écoulements et cortège floristique observé dans la ravine Mansarde

Pour cela, on réalise un relevé précis le long de l'ensemble de la ravine (134 mètres de linéaire sur environ 2 m de large). On place une grille de 1m x 2m avec des mailles de 0.2m x 0.2m, et on fait le relevé en termes de surface de chaque espèce. Le dispositif d'échantillonnage suit l'organisation en spirale décrite par DAGET et GODRON (1982).

La matérialisation d'un individu est réalisée par un polygone, une couleur étant affectée à chaque individu. Le taux de représentation de l'individu suit un gradient de couleur.

La carte ci contre présente la répartition des espèces floristiques majoritaires le long de la ravine.

3. Réflexion sur la localisation des espèces

Les études qualitative et quantitative étant réalisées, on s'attarde maintenant sur la répartition de ces espèces. Leur localisation dépend-elle des conditions environnantes ? En effet, on peut d'interroger sur l'influence de l'épaisseur de sédiments observée et l'humidité relative au sol sur le développement de la couverture végétale observée.

Un coup d'œil général aux abords de la ravine permet la reconnaissance des essences en place : elles sont identifiables et de par les patches qu'elles dessinent à la fois dans la ravine et aux abords.

On peut noter que les herbes soleil sont abondantes au niveau de l'endroit ensoleillé de la ravine contrairement aux herbes grasses. En effet, *Commelina diffusa* se retrouve dans des milieux ombragés et/ou humides. De même pour *Cecropia schreberiana* qui colonise ces milieux ombragés et humides. Il est donc logique qu'on les retrouve sous bananeraie, la masse foliaire de la plante assurant de l'ombre sur environ une surface d'environ 5m². De plus, la présence de *Cecropia schreberiana* se justifie aussi par le caractère instable des berges entaillées à mesure des épisodes pluvieux. Toutefois, leur taux de représentation hétérogène sur le linéaire de la ravine justifiait cette réflexion : pourquoi sont-elles bien représentées là et pas ailleurs ?

L'explication tient à la vitesse de l'énergie de l'eau, qui décape le sol lors des crues d'importance et/ou à l'épaisseur des sédiments recouvrant les espèces après les épisodes pluvieux. Les secteurs en retrait des zones de confluence des eaux de ruissellement et les zones où les lits sont élargis bénéficient d'une torrencialité moindre où les espèces sont plus nombreuses. En aval de secteurs où le lit de la ravine se rétrécit, l'énergie de l'eau augmente et le terrain est nu.

L'observation rigoureuse du lit de la ravine lors d'une crue a permis de constater cette réalité.

Enfin, en fonction des coupes dans les bananeraies, les espaces de lumière varient et les espèces colonisent alors le milieu en fonction de ces conditions.

→ Ces premières observations ont permis de poser les bases de la réflexion pour la mise en place des micro-barrages filtrants. Cette seconde phase est détaillée dans la partie ci-après.

II. Réalisation des ouvrages de génie végétal

A. Choix du type d'ouvrage ; quelle technique est adaptée à notre situation?

La réflexion portant sur le choix du type d'ouvrage s'est appuyée sur :

- les données bibliographiques (Lilin, Koochafkan.,1987 ; Rey et al ., 2002)
- les caractéristiques physiques (profil en long) de la ravine
- le recueil d'observations et des desiderata de l'agricultrice : Madame LAVERNE Violeta
- les connaissances de terrain de l'équipe Cemagref
- les moyens logistiques, matériels et humains

1. Justification du choix des barrages biologiques pour le traitement de l'érosion sur la ravine, descriptif sommaire

Plusieurs types d'ouvrages limitant l'érosion sont décrits dans la bibliographie : leur mise en place requiert des techniques diverses utilisant le génie végétal ou le génie civil. La ravine du Robert a une faible largeur, un débit limité et se situe au cœur des bananeraies. Un ouvrage massif est donc disproportionné au vu des débits relevés, il demanderait des investissements non nécessaires. Notre objectif n'est pas de stabiliser le profil en long de la ravine (prévenir le sapement des berges et les glissements), mais principalement de retenir les alluvions. A ce titre, les techniques de génie végétal semblent plus adaptées pour répondre aux objectifs fixés, en tenant compte des caractéristiques du milieu, et en s'intégrant mieux dans le paysage. La solution de barrages biologiques a donc été retenue.

L'outil de base utilisé est le barrage placé en travers du lit de la ravine et constitué essentiellement de boutures. Cet aménagement s'inspire de la technique de haies vives constituées de grandes boutures rapprochées, utilisées par les paysans Haïtiens, Rwandais et Burundais pour protéger leur cultures contre le bétail. Cette dernière technique largement répandue par ces populations est bien maîtrisée. Il convient de l'adapter à notre problème spécifique du traitement des ravines.

Pour les besoins de l'étude, nous avons mis en place cinq dispositifs semblables à quelques variantes près. Il nous importe de mesurer la capacité de chaque type d'ouvrage mis en place à stocker les sédiments (volume retenu par micro barrage) et à créer des attérissements susceptibles par la suite d'être végétalisés. Cet objectif secondaire vise à compenser la perte de surface en bananes que l'érosion ravinaire entraîne.

Ainsi les barrages seront constitués d'une armature en barres de fer et en fil de fer, (volet génie civile limité à l'utilisation de ces matériaux inertes, puisque nous ne pouvions pas envisager de faire les dispositifs prendre appui sur les bananiers en place), de boutures et de matériel de tressage végétal. Le choix des espèces végétales retenues pour la réalisation des barrages est décrit ci après

2. Choix des espèces végétales

a. Espèces retenues pour les boutures

Les boutures de saule (toute variété confondue) en France Métropolitaine (Rey.F, 2005)[28]] et le *Gliricidia sepium* à Haïti (Roose, 1998)[32] ont fait leur preuve en la matière. Cependant, le choix s'est porté pour le site du Robert sur des espèces locales aux caractéristiques similaires mais adaptées au climat et à la situation présente : sous bananeraie agée de plus de cinq ans dont l'organisation en rangs a disparu avec des pseudo-troncs distants de 1.5m du lit de la ravine et offrant un couvert végétal.

Cinq espèces ont été sélectionnées. Une notation est alors réalisée pour chaque espèce en fonction des critères suivants :

- stabilisation du sol par les racines
- précocité de la reprise
- tolérance à une hydromorphie temporaire
- encombrement de la plante au stade développement et diamètre de départ de la bouture
- disponibilité, valorisation pécuniaire

Pour chacun de ces critères une note entre 0 et 4 est attribuée à dire d'expert selon la réponse au critère (de nulle = 0 à très bonne = 4). Chaque plante est alors notée sur 20 (addition des notes de chaque critère). On distingue alors les plantes qui répondent au mieux aux critères choisis. La notation de chaque espèce est précisée dans le tableau ci-après.

Critère Plante	Stabilisation du sol par les racines	Disponibilité Valorisation pécuniaire	Encombrement	Précocité de la reprise	Tolérance à l'hydromorphie temporaire	Note finale sur 20
Cordylines	3	1	3.5	4	2	14.5
Gliricidia sepum	2	0	1	4	1	9
Dracaena massangana	3	3	3.5	4	3.5	18
Dracaena fragans	3	5	2.5	3	3.5	17
Yucca éléphant	4	0	4	3	2	13

Tableau 4 : Notation des espèces selon leur intérêt biotechnique

A ce stade, au vu des notes « intérêt biotechnique » obtenues par chacune des espèces disponibles, il a été décidé de sélectionner trois espèces : *Dracaena massangana*, *Dracaena fragans* et *cordylines*.

Cependant, l'aspect économique doit être aussi pris en compte et c'est pourquoi un paramètre de sélection supplémentaire a été ajouté afin de retenir une espèce qui jouerait un rôle efficace contre l'érosion en ravine. L'ouvrage idéal est celui qui solutionnerait le problème d'érosion sans occasionner un coût trop élevé.

Aussi, concernant l'aspect rentabilité, un certain nombre de critères ont été retenus à savoir :

- le coût d'achat des boutures
- le coût d'entretien de la bouture considérée
- la valeur marchande des tiges taillées sur la plante
- la productivité de la plante supposée être sectionnée pour multiplier les dispositifs de part

en part du profil en long de la ravine et au niveau des autres signes d'érosion.



Draceana massangana dit :
« coco makak »

Draceana fragans communément
appelé : « dracena »

Photo 2 : Photo illustrant les deux variétés de Draceana utilisées

Le tableau ci-dessous permet de prendre en compte ce paramètre financier.

Critère Plante	Cout d'achat (€)	Cout d'entretien /an	Productivité (Nombre de tiges/an)	Valeur marchande annuelle des boutures (€)	Cout de production ramené à la Bouture(€)	Marge brute Bouture rendue annuelle(€)
Cordylines	5	1.5	2	3	6.5	-3.5
Dracaena fragans	1.8	1.5	3	4.5	3.3	1.2
Dracaena massangana	1.8	1.5	5	7.5	3.3	4.2

Tableau 5 : Tableau de synthèse de l'intérêt économique des boutures retenues

Sources : Toutes ces données ont été recueillies auprès de professionnels de la filière fleurs croisées avec les données du référentiel technico-économique 2007, du Centre de Gestion de Martinique(CEGER).

Par cette étude économique, on s'aperçoit que l'utilisation de la cordyline engendre un surcoût pour l'agriculteur. Son utilisation n'est donc pas envisageable.

Enfin, un paramètre permet de distinguer les deux variétés de Draccaena : Draceana massangana (Gauche) est une variété endémique, plus rustique que la variété Draceaa fragans (Droite).

Draceana massangana résistant et solidement ancré au sol par un système racinaire plongeant, était jadis utilisé lors de bornage de terrains. Les piquets étaient plantés pour matérialiser les limites de propriété.

Draceana fragans qui est un hybride introduit par les horticulteurs est une variété bicolore aujourd'hui très prisée des professionnels de l'art floral qui valorisent son feuillage pour la réalisation de compositions florales.

→ Les deux espèces de Draceana sont sélectionnées pour les boutures car elles pourront être valorisées sur l'exploitation (valorisation pécuniaire de l'une et pérennité des ouvrages implantés dans le lit de la ravine, pour l'autre).

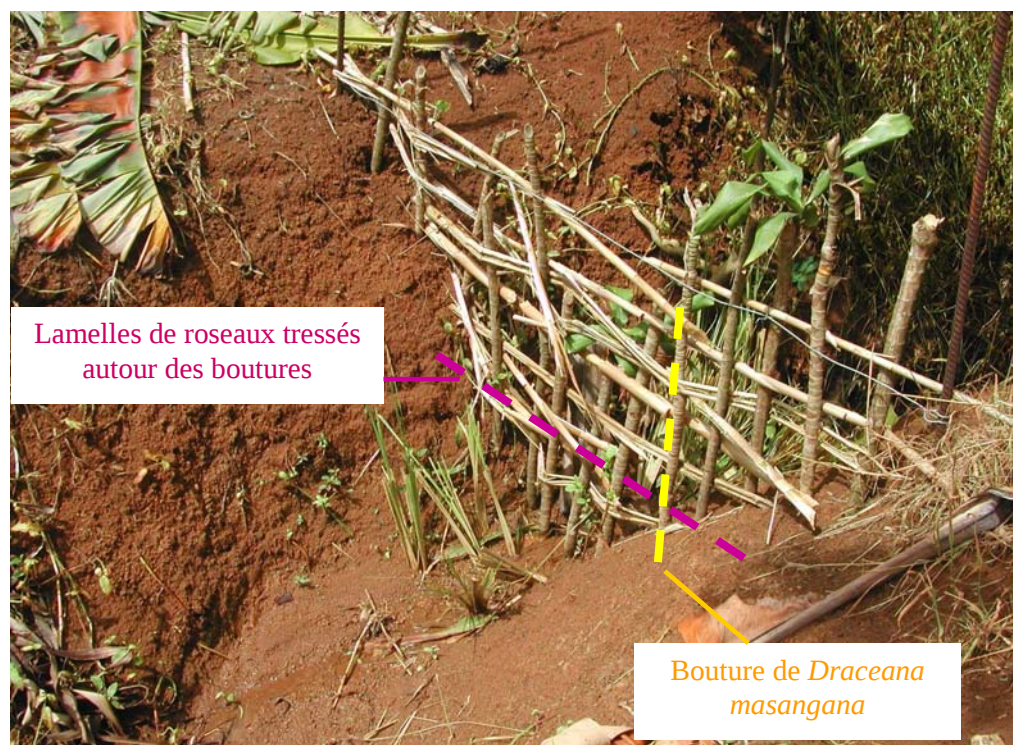


Photo 3 : Photo ouvrage Daniel RENE CORAIL réalisé en juin 2008

b. Espèces retenues pour le tressage

Les espèces envisageables pour le tressage doivent garantir une certaine cohésion entre les boutures tout en souplesse. La souplesse du matériel de tressage permet de le manipuler aisément et d'amarrer les boutures fraîchement mises en place sans fragiliser leur ancrage. La souplesse permet par aussi d'adapter la configuration du dispositif au profil en travers de la ravine. Outre cette caractéristique, le matériel végétal ne doit pas constituer de gêne pour le développement des bananiers (espèces invasives) et offrir à la fois une certaine longévité et une certaine robustesse (entretien minime). Les derniers critères à satisfaire sont la disponibilité et le coût moindre d'achat. Deux plantes locales réunissent toutes ces exigences : le bambou et le roseau. En effet, ces deux plantes sont abondantes sur l'île de la Martinique et leur prélèvement dans la nature au moyen d'une machette est facile. En outre, ils sont simples d'utilisation. De plus, moyennant leur coupe à maturité, ils se conservent bien au-delà d'une année et leur manipulation est à la portée de tout exploitant agricole.

→ Toutefois, le choix s'est porté sur le roseau (*Arundo donax*) dont l'usage s'avère bien plus pratique et commode (transport et manipulation).

Les roseaux doivent être tranchés dans le sens de la longueur en « lamelles » pour empêcher leur reprise (ils concurrenceraient les bananiers et envahiraient les champs à terme).

Après la réalisation du tressage au moyen des roseaux, l'ouvrage ne présente qu'une relative efficacité puisque les boutures n'ont pas encore repris et de ce fait, ni la lutte corrective de la torrentialité des crues, ni le piégeage optimal des sédiments n'est assuré. Il importe de conforter le dispositif, notamment au niveau du lit de la ravine.

c. Espèces retenues pour le piégeage des sédiments

Pour ce piégeage, l'installation en fond de ravine de plantes, perpendiculairement au barrage, semble être une solution. L'espèce choisie doit être dense pour ne pas être chariée trop facilement et développer des ramifications exerçant la fonction de piégeage des sédiments. Cette fonction peut être remplie indirectement. Le développement de ramifications des végétaux installés dans le lit permettra la rétention d'éléments grossiers transportés lors de leur transit (feuilles de bananiers, tototes et accessoirement portions de pseudo-troncs). Ces éléments grossiers déposés joueront un rôle de rétention des sédiments.

→ Pour ce faire, l'espèce *Dracaena masangana* a été à nouveau retenue pour retenir une partie des sédiments lors du passage des crues turbides.



Photo 4 : Photo d'une touffe de zizanoïde de vétéviera prélevée trois mois et demi après plantation dans un sol à allophane (l'enlèvement de la touffe a requis des outils affutés et une certaine dose d'énergie !!!)

Ainsi, de longues tiges de *Dracaena massangana* sont entreposées à l'oblique en travers du lit. Le soin est pris de les espacer de manière à ne pas constituer d'obstacle hermétique à la lame ruisselante, ce qui aurait l'inconvénient d'augmenter la vitesse du courant, un sapement des berges et une mise en mouvement de sédiments supplémentaires. C'est tout l'inverse que nous recherchons : il s'agit de constituer un filtre mais de manière à faire office de rappe. Il s'agit de fixer les particules grossières tout en laissant libre cours à l'eau. A ce stade, le micro barrage remplit bien sa fonction de filtre de rétention. Le tableau ci après propose à un premier bilan du rôle du barrage à ce stade de construction.

Intérêt Constitution	Rôle biotechnique	Rôle biologique
Tiges de <i>Dracaena massengana</i> , posés dans le lit	Rôle de filtration de l'eau et de rétention des sédiments	Conservation d'une humidité relative nécessaire à la reprise des boutures
Lamelles de roseaux tressés entrelassant les boutures,	Consolidation de l'ouvrage	l'ensemble constituant une palissade semi perméable dissipant l'énergie du courant
Cordon de boutures (<i>Dracaena</i>)	Le cordon de bouture correspond à un point d'ancrage et d'appui résistant à la vitesse de l'eau	Effet de la râpe piégeant les matières en suspension à leur passage
L'ensemble fait office de micro barrage	L'ouvrage constitue un filtre favorisant le dépôt des sédiments transportés	A terme, la végétation favorisera le développement d'une macrofaune

Tableau 6 : Fonctionnalité du micro barrage à ce stade d'avancement

d. Espèces utilisées pour prévenir l'affouillement des dispositifs

D'après les expériences des techniciens et ingénieurs chevronnés réhabilitant les ravines, l'affouillement à l'aval des dispositifs est le principal facteur de déstabilisation des ouvrages. Suivant leurs recommandations, pour prévenir l'affouillement des dispositifs, il importe de limiter la hauteur de « l'ouvrage- seuil de correction » et de protéger l'aval du dispositif en installant des espèces végétales de fort développement à leur pied (Aval). Ces préceptes nous ont conduits à envisager sur place, d'utiliser du vétiver (*Vetiviera zizanoïdes*) pour la stabilisation de l'ouvrage. En effet, cette plante, comme les graminées, a déjà fait ses preuves en matière de stabilisation de berges et d'ouvrages de génie civil. (source : www.levetiver.org) [51]

Justification du choix de vétiver pour prévenir l'affouillement des micros barrages filtrants

Caractéristiques du vétiver à planter à l'aval des dispositifs

(Voir *LE VETIVER : la protection contre l'érosion*, Banque mondiale, Washington, D.C)[51].

Généralités : Originaire d'Asie, CHRYSOPOGON ou Vetiveria Zizanioides, encore appelée vétiver est une poacée. Herbe rude et rigide, pérenne et à gros rhizome, elle est cultivée et spontanée. La plante forme des touffes denses. Cette plante vivace, touffue est un reproducteur timide en dehors des marécages, son lieu de prédilection. Issus de touffes éclatées, le matériel végétal utilisé s'enracine fortement au sol (racines filamenteuses) et rapidement (3-4 m de profondeur de racines au bout d'un an). Le choix du vétiver (Vetiveria zizanioides) s'est opéré suivant les recherches bibliographiques effectuées sur l'intérêt des plantes en lutte antiérosive. En effet d'après la bibliographie, sur 10 espèces végétales appartenant au genre Andropogon, le vétiver s'est avéré la plante idéale pour les procédés de conservation des sols. Par rapport à notre problématique, l'intérêt de cette plante se situe sur les points suivants :

- son développement végétatif en adéquation avec le système de culture banane moyennant que les plants de vétiver soient distants de 1 mètre minimum du système racinaire du bananier (concurrence pour les éléments minéraux et l'eau),
- son efficacité biotechnique avérée, suivant les résultats expérimentations effectuées sur l'efficacité de la plante [8] et notre propre expérience, nous permettant d'attester de l'ancrage exceptionnel de la plante enracinée au sol (voir caractéristiques),
- son adaptabilité, ses faibles exigences (elle est hydrophyte et xérophyte) et sa tolérance aux maladies,
- sa multiplication aisée qui permettra à l'agricultrice, de végétaliser la ravine de part en part, sur tout linéaire sans investissement supplémentaire.

Une fois le vétiver mis en place, le dispositif est fonctionnel. Pour que chaque barrage soit opérationnel, le traitement de la ravine doit être effectué sur l'ensemble du linéaire.

Le micro barrage constitué est réalisé presque exclusivement en matériel végétal. Le tableau ci-après quantifie le matériel végétal nécessaire à la réalisation d'un ouvrage type.

Positionnement sur la ravine	Espèce végétale retenue	Caractéristiques des plants	Espacement Entre les lignes	Distance entre les plants	Quantité nécessaire par ouvrage
En travers du lit de la ravine	<i>Dracaena massengana</i> :	Boutures de 2m à taillée suivant le site (profondeur)	5cm en quinconce	15cm	18 pièces
Sur les berges et perpendiculairement à l'ouvrage	Zizanioides de vétiviera	Plants de 30cm de h et 5 cm de Ω	50	50cm	8 plants : (4 plants / rang * 2 rangs)
Dans le lit de la ravine	<i>Arundo donax</i>	Tiges de 1.5 m tranchée en deux sections dans le sens de la longueur	10 cm	—	5
	<i>Dracaena massengana</i>	Branches de 2 m de long	-	10 cm	7-10
	Vétiver	Zizanioides de vétiveria chevelu racinaire libre	100cm	50	7

Tableau 7 : Matériel nécessaire pour la limitation de l'affouillement au niveau d'un barrage

→ Le micro barrage filtrant type défini comporte toutes les caractéristiques nécessaires et adaptées au régime ordinaire en crues, de notre ravine. Le dispositif a été rigoureusement pensé. Il devrait être fonctionnel et opérationnel pour piéger tout ou partie des sédiments avant leur arrivée à l'exutoire de notre ravine, pour la saison pluvieuse 2008. Cependant, la fixation des sédiments retenus en fin de cette saison d'hivernage doit être suivie d'une revégétalisation. En effet, les sédiments captés par les atterrissements risquent d'être remis en suspension. Pour l'éviter, nous envisageons de valoriser les sédiments déposés en amont des dispositifs en implantant des essences végétales spécifiques.

→ Cette partie a donc permis une présentation des espèces et une quantification du matériel végétal qui sert à la réalisation d'un micro-barrage. La partie suivante décrit les travaux de la mise en place de ces ouvrages sur le site.

Matérialisation de l'emplacement des micro barrages filtrants

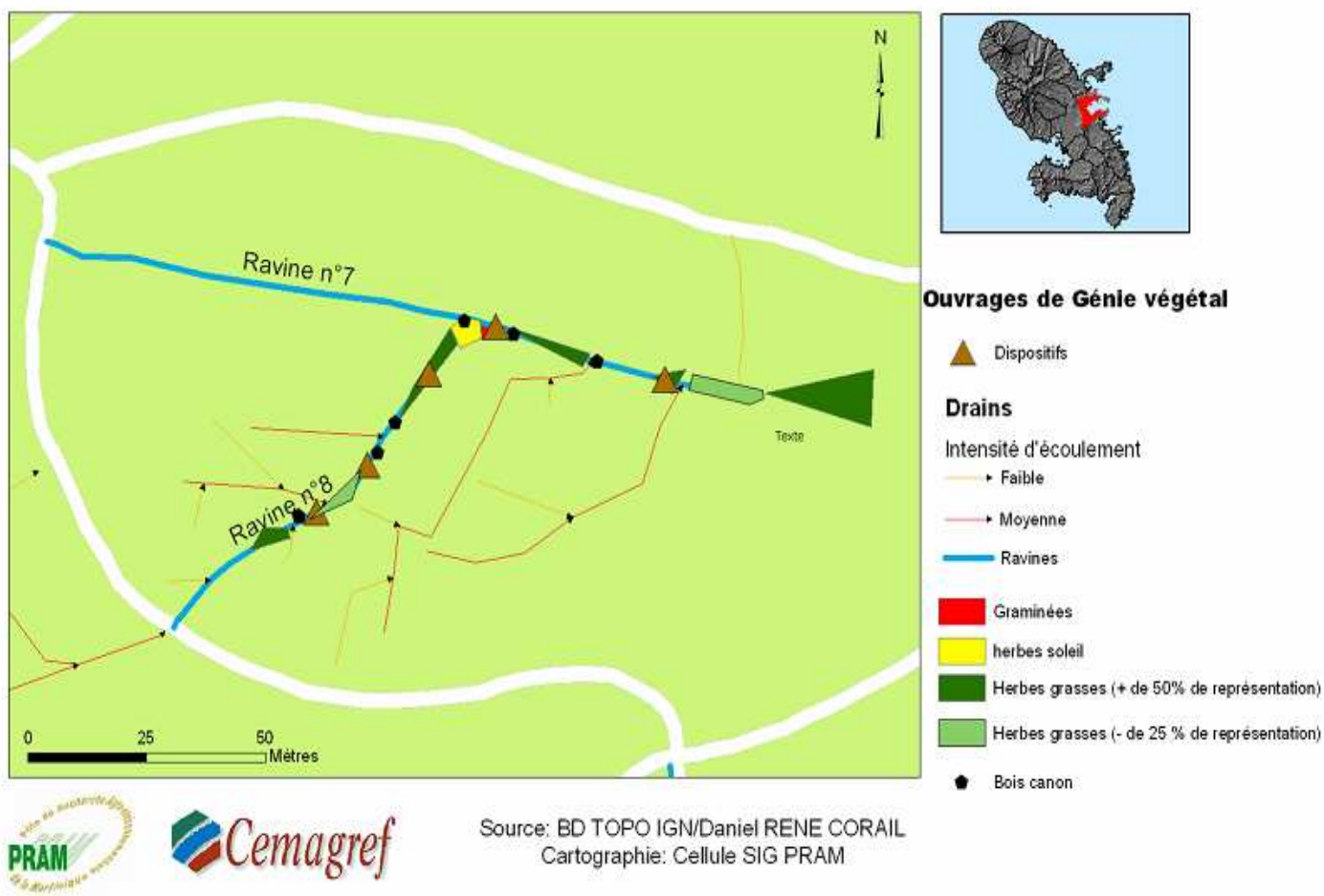


Figure 9 : Matérialisation de l'emplacement des micro-barrages filtrants

B. Mise en place des ouvrages dans la ravine Mansarde

1. Détermination du nombre d'ouvrages, espacement et positionnement

a. Détermination du nombre d'ouvrages

Trois critères ont aidé à définir la détermination du nombre d'ouvrages à mettre en place :

- moyens matériels : l'enveloppe budgétaire à accorder aux travaux ne doit pas dépasser les 500 euros (matériel du barrage + boutures)
- moyens humains : le technicien du Cemagref travaille pour l'ensemble de l'équipe, il ne peut accorder que quelques jours de travail pour ce projet. De même, mon stage étant de courte durée, une semaine de travaux était le maximum envisageable à prévoir au planning
- contexte climatique : en raison de l'imminence de la saison pluvieuse (début juin), il fallait lancer les travaux rapidement et les terminer avant la saison des pluies

Au vu de ces contraintes, il est décidé de mettre en places 5 micro-barrages filtrants. Il reste maintenant à définir leur localisation.

b. Espacement des dispositifs

L'espacement des dispositifs de correction de petites ravines n'a pas besoin d'être calculé comme dans le cas du traitement des ravines importantes à fonctionnement torrentiel (Lilin, Koohafkan, 1987 [32]). En effet, selon ces auteurs, l'épaisseur des alluvions est en général faible et de ce fait, lors du surcreusement local, due à la destruction de l'ouvrage, l'érosion régressive progresse moins vite vers l'amont que lorsqu'elle travaille dans les alluvions profondes. L'aménageur dispose donc d'une certaine souplesse dans la localisation des ouvrages.

Dans notre cas précis, les caractéristiques de notre ravine et ces indications nous permettait une latitude dans le choix de l'espacement à envisager entre les dispositifs.

Ce critère n'a donc pas été déterminant pour la localisation des ouvrages, une adaptation à la topographie et à la dynamique de la ravine nous semblant plus raisonnée.

c. Positionnement des dispositifs, fonction de la dynamique de la ravine

Nous disposions en termes de connaissances de la ravine : du profil en long (le profil en travers de la ravine n'a pas été réalisé) et d'une localisation des zones de surcreusement, identifiées par une observation de terrain. Munis du tracé de la ravine répertoriée préalablement sous SIG en 2006, à l'aide d'un double décamètre, nous avons pu mesurer les distances séparant ces lieux de modifications de lit. Le parcours en sens contraire, le long de la ravine nous a permis d'indiquer les zones les plus sensibles (berges affaissées). Les observations ont été matérialisées sur le tracé initial de la ravine à l'échelle 1/100^{ème}. De retour en salle, nos observations de terrain ont pu être rapprochées du tracé du profil en long établi sous excel. Le choix des emplacements des dispositifs s'est alors précisé.

**Mise en place des
boutures
(Dracaena)**



**Tressage
(roseaux)**



**Prévention de
l'affouillement
(plantation de
vétiver)**



Figure 10 : Illustrations des étapes de mise en place des micro-barrages

Les observations (in situ) ont l'avantage de rendre compte du fonctionnement de la ravine (élargissements ou au contraire rétrécissement du lit, signes matériels d'érosion, emplacement des dépôts de sédiments). Ces observations ont largement conditionné la définition des emplacements des seuils pour la réhabilitation de la ravine. Préférentiellement, nous avons opté pour l'implantation des dispositifs, d'abord à l'amont du fait d'une torrentialité inférieure à ce niveau (préceptes des experts). Une autre réflexion nous a conduit à sélectionner les portions de la ravine où l'énergie du courant serait théoriquement moindre (zones d'élargissement de lit, observées sur le terrain et répertoriées au niveau des observations du profil en long). Les emplacements ont été guidés pour partie par l'emplacement des structures d'écoulement, en retrait desquelles, il était impératif de positionner les microbarrages (torrentialité).

2. Travaux relatifs à l'installation d'un ouvrage type

Le tableau ci-dessous décrit l'ensemble des opérations réalisées pour l'installation d'un micro-barrage.

Opération	Phase	Travaux	Outils	Lieu
Préparatifs	Etude	Recherches bibliographiques	Fond documentaire	CEMAGREF
		Etude du quantitatif	Calculatrice	
	Commande fournitures	Réservations	Logistique du bureau	
Approvisionnement	Recherche fournitures	Récupération du matériel inerte	Piquets de fer Fil de fer	Entreprise de matériaux de construction
		Récupération du matériel végétal	Boutures Roseaux	Pépinières et Prélèvements dans la nature
	Génie civil	Préparation du sol	Baramine	Sur les berges et dans le lit de la ravine
		Mise en place des piquets et fil de fer	Masse, tenaille	De part et d'autre du lit
			Machette	Sur place

Mise en place effective	Plantation	Taille des bouturees		
		Mise en place des boutures	Manuelle, piétinement	Tous les 7,5cm en quinconce de part et d'autre du fil tendu
Contribution à la pérennisation de l'ouvrage	Renforcement de l'ouvrage	Tressage	Manuelle + gaines de pseudotroncs prélevées sur feuilles bananiers au sol	Lit de la ravine
		Arrimage	manuel	Lit de la ravine
		Garnissage du lit	boutures	Lit de la ravine
		Plantation du vétiver	manuel	Lit de la ravine
Suivi	Contrôle et vérification de la reprise	Notations de reprise	Comptage	Sur chaque dispositif
	Recourage	Remplacement des 2 boutures n'ayant pas levé (par ouvrage)	Boutures supplémentaire	Pépinières et prélèvements dans la nature
Stabilisation des attérissements	Plantation sur les attérissements Entretien des végétaux	Ces travaux restent à la charge de l'agriculteur	Espèces indiquées	En amont des ouvrages

Tableau 8 : Travaux relatifs à l'entretien d'un micro-barrage type

→ La mise en place effectuée, il convient ensuite de vérifier la bonne tenue des dispositifs et leur fonctionnalité pérenne.

C. Bilan technico-économique (ramené à un micro barrage filtrant)

Cette partie propose de faire un bilan économique du projet. Les calculs réalisés dans cette partie permettront d'exporter ce modèle sur un autre site, l'analyse des coûts étant déjà connue.

Le tableau ci-après présente un récapitulatif des coûts engendrés par la mise en place d'un ouvrage.

Opération	Poste	Désignation	Quantité	Prix unitaire	Total (€)
Fournitures diverses	Matériel inerte	Piquets de fer 16mm en 2m de h	2	4.22	8.44
		Fil de fer	4ml	15€ /50ml	6
	Matériel végétal	Boutures Draceana m et 3-5cm de circonférence	12	1.8 / Pièce	26.6
		Bouture Draceana fragans 1.2ml et 3-5cm de circonférence	12	1.8 Pièce	26.6
		Roseau (Arundo donax) Longueur de 2ml m	10ml		
		Plant de vétiver (zizanioides vetiveria de 0.35 ml avec chevelu racinaire libre)	7	4 €/Pièce	28
	Total fournitures				95.64
		Pose de « l'armature métallique »	0.3h		

Main-d'œuvre	Génie civil	Préparation de sol	0.3h	9€/ Heure	
	Génie végétal	Préparation des boutures			
		Plantation			
		Consolidation de l'ouvrage			
		Garnissage du lit			
		Recourage			
		Plantation du vétiver			
	Total main-d'œuvre		1.16	9	10.44
Forfait prélèvement, transport acheminement					20
Totaux					120.08

Tableau 9 : Récapitulatif des dépenses liées à la mise en place d'un micro-barrage

→ Ce tableau montre que la mise en place d'un ouvrage a un coût faible de l'ordre de 120 euros. Les gains obtenus par l'exploitation des boutures du barrage vont donc rapidement couvrir les frais engendrés par cet aménagement.

A noter, dans le cadre du site test du Cemagref, les coûts de main d'œuvre et de transport sont compris dans le budget global de l'équipe. Les dépenses réalisées pour la mise en place des micro-barrages n'est donc au final que de 450 euros pour un budget maximum de 500 euros.

III. Suivis et valorisation des ouvrages de réhabilitation

A. Suivis réalisés au niveau des ouvrages

1. Reprise des boutures

Le taux de reprise des boutures est intéressant (91.66% soit une reprise de 110 boutures sur un total de 120 pièces). Le choix de l'épaisseur des boutures de départ, a considérablement contribué à ce taux de reprise élevé (les conclusions de Rey [27] sur ce critère déterminant sont ici vérifiées). Un autre paramètre nous semblant d'importance pour assurer la reprise des boutures a certainement joué : le rapport profondeur d'enfoncement sur la longueur totale de la bouture. Les résultats des travaux et l'expérience de l'équipe CEMAGREF, a permis de raisonner la profondeur d'enfoncement optimal. En effet, l'influence du choix de la partie et de sa longueur s'avère important. On a remarqué que les boutures n'ayant pas pris sont celles qui n'étaient pas suffisamment rigides pour une longueur totale de 1.5m avec un enfoncement de 50cm.

Bien que les premières observations témoignent d'une bonne reprise des boutures, des observations dans le temps devront être réalisées. Il s'agira d'analyser qualitativement la reprise des boutures, celle-ci conditionnant la morphologie des barrières végétales et donc de l'efficacité du piégeage.

Efficacité du vétiver

L'implantation du vétiver a permis d'observer deux éléments. Premièrement, la plante rhizomateuse développe des repousses qui suivent le niveau de terre accumulée suite au phénomène d'érosion hydrique. Deuxièmement, son tallage est important (en prévision, les touffes atteindraient 0.8 m de circonférence au bout d'une année, d'après la bibliographie). On s'attend à ce qu'il renforce l'efficacité du cordon de boutures arrimées dans la rétention des éléments grossiers. Le dépôt de sédiments à l'amont du cordon de boutures s'en trouve déjà favorisé par la reprise des plants après seulement 2 mois de plantation. On assistera à de véritables atterrissements qui diminuent la profondeur de la ravine à ces emplacements.

2. Entretien des barrages

A mesure que la terre s'accumule en amont des « seuils », le volume de terre augmente. L'amoncellement de débris s'accumulant en amont des ouvrages, peut s'opposer au passage de l'eau et provoquer le contournement de l'ouvrage. Ceci aurait pour conséquence de provoquer le sapement des berges de la ravine, en aval. L'entretien des micros barrages devra donc être effectué après des crues importantes pour qu'ils conservent une perméabilité efficace. Le rehaussement de l'ouvrage doit suivre le niveau de sédiments accumulés.



Photo 5

: Photo illustrant l'intérêt du vétiver pour contribuer à parfaire l'efficacité des micro barrages



Le vétiver assure sa fonction, il filtre l'eau qui le coule

Dépôts de sédiments observés en amont suite à une crue de mm, 2 mois après la mise en place du micro

Photo 6 :

: Photo d'illustration de l'efficacité du dispositif dans le piégeage de sédiments, lors d'une crue après deux mois de plantation

3. Observations en crue

Deux mois après installation, une première crue a pu être observée sur le terrain dans la ravine. Cette crue a lieu dans la matinée du 02 septembre 2008. Les caractéristiques de ce phénomène sont les suivantes : une pluie de 24,4 mm pendant 1h 02. Sur une ravine similaire à proximité qui est instrumentée, on a relevé une crue de 1h33 avec un pic de crue à 18L/s : on peut donc dire que la crue observée ce jour là été moyenne pour la ravine.

Le délai écoulé depuis la mise en place des dispositifs est court. Ce laps de temps n'a pas permis une installation suffisamment dense de la haie de vétiver, notamment au niveau des berges, qu'il est essentiel de protéger. Toutefois, le rôle effectif du dispositif dans la résistance face aux pluies torrentielles a pu être observé. L'efficacité de l'ensemble du micro barrage a été constatée lors d'une crue.

Le vétiver renforce l'efficacité du cordon de boutures arrimées, dans la rétention des éléments grossiers :

- le cordon de boutures retient les éléments charriés à leur passage à travers le maillage végétal.

Les feuilles et les tiges de vétiver, ralentissent l'écoulement à charge sédimentaire au niveau (A).

- l'écoulement est contraint de déposer les éléments grossiers devant la barrière végétale, tandis que l'eau, moins chargée en (B), continue sa course vers le bas de la pente à un rythme moins rapide.

Le vétiver assure ainsi sa fonction en dissipant l'énergie de l'eau qui dépose sa charge solide. On assistera à de véritables atterrissements qui diminuent la profondeur de la ravine à ces emplacements

B. Suivis réalisés au niveau de la ravine

1. Etude du profil en long

Un état initial du profil en long a été réalisé en saison sèche avant la mise en place des ouvrages.

Un suivi de l'évolution du profil de la ravine devra donc être réalisé après la saison des pluies pour évaluer l'efficacité des micro-barrages filtrants.

Après chaque saison des pluies, ce profil sera fait afin de suivre l'évolution de la ravine.

Un partenariat avec la chambre d'agriculture sera proposé par le Cemagref afin de pérenniser ces travaux.

Un contrat d'objectif à passer, liant l'agriculteur, la Chambre d'Agriculture et le Cemagref, formalisera, le suivi de l'évolution du lit de la ravine pour une année hydrologique : une saison complète. La comparaison des données initiales et actualisées permettra une étude plus approfondie de la dynamique spatiale du ruissellement. Elle pourra être corrélée avec la hauteur de pluies recueillies, pour servir de base à la projection de l'évolution du lit de la ravine au sein de la parcelle.

2. Quantification des sédiments retenus

L'efficacité de chaque dispositif dans le piégeage des sédiments se traduira par le volume retenu par ouvrage.

On calcule ce volume en mesurant la plage de sédiments déposés : longueur, largeur et hauteur.

Soit (A) le volume de sédiments ; (H): la hauteur ou l'épaisseur de sédiments observée; (L) : la largeur de l'atterrissement ; (P) est la longueur. Au final, $(A) = (P) * (L) * (H)$

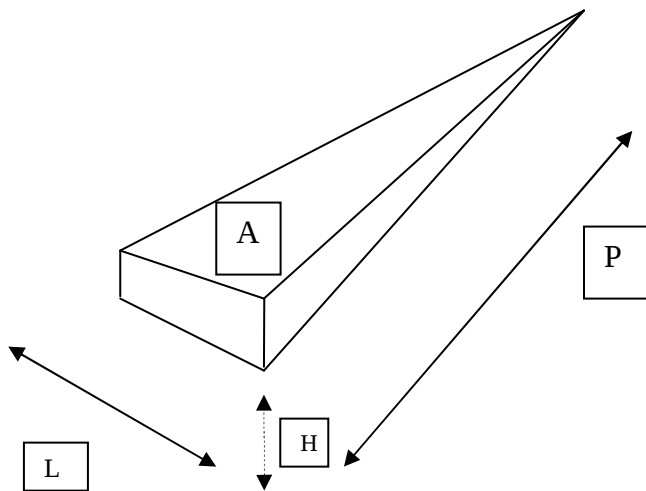


Figure 11 : Calcul du volume de sédiment

Le volume de sédiments a été mesuré le 02 septembre 2008. Le volume moyen retenu est de 0.022 m^3 /ouvrage.

Le volume total devra être mesuré à nouveau en fin de la saison des pluies pour quantifier l'efficacité réelle du micro-barrage.

En effet le dispositif n'est en place que depuis le 4 juillet. La saison des pluies se termine en janvier. Il faut savoir qu'entre le 4 juillet et le 2 septembre 2008, le cumul des précipitations est de 364,2mm. Sur une ravine à proximité similaire, il a été observé sur cet intervalle de temps 7 crues au débit variant de 3L/s à 72L/s. On peut s'attendre à avoir encore plusieurs événements et donc un volume de sédiments plus important en fin de saison.

C. Valorisation des ouvrages

1. Valorisation des zones d'atterrissement

L'agricultrice pourra exploiter les ouvrages à deux niveaux :

- en taillant les boutures de l'ouvrage
- en plantant des espèces végétales sur les zones de dépôts

Concernant les cordons de boutures, la valorisation des végétaux peut commencer dès la première taille d'entretien des boutures. En réalisant cette opération, l'agricultrice tire un bénéfice. L'extrémité de la tige (35 cm) de *Draceana fragans* a une valeur marchande de 1.8€/pièce alors que *Draceana massangana* se négocie à 1.5€/pièce. Dans le même temps, au fur et à mesure des prélèvements de parties du végétal, les boutures s'épaississent et l'ouvrage gagne en robustesse et efficacité biotechnique. Dès lors, des prélèvements de pièces convenables pour réaliser d'autres ouvrages (ceux de l'exploitant lui même et/ou ceux de clients potentiels) peuvent être effectués sur les cordons en place.

Au delà de limitation de la perte de sol, la stabilisation des atterrissements vise à améliorer la productivité de l'exploitation. En effet, ces plantations pourront être valorisées et constituées un revenu complémentaire à l'agricultrice.

Les espèces retenues doivent être adaptées aux conditions climatiques et au système de culture (irrigation sous frondaison, fertilisation bananiers). Elles doivent respecter les critères suivants :

- compatibilité avec la biologie du bananier et avoir un développement végétatif en simultané
- perspective d'un complément de revenu dans le cadre du projet de développement local
- adaptation à l'organisation de travail que le système de culture bananeraie suppose
- réponse à la problématique de l'érosion à l'échelle de la ravine

Au final, cinq espèces décrites dans le tableau ci-après ont été sélectionnées. Ces espèces prisées pour l'exportation offrent des perspectives de débouchés sur la Métropole.

Pour le moment ces espèces n'ont pas été implantées car la saison des pluies 2008 n'est pas terminée et les zones d'atterrissements ne sont pas encore réellement formées (volume de sédiments déposés insuffisants). De plus, la mise en place de ces espèces sera à la charge de l'agricultrice.

→ Les espèces végétales à mettre en place contribueront à la fois, à améliorer la productivité de la parcelle et à la stabilisation des zones de dépôts (dites d'atterrissements).



Bananier décoratif



Costus



Champoo ginger



Red ginger

Figure 12 : Illustrations des espèces florales exploitées dans la ravine

Nom commun	Nom scientifique	Encombrement	Débouchés	Intérêt
Bananier décoratif	Musa decora	3m ²	Marché de détail	Ecologique
	Musa ornementa	3m ²		
Costus	Costus spicatus	1.5m ²	Compositions florales	Economique
Champoo Ginger	Zingiber zerumbert	1.5m ²		
Red Ginger	Alpinia purpurata	1.5m ²	Revendeurs	Social

Tableau 10 : Espèces pour la valorisation des atterrissements

2. Adaptation du système à une ravine instrumentée

L'équipe Cemagref suit actuellement une autre ravine à proximité. Cette ravine est depuis deux ans instrumentée pour divers projets, notamment pour le transport solide. L'instrumentation permet un suivi en continu des flux d'eau et de matières solides. Une quantification des flux de particules de terre est donc connue sur une année hydrologique. Ainsi, on peut envisager la mise en place en amont de la station de mesure de micro-barrages filtrants et connaître leur efficacité d'un point de vue quantitatif en comparant les flux avant et après mise en place des ouvrages.

3. Etendre le dispositif à d'autres bananeraies

Ce procédé pourrait s'étendre chez d'autres producteurs de bananes. Il devrait faire l'objet de recommandations et d'avertissements de la perte de sol au niveau d'exploitation du sous bassin versant, entre autres, dont les parcelles sont dans des situations topographiques et climatiques voisines. Le génie végétal pourrait même faire l'objet de mesure de soutien. En effet, leur mise en place limite la perte de sol au niveau de l'exploitation la mettant en œuvre, tout en préservant l'environnement à l'aval, d'une sédimentation possible. Pour aider les professionnels à tirer le meilleur parti de leur efficacité, leur implantation devrait être raisonnée à l'échelle de sous bassin versant. Cette échelle paraît rationnelle, pour accréditer une efficacité quantifiable sur l'impact environnemental du procédé. Dans cette optique, une mesure type MAET (MAE territorialisée adaptée au contexte local) future doit être proposée.

→ L'exploitation totale de ces ouvrages n'est donc pas à ce jour terminée. Un suivi des micro-barrages et de la ravine est en cours, et la valorisation par l'agricultrice ne commencera qu'en 2009 (fin de saisons des pluies).

Echelle considérée	Action	Mesure ou intervention	Programme
Ravine	Mise en place de barrages filtrants	Lutte anti –érosive par des techniques de génie végétal	FEADER + MAE T
Parcelle	*Paillage naturel et/ou répartition homogène des vieilles feuilles au sol *Mise en place de bandes enherbées (2m de par et d'autre du lit) * Travaux de sol en cours de culture * Amélioration de la fertilité par apport d'amendements humiques	Couverture surfacique optimale -Respect de distance de ZNT (Zone Non Traitée*) ITK favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol Rationalisation de la fertilisation azotée	
Exploitation	Diagnostic environnemental Etude technico économique comparative	Propositions d'itinéraires techniques innovants spécifiques favorisant le respect de l'environnement Contrat d'objectif : Chambre agriculture et producteurs	
Sole agricole	Diagnostic de la vulnérabilité des exploitations agricoles à l'érosion par à l'échelle du bassin versant (partenarial CA/ Cemagref) Définition de zones tampon suivant la vulnérabilité à l'érosion défini (pentes, et occupation amont)	Défense des intérêts de la profession agricole	PDAD
Sous bassin versant	Limitation de la concentration des écoulements	Récupération des eaux de pluie (habitat diffus)	SAGE Forum sur la conservation des sols à l'échelle de la collectivité locale

Tableau 11 : Tableau de synthèse des enjeux

Conclusion

Deux aspects forts ressortent de l'étude visant à limiter l'érosion sur la ravine au moyen des techniques de génie végétal.

- Le premier aspect concerne le volet curatif du problème d'érosion ravinatoire. Les résultats de cette étude permettent d'indiquer que les techniques de génie végétal sont appropriées pour lutter contre l'érosion linéaire en petite ravine. Ils se sont appuyés sur le retour d'expériences des spécialistes du traitement de cette thématique. Ceux-ci indiquent que pour vaincre l'érosion en ravine, les exploitants agricoles doivent intervenir avant que le stade ultime du ravinement soit atteint (Roose. 2000, et al). Dans ce contexte, le génie végétal offre une efficacité dans la réduction des dépôts terrigènes à l'aval de la parcelle entaillée. Dans cette optique, la généralisation des micro-barrages à l'ensemble des structures d'écoulements de l'exploitation, est envisageable. A ce jour, nous ne pouvons préciser le volume annuel de sédiments piégés par dispositif. Cependant on peut indiquer que pour les deux premiers mois de mise en service, la quantité moyenne retenue par ouvrage est de $0,022\text{m}^3$ pour une hauteur de précipitations de 364,2mm.
- Sur l'aspect préventif, des actions pour réduire la concentration des écoulements peuvent être entreprises. Tout d'abord, au niveau de l'exploitation. En effet, les eaux de ruissellement de toiture devraient être récupérées et collectées dans une citerne. Au niveau de l'itinéraire technique, il importe d'adopter des pratiques culturales favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol, l'augmentation de la fraction humique du substrat et l'homogénéité de la couverture du sol. Ce dernier point aurait l'avantage de limiter la systématisation du désherbage chimique.

Concernant les surfaces en amont, (surfaces imperméabilisées de l'habitat diffus), les volumes d'eaux concentrées traversant les champs leur sont en partie imputables. En se connectant aux structures d'écoulement propres à la parcelle agricole, elles aggravent leur creusement, sans que les exploitants puissent y remédier. Aussi, face à cette problématique, une action collective est indispensable pour solutionner l'érosion des parcelles de manière durable, sur le sous bassin versant.

A l'échelle du bassin versant, une politique d'utilisation rationnelle des sols est souhaitable. Elle implique les décideurs et acteurs locaux dans le sens d'une action multidisciplinaire qui débouche sur l'aménagement du territoire. Il s'agit de valoriser le milieu qui doit répondre aux besoins socio-économiques de la zone tout en préservant ses ressources environnementales.

Sources de la partie II : synthèse bibliographique

ABU-ZREIG M.; RUDRA R.P.; WHITELEY H.R. Validation of a vegetated filter strip model (VFSSMOD). Hydrol. Processes, 2001. N° 15. p.729–742. [1]

BARROUILLET J. La revégétalisation dans les Alpes du Sud ; choix et emploi des espèces herbacées ou arbustives. (Mémoire de 3^{ème} année ENITEF). Grenoble : Cemagref, 1982.148p. [2]

BATTANY M.C.; GRISMER M.E. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. Hydrol, 2000. Processes 14. p.1289–1304. [7] [3]

BEUSELINCK L.; STEEGEN A.; GOVERS G.; NACHTERGAELE J.; TAKKEN I.; POESEN J. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. Geomorphology, 2000. N° 32. p.69–82. [4]

BOCHET E.; POESEN J.; RUBIO J.L. Mound development as an interaction of individual plants with soil, water erosion and sedimentation processes on slopes. Earth Surface Processes Landforms, 2000. N°25. p.847–867. [5]

BONNET D. Prise en compte des risques naturels en forêt de montagne : quelques réflexions dans le cas des forêts soumises des Alpes du nord. (Mémoire de 3^{ème} année ENITEF).Grenoble: Cemagref, 1983.106 p. [6]

BURYLO et al. Abiotic and biotic factors influencing the early stages of vegetation colonization in restored marly gullies (Southern Alps, France). Ecological engineering, 2007. N° 30. p.231-239. [7]

CHONG C.W. et al. Growth of vetivergrass for cutslope landscaping : effects of container size and watering rate. Urban Forestry and Urban Greening, 2007. N° 6. p.135-141. [8]

DALTON P.A.; SMITH R.J.; TRUONG P.N.V. Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain. Hedge hydraulics, Agric. Water Manage, 1996. N° 31. p.91–104. [17] [9]

DEROUICHE A. ; BELLOT-ABAD J. ; CARTAGENA D. Effet du couvert végétal sur le comportement hydrique et le transport solide dans une pinède à sous-bois arbustif et herbacé, Bull. Réseau Erosion, 1997. N°17. p.24–36 [18] [10]

GRAY D.H.; LEISER A.T. Biotechnical slope protection and erosion control. Kreiger ED, 1982. 271 p. [11]

HANDEL S.N.; ROBINSON G.R.; PARSONS W.F.J.; MATTEI J.H. Restoration of woody plants to capped landfills: root dynamics in an engineered soil. Restoration Ecology, 1997. vol. 5. p.78-186. [12]

KIKUCHI T.; MIURA O. Vegetation patterns in relation to microscale landforms in hilly land regions. Vegetation, 1993. N°106. p.147–154. [13]

LACHAT B. Guide de protection des cours des berges de cours d'eau en technique végétale. Ministère de l'environnement. Paris, 1994. 143 p. [14]

- LEE K.H.; ISENHART T.M.; SCHULTZ R.C.; MICKELSON S.K. Nutrient and sediment removal by switchgrass and cool-season grass filter strips in Central Iowa, USA. *Agrofor. Syst*, 1999. N° 44.p.121–132. [15]
- Mc IVOR J.G.; WILLIAMS J.; GARDENER C.J. Pasture management influences runoff and soil movement in the semi-arids tropics. *Aust. J. Exp Agric*, 1995. N° 35.p.55–65. [16]
- MARTINEZ-MENA M.et al. Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. *Catena* 38, 1999.p.175-190. [17]
- MEYER L.D.; DABNEY S.M.; HARMON W.C. Sediment-trapping effectiveness of stiff-grass hedges. *Trans. ASAE*, 1995. N° 38. p.809–815. [18]
- MORGAN R.P.C. Modelling the effect of vegetation on air flow for application to wind erosion control. *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 1990. p.85-98. [19]
- MORGAN R.P.C.; RICKSON R.J. Slope stabilization and erosion control. A bioengineering approach. E & FN Spon ED, 1995. 274p. [20]
- NYSSSEN J et al. Tillage erosion on slopes with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. *Soil and Tillage research*, 2000. N° 57. p.115-127. [21]
- O'LOUGHLIN C.; XINBAO Z. The influence of fast-growing conifer plantations on shallow landsliding and earthflow movement in New Zealand steepplands. 18th IUFRO World Congress, Ljubljana (Yugoslavia) IUFRO, 1986. [22]
- PINTE K. Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la baie du Robert en Martinique. Mémoire de Master « Agronomie-Environnement » : INA P-G, 2006. 52 p. + annexes. [23]
- POESEN J. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 2003. N° 50. p.91–133. [24]
- REID K.D.; WILCOX B.P.; BRESHEARS D.D.; MAC DONALD L. Runoff and erosion in a Pinon-Juniper woodland: influence of vegetation patches. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 1999. N° 63. p.1869-1879. [43] [25]
- REY F. Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marneuses dans les Alpes du Sud. (Thèse de doctorat).Grenoble : Université Joseph Fourier / Cemagref, 2002.183 p. [26]
- REY F. Effectiveness of vegetation barriers for marly sediment trapping, *Earth Surf. Processes Landforms*, 2004. 45 p [27]
- REY F. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *C.R. Geoscience*, 2004. N°336. p. 991-998. [28]
- ROGERS R.D.; SCHUMM S.A. The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield, *J. Hydrol*, 1991. N° 123. p.19– 24. [29]
- ROVERA G. ; ROBERT Y. ; COUBAT M. ; NEDJAI R. Érosion et stades biorhexistasiques dans les ravines du Saignon (Alpes de Provence); essai de modélisation statistique des vitesses d'érosion sur marnes. *Étud. Géogr. Phys*, 1999. N° 28. p.109–115. [30]

ROOSE. ; BERTRAND R. Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest : résultats expérimentaux et observations sur le terrain. L'Agronomie tropicale, 1971. N° 26. p.1270– 1283. [31]

ROOSE E., SABIR M. Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé, Bull. Réseau Erosion, 2002. N° 21. p.33–44. [32]

SANCHEZ G.; PUIGDEFABREGAS J. Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. Geomorphology, 1994. vol. 9. p.243-260. [33]

SASSA K. The mechanism of debris flows and the forest effect, on their prevention. 18th IUFRO World Congress, Ljubljana, Yugoslavia, IUFRO, 1986. [34]

SCHIECHTL H.M.; STERN R. Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control. Blackwell Science, Oxford, UK, 1996. [35]

THORNE C.R. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. J.B. Thornes (Ed.), Vegetation and Erosion: Processes and Environments, Wiley, Chichester, 1990. p.125–143. [36]

VAN-DIJK P.M., KWAAD F.J.P.M., KLAPWIJK M. Retention of water and sediment by grass strips. Hydrological Processes, 1996. vol.10. p.1069-1080. [37]

VILES H.A. 'The agency of organic beings': a selective review of recent work in biogeomorphology. Vegetation and erosion: processes and environments. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 1990. p.5-24. [38]

ZUFFI D. Cours sur la stabilisation végétale des talus. Inspection Cantonale des Forêts, Suisse, 1989. 49 p. [39]

Sites internet :

<http://www.fao.org> [40]

<http://www.inbo-news.org> [41]

<http://jrscience.wcp.muohio.edu/nsfall00/FinalArticles/TheEffectofVegetationonEr.html> [42]

Autres sources citées dans le document :

AUGIER, S. *Méthodes de reconstitution des forêts après dégâts de tempête dans une perspective d'irrégularisation et de mélange des peuplements*. Ministère de l'écologie et du développement durable. OGE, Office de génie écologique, 2002. 53 p. [43]

BREUIL A., SARTRE C. *Plantes, milieux et paysages des Antilles Françaises*. 2007. [44]

CABIDOCHÉ, Y.M., DOREL, M., PAILLAT, J.M., ROBIN, P. *Inventaire des données scientifiques et techniques disponibles dans les DOM insulaires relatives à la fertilisation azotée des cultures, à leur conduite, au fonctionnement des aquifères et aux phénomènes de transfert d'azote dans le milieu et à leur incidence*. Proposition de recherches complémentaires pour valider les outils de fertilisation raisonnée et tester leur impact sur des bassins représentatifs. Expertise demandée par le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Direction de l'eau. 2001. 60 p. [45]

COLMET-DAAG F. *Légende-Carte des sols des Antilles à 1/20000e-Guadeloupe-Martinique (partie volcanique)*. ORSTOM, Centre des Antilles, bureau des sols. 1969. [46]

DESSE M., SAFFACHE P. *Les littoraux antillais : des enjeux de l'aménagement à la gestion durable*. Ibis Rouge Editions. 2005. 116 p. [47]

KHAMSOUK B. *Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de culture bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun-rouille à halloysite)*. Thèse de science du sol : ENSAM. 2001. 166 p + annexes. [48]

MARIE P., LUCAS G. *Etude spatiale des risques agri-environnementaux - Bassin versant de la baie du Robert*. Programme LITEAU II. Rapport intermédiaire. Cemagref. 2005, 58 p. [49]

WESTERCAMP D., TAZIEFF H. *Guides géologiques régionaux. Martinique-Guadeloupe-Saint Martin-La Désirade*. In KhamSouk, B. 1980. 2001. [50]

Sites internet :

http://www.le_vetiver.org [51]

Annexes

Liste des annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des sols martiniquais	I
Annexe 2 : Photographies illustrant les problèmes d'érosion et les pratiques utilisées dans la conduite de la bananeraie étudiée.....	II
<u>Couche 1 :</u> Contribution de la toiture du hangar au déclenchement du processus érosif	
<u>Couche 2 :</u> Influence de technique conduit influence l'organisation du processus érosif	
<u>Couche 3 :</u> Illustration de l'influence de la couverture végétale sur l'érosion	
<u>Couche 4 :</u> Aperçu des conséquences économiques de l'érosion hydrique sur l'exploitation	
<u>Couche 5 :</u> Photo illustrant la disposition exclusive des vieilles feuilles dans les andains	
Annexe 3 : Traitements des données pour l'étude du profil en long.....	VII

Annexe 1

Caractéristiques des sols martiniquais

	Types de sol	Conditions climatiques d'évolution	Minéraux dominants	Autres caractéristiques	Utilisation par l'agriculture
Sols formés sur formations volcaniques anciennes	Ferrallitiques	Tropical humide à saison sèche modérée de 3 à 4 mois (P=1700-3000 mm)	Kaolinite et parfois méta-halloysite Sols riches en hydroxydes de fer de type Goethite	-Texture argileuse à très argileuse -2 à 3 % de Matière organique (MO) -CEC= 12 à 20meq/100g de sol	Bananaïes, canne à sucre et cultures vivrières
	Ferrisols	Climat analogue aux sols ferrallitiques mais plus sec (P=1600–2300 mm)	Kaolinite Sols riches en hydroxydes de fer	-Texture argileuse (20% en surface à 50-60% en profondeur) -2,5 à 4% de MO -CEC= 15 à 25meq/100g de sol sec	Canne à sucre et bananaïes
	Vertisols	Saison sèche marquée (P=500–1500 mm)	Montmorillonite (argiles gonflantes)	-Texture argileuse (40 à 80% d'argile) -2 à 4% de MO -CEC = 80meq/100g de sol sec	Canne à sucre, cultures maraîchères, prairies
Sols formés sur formations volcaniques récentes	Sols peu évolués sur cendres et ponces ou lithosols	Sols récents évoluant actuellement sous climat tropical à saison sèche très peu marquée	Dominance de sables et de ponces	Premiers stades des sols à allophanes sans hydroxyde d'alumine	Pas d'agriculture sur ces sols
	Sols à allophane ou andosols	Localisés près des massifs volcaniques où la saison sèche est peu marquée (P=2500–5000 mm)	Allophanes (oxyhydroxyde aluminosilicique), goethite et méta-halloysite	-Forte capacité de rétention d'eau -3 à 5% de MO -CEC = 20 à 40 meq/100g de sol sec	Ananas, canne à sucre, bananaïes. Seule la pente présente dans ces zones limite l'utilisation de ces sols par l'agriculture
	Sols Brun rouille à halloysite	Climat à saison sèche peu marquée (P=1300-2500 mm)	Méta-halloysite associée à de petites quantités de gibbsite et goethite	Texture argilo sableuse à argileuse 2 à 3% de MO CEC = 8 à 10 meq/100g de sol sec	Ces sols ont une très bonne stabilité structurale et conviennent parfaitement à la culture de la canne à sucre et celle de la banane
	Sols sur alluvions	Localisées principalement dans les plaines centrales	Tous types de minéraux argileux (des argiles gonflantes aux argiles de type kaolinite)		Canne à sucre

Annexe 2
Illustrations de l'érosion et des pratiques sur le site d'étude

Couche de photos 1 : Contribution de la toiture du hangar au déclenchement du processus érosif



Ecoulement des eaux de toiture non recueillies participe au ruissellement au sein de la parcelle



La répartition hétérogène des vieilles feuilles (uniquement dans les andains expose une partie de la surface (non recouverte) à l'érosion en nappe

: Surface non couverte)



Couche de photos 2: L'itinéraire technique conduit influence l'organisation du processus érosif

Parcelle amont

Le travail du sol, réalisé dans le sens de la pente sur de grandes distances au niveau des versants expose les parcelles en aval



Les désherbages systématiques des abords de la parcelle et du lit de la ravine élimine le couvert végétal et mettent à nu le sol. Il est vulnérable en cas de pluie

Parcelle aval

Empreinte d'un tracé de l'eau impactant dans la bananeraie où la ravine se creuse au fil des intempéries



Couche de photos 3 : Illustration des conséquences de l'absence de couvert végétal au niveau surfacique



Erosion en nappe due à l'écoulement le long des pseudos troncs et l'arrivée des eaux de toiture

P
E
N
T
E

7
%



Photo d'illustration des conséquences de l'effet conjugué de la pente et de l'érosion en nappe : l'érosion linéaire est amorcée : elle se traduit par la formation de rigoles

Couche de photos 4 : Aperçu des conséquences économiques de l'érosion hydrique sur l'exploitation



Chute de bananiers observés au niveau des berges



Espace de dépôt de sédiments

Traduction de l'érosion linéaire : la fraction de sol emportée par le ruissellement est transportée par l'énergie cinétique de l'eau. Les sédiments sont déposés en différents points du lit de la ravine.

Couche 5 : Photo illustrant la disposition exclusive des vieilles feuilles dans les andains et ses conséquences

Surfaces exposées à l'érosion en nappe et à l'effet splash



Les berges de la ravine sont exposées en l'absence de couverture (désherbage systématiques des abords et ruissellement des eaux de pluies depuis les feuilles jusqu'à la base du bananier



La masse foliaire du bananier ne couvre pas toute la surface du sol

Ainsi les surfaces non couvertes par les feuilles sont exposées à l'impact direct de la pluie

Annexe 3 Traitement des données

Entrée des données brutes :

Toutes les données prises sur le terrain doivent être dans un premier temps enregistrées sur Excel afin d'assurer la sauvegarde des relevés.

Une colonne « Vérification » sera rajoutée et permettra de valider les données rentrées sur Excel et de se rendre ainsi compte des erreurs de frappes lors de la rentrée des données ou des erreurs de lecture.

Etant donné que $h_{\min}$ et $h_{\max}$ sont situées à égale distance de h ; $[(h_{\min} + h_{\max})/2]$ devrait être égale à h . C'est ce que la colonne va nous permettre de vérifier.

Point visé	h min	h	h max	Vérif	α		Observations
					boussole	grades	
						0	
						0	

position du niveau
1

position du niveau
2

= SI [(hmin + hmax)/2] = h ; 0 ; 1

Ajustement des données

Un autre tableau identique au précédent permettra d'ajuster et de corriger les données qui nous semblent incohérentes ou les plus improbables avec l'idée que l'on a du terrain.

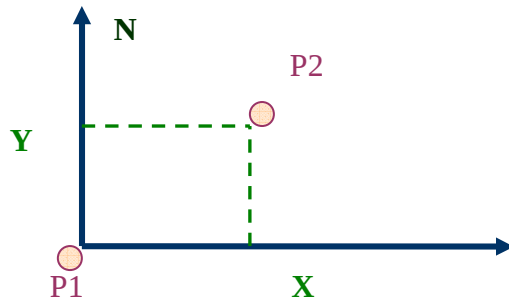
Ainsi, les hauteurs seront réajustées suite à la vérification réalisée précédemment.

Point visé	h min	h	h max	α		Observations
				boussole	grades	
					0	
					0	

position du niveau
1

position du niveau
2

- Les coordonnées X-Y du point seront calculées.
 - o Axe des ordonnées : sud-nord
 - o Axe des abscisses : ouest-est
 - o L'origine est le premier point « p1 »



P2

$$X = d \times \cos [(a \times \pi) / 180]$$

$$Y = d \times \sin [(a \times \pi) / 180]$$

- en h', les variations de hauteurs seront mesurées par rapport au premier point auquel sera attribuée la valeur 0
 - h'1 = 0
 - h'2 = h'1 + (h1 - h2)
 - h'3 = h'1 + (h1 - h3)
 -
 - h'8 = h'7
 - h'9 = h'7 + (h8 - h9)
 -

A ce stade là, on se retrouve avec plusieurs repères qu'il va falloir associer entre eux. Cette association se fera grâce aux points repères. Ces points ont été visés par les deux positions du niveau et permettent ainsi de recaler les points dans le référentiel principal dont l'origine est le premier point visé.

Repère initial

Repère principal

X	Y (nord)	h'	X'	Y' (nord)	h'
X1	Y1	h'1	X'1	Y'1	h'1
X2	Y2	h'2	X'2	Y'2	h'2
X3	Y3	h'3	X'3	Y'3	h'3
X4	Y4	h'4	X'4	Y'4	h'4
X5	Y5	h'5	X'5	Y'5	h'5
X6	Y6	h'6	X'6	Y'6	h'6
X7	Y7	h'7	X'7	Y'7	h'7
X8	Y8	h'8	X'8	Y'8	h'8
X9	Y9	h'9	X'9	Y'9	h'9
X10	Y10	h'10	X'10	Y'10	h'10
X11	Y11	h'11	X'11	Y'11	h'11
X12	Y12	h'12	X'12	Y'12	h'12
X13	Y13	h'13	X'13	Y'13	h'13
X14	Y14	h'14	X'14	Y'14	h'14

Le repère principal à pour origine le premier point visé. On pose donc

- $X'1 = 0$
- $Y'1 = 0$

Auquel on lui associe la hauteur 0 d'où $h'1 = 0$

X	Y (nord)	h'	X'	Y' (nord)	h'
X1	Y1	0	0	0	0
X2	Y2	h2	X2	Y2	h2
X3	Y3	h3	X3	Y3	h3
X4	Y4	h4	X4	Y4	h4
X5	Y5	h5	X5	Y5	h5
X6	Y6	h6	X6	Y6	h6
X7	Y7	h7	X7	Y7	h7
X8	Y8	h8	X8	Y8	h8
X9	Y9	h9	X9	Y9	h9
X10	Y10	h'10	X'10	Y'10	h'10
X11	Y11	h'11	X'11	Y'11	h'11
X12	Y12	h'12	X'12	Y'12	h'12
X13	Y13	h'13	X'13	Y'13	h'13
X14	Y14	h'14	X'14	Y'14	h'14

Pour recaler les points du repère initial au repère principal :

- $Y'2 = Y2 + (Y'1 - Y1)$
- $Y'3 = Y3 + (Y'1 - Y1)$
-
- $Y'8 = Y'7$
- $Y'9 = Y9 + (Y'8 - Y8)$
- $Y'10 = Y10 + (Y'8 - Y8)$
-

La ravine est linéaire sur toute sa longueur du fait de l'écoulement rapide de l'eau lors de son passage dans la ravine.

Afin de positionner les points les uns par rapport aux autres, notamment lorsque l'on fait des allers et retour avec la mire, une dernière colonne intitulée « distance par rapport à l'exutoire » va permettre de positionner les points les uns par rapport aux autres.

Distance par rapport à l'exutoire
d1
d2
d3
d4
d5
d6
d7
d8
d9
d10
d11
d12
d13
d14

- $d1 = 0$
- $d2 = [(X'1 - X'2)^2 + (Y'1 - Y'2)^2]^{0,5}$
- $d3 = [(X'1 - X'3)^2 + (Y'1 - Y'3)^2]^{0,5}$
-
- $d8 = d7$
- $d9 = [(X'1 - X'9)^2 + (Y'1 - Y'9)^2]^{0,5}$
- $d10 = [(X'1 - X'10)^2 + (Y'1 - Y'10)^2]^{0,5}$
-