Pacific Community
Communauté du Pacifique

RESCCUE

L3.1

PROPOSITIONS D'ACTIONS

« ACCOMPAGNEMENT DES PRATIQUES AGRICOLES DURABLES » -

DOMAINE DE 'OPUNOHU, MOOREA, POLYNESIE FRANÇAISE.

AFD

FONDS FRANÇAIS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

L'opérateur en charge de la réalisation du projet RESCCUE en Polynésie française, sous le double contrôle de la CPS et du Gouvernement de la Polynésie française, représentée par sa Direction de l'Environnement, est :

L'Agence des aires marines protégées désormais Agence française pour la biodiversité (AFB) depuis le 01/01/2017, avec l'IRCP, l'Université de la Polynésie française, Créocéan, le GIE Océanide, PTPU, Vertigo Lab, les associations SOP Manu et Te mana o te moana, et plusieurs consultants individuels.

Agence française pour la biodiversité (AFB) **Ex Agence des aires marines protégées (AAMP)** Mahé CHARLES mahe.charles@aires-marines.fr	**Océanide** Jean-Brice HERRENSCHMIDT ddatpacific@gmail.com
Créocéan Julien GUILLET guillet@creocean.fr	**IRCP-EPHE** Serge PLANES planes@univ-perp.fr
SOP Manu Thomas GHESTEMME tghestemme@manu.pf	**Te mana o te moana** Cécile GASPAR cecile.gaspar@gmail.com
PTPU Charles EGRETAUD charles.egretaud@ptpu.pf	**Université de Polynésie française (UPF)** Nabila GAERTNER-MAZOUNI nabila.gaertner-mazouni@upf.pf
Vertigo Lab Thomas BINET thomasbinet@vertigolab.eu	**ADEPRINA** Harold LEVREL harold.levrel@agroparistech.fr
Commune des Gambier Teicho PAEMARA teicho.paeamara@gmail.com	Hervé LALLEMANT, juriste lallemant.herve@gmail.com
Jean-François BUTAUD, consultant jfbutaud@hotmail.com	Annie AUBANEL, consultante annie.aubanel.3@gmail.com

Version	Date d'envoi
Version 1 transmise à la Diren et à la CPS	07/09/2016
Version 1 annotée par la Diren	19/09/2016
Version 1 commentée par la CPS	04/10/2016
Version 2 transmise à la Diren et à la CPS	15/12/2016
Version 2 commentée par la Diren	27/12/2016
Version 2 commentée de nouveau par la CPS	26/01/2017
Version 3 transmise à la Diren et à la CPS	15/02/2017

Photographie de couverture : Champ d'ananas dans le domaine de 'Opunohu (T. BINET, 2016)

Rédacteur Principal/Contributeur (s)	**Date de publication**
Thomas Binet, Florent Giry, Ambre Diazabakana (Vertigo Lab)	À préciser une fois validé

Rappel des objectifs et composantes du projet RESCCUE

Le projet RESCCUE (Résilience des Ecosystèmes et des Sociétés face au Changement Climatique) vise à contribuer à accroître la résilience des pays et territoires insulaires du Pacifique face aux changements globaux, par la mise en œuvre de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Il prévoit notamment de développer des mécanismes de financement innovants pour assurer la pérennité économique et financière des activités entreprises. Ce projet régional opère sur un à deux sites pilotes dans chacun des pays et territoires suivants : Fidji, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française et Vanuatu.

RESCCUE est financé principalement par l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM), pour une durée de cinq ans (01/01/2014 - 31/12/2018). Le montant global du projet est estimé à 13 millions d'Euros. La CPS bénéficie d'un financement total de 6,5 millions d'euros : une subvention de l'AFD octroyée en deux tranches (2013 et 2016 à hauteur de 2 et 2,5 millions d'Euros respectivement), et une subvention du FFEM de 2 millions d'Euros. Le projet RESCCUE fait en complément l'objet de cofinancements. Sa maîtrise d'ouvrage est assurée par la Communauté du Pacifique (CPS), assisté par les gouvernements et administrations des pays et territoires concernés. La Polynésie française assure donc le rôle d'assistant à maitrise d'ouvrage aux côtés de la Communauté du Pacifique (CPS).

RESCCUE est structuré en cinq composantes :

Composante 1 - Gestion intégrée des zones côtières : Il s'agit de soutenir la mise en œuvre de la GIZC « de la crête au tombant » à travers l'élaboration de plans de GIZC, la mise en place de comités ad hoc, le déploiement d'activités concrètes de terrain tant dans les domaines terrestres que marins, le renforcement des capacités et le développement d'activités alternatives génératrices de revenus.

Composante 2 - Analyses économiques : Cette composante soutient l'utilisation d'une large variété d'analyses économiques visant d'une part à quantifier les coûts et bénéfices économiques liés aux activités de GIZC, d'autre part à appuyer diverses mesures de gestion, politiques publiques et mises en place de mécanismes économiques et financiers.

Composante 3 - Mécanismes économiques et financiers : Il s'agit de soutenir la mise en place de mécanismes économiques et financiers pérennes et additionnels pour la mise en œuvre de la GIZC : identification des options possibles (paiements pour services écosystémiques, redevances, taxes, fonds fiduciaires, marchés de quotas, compensation, certification…) ; études de faisabilité ; mise en place ; suivi.

Composante 4 - Communication, capitalisation et dissémination des résultats du projet dans le Pacifique : Cette composante permet de dépasser le cadre des sites pilotes pour avoir des impacts aux niveaux national et régional, en favorisant les échanges d'expérience entre sites du projet, les expertises transversales, la dissémination des résultats, en particulier au cours d'événements à destination des décideurs régionaux, etc.

Composante 5 - Gestion du projet : Cette composante fournit les moyens d'assurer la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre du projet, l'organisation des réunions des comités de pilotage, des évaluations et audits, etc.

Table des matières

Résumé exécutif 8
Préambule 12
Introduction 14
Le domaine de 'Opunohu et ses écosystèmes 14
Contexte climatique 14
Contexte pédologique et topographique 15
Contexte écologique 18
Services écosystémiques 19
Les pratiques agricoles sur le domaine 24
Les impacts environnementaux de la culture d'ananas sur les écosystèmes de 'Opunohu 28
Typologie des impacts 28
Services écosystémiques impactés 31
Pratiques durables et perspectives technico-économiques 32
Programme 1 : pratiques minimales 34
Perfectionner la culture en courbes de niveau 34
Recourir à des bandes d'arrêt enherbées autour des parcelles et des pistes 34
Réorganiser l'orientation des pistes 35
Entretenir l'empierrement des voies principales 36
Programme 2 : volonté de changement 36
Recourir aux haies vives et « cash crop » en complément des bandes enherbées 36
Remplacer le brulis des résidus de culture par le paillage naturel (« mulch ») 36
Réduire le travail du sol et passer au non labour 37
Recourir à des bordures arbustives pour les pistes à risque 38
Programme 3 : effort important 39
Aménager des baissières entre les parcelles et les pistes situées en leur aval 39
Aménager des caniveaux de diversion des eaux pluviales en amont des parcelles 39
Aménager des fossés de bordure le long des pistes à risque 40
Empierrer toutes les pistes à risque et enherber les pistes secondaires 40
Aménager des bancs de diversion sur les pistes à risque 41
Les mesures non recommandées dans ces programmes 42
Bénéfices agronomiques : la difficile mesure des impacts de l'érosion sur les rendements agricoles 42
Les incitations au service du changement des pratiques agricoles 44
Bref historique de l'approche des agriculteurs pour les pratiques antiérosives sur le domaine de 'Opunohu 46
Quels leviers d'actions pour la mise en œuvre de pratiques antiérosives ? 47
Conclusion 48
Références 50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des évènements pluviométriques sur le domaine de 'Opunohu *15*

Tableau 2 : Services écosystémiques pris en compte dans l'étude *20*

Tableau 3 : Valeur économique des services écosystémiques des RCEA de Polynésie française *21*

Tableau 4 : Services écosystémiques potentiellement fournis par les écosystèmes de la baie et de la vallée de 'Opunohu *24*

Tableau 5 : Services écosystémiques potentiellement impactés par les pratiques culturales actuelles de l'ananas *32*

Tableau 6 : Proposition de 3 programmes de mesures de techniques antiérosive sur les parcelles sous ananas du domaine de 'Opunohu *33*

Tableau 7 : Distance maximale entre deux bancs de diversion selon la pente et l'érodibilité du sol *41*

Tableau 8 : Types de changements en fonction du rythme et de l'intentionnalité *44*

Listes des figures

Figure 1 : Moyennes mensuelles de la pluviométrie (à gauche) et des températures (à droite) à 'Opunohu de 1971 à 2000 14

Figure 2 : Différences entre les deux grands types de sol sur le domaine de 'Opunohu 16

Figure 3 : Carte des sols de la vallée de 'Opunohu 17

Figure 4 : Carte des récifs coralliens de Moorea 19

Figure 5 : De l'écosystème à la valeur économique qu'il génère 20

Figure 6 : Carte des unités écologiques de la baie et vallée de 'Opunohu 22

Figure 7 : Carte des bassins versants et ouvrages hydrauliques de la baie et vallée de 'Opunohu 23

Figure 8 : Parcelle prête à recevoir les plants d'ananas 25

Figure 9 : Plantation des ananas en lignes jumelées, en quinconces 25

Figure 10 : Fleur (haut) et fruit (bas) d'ananas du domaine de 'Opunohu 26

Figure 11 : Carte des formations végétales de la baie et vallée de 'Opunohu 27

Figure 12 : Détail de la zone encadrée dans la carte précédente présentant les parcelles en culture d'ananas du domaine 28

Figure 13 : Qualité des eaux de consommation à Moorea 30

Figure 14 : Qualité bactériologique des points de surveillance pour la qualité des eaux de baignades à Moorea 30

Figure 15 : Schéma d'orientation optimale des lignes d'ananas pour respecter les courbes de niveau 34

Figure 16 : Schéma d'aménagement de bandes enherbées de vétiver autour des parcelles et pistes . 35

Figure 17 : Orientation des pistes souhaitable pour limiter le ruissellement et l'érosion 36

Figure 18 : Schéma d'aménagement de haies vives et « cash crop » autour des parcelles 36

Figure 19 : Schéma du recours au paillage naturel 37

Figure 20 : Schéma général des horizons d'un sol agricole 38

Figure 21 : Schéma de l'aménagement de bordures arbustives pour une piste 38

Figure 22 : Schéma de l'aménagement d'une baissière 39

Figure 23 : Schéma d'aménagement de caniveaux de diversion des eaux pluviales en amont des parcelles 40

Figure 24 : Schéma d'aménagement des fossés de bordures le long des pistes principales 40

Figure 25 : Schéma de l'empierrement et de l'enherbement possible des pistes principales et secondaires 41

Figure 26 : Schéma d'une piste aménagée avec des bancs de diversion 42

Figure 27 : Potentiels gains de productivité des terres en fonction de la date de début d'intervention antiérosive 43

Figure 28 : Jeune plantation sans respect des courbes de niveau 46

Figure 29 : Rangée de citrus le long d'une piste 47

Résumé exécutif

Pour appuyer le gouvernement de la Polynésie française dans la lutte contre l'érosion terrigène qui menace la qualité paysagère et environnementale de ses territoires, le projet RESCCUE prévoit le développement d'arguments économiques en faveur de pratiques agricoles antiérosives.

Ces arguments doivent inciter les agriculteurs à adopter de nouvelles pratiques agricoles qui seront testées dans le cadre d'un plan de développement expérimental sur plusieurs sites pilotes de la baie de 'Opunohu située au nord de l'île de Moorea. Ces arguments doivent également convaincre les décideurs, et en particulier le Service du Développement Rural (SDR), de la nécessité d'appuyer les agriculteurs dans la mise en œuvre de pratiques agricoles durables.

La première étape de ce travail vise à qualifier les bénéfices attendus de la mise en œuvre du plan de développement agricole, en cours de définition, sur 'Opunohu. Pour cela, les impacts environnementaux des pratiques agricoles, dont l'érosion des sols, sont d'abord convertis en perte de services écosystémiques. Les services écosystémiques représentent en effet des bénéfices pour les individus et la société auxquels il est possible d'estimer une valeur économique. Ensuite, la réduction des impacts environnementaux des pratiques agricoles est questionnée pour trois orientations possibles du plan de développement agricole.

L'érosion des sols, principale source de préoccupation concernant les impacts environnementaux de la culture d'ananas à 'Opunohu, peut découler de différentes pratiques culturales : une couverture végétale spatialement et temporellement incomplète, la culture de plantes à racines peu profondes donc peu stabilisatrices, le recours à des pratiques culturales endommageant la structure des horizons superficiels et leur capacité d'infiltration de l'eau (Sabatier *et al.*, 2014). Les pistes nécessaires à l'accès aux parcelles peuvent également devenir des « couloirs de ruissellement ». Les sédiments terrigènes résultant des phénomènes d'érosion peuvent ensuite atteindre les rivières et finalement le lagon, notamment lors des pluies violentes. Or, la sédimentation des récifs coralliens réduit leur croissance et leur métabolisme, modifient la structure des peuplements, réduisent la richesse spécifique et le recrutement des larves et peuvent conduire à une mort partielle ou totale des coraux (Broucke, 2010; Risk and Edinger, 2011; Rogers, 1990).

Les récifs coralliens et les lagons ont un rôle majeur dans le maintien des services potentiellement fournis par la baie de 'Opunohu : services d'approvisionnement (pêche, production agricole, soutien d'étiage, etc.), services culturels (tourisme, recherche, etc.) et services de support et de régulation (protection contre l'érosion côtière, stockage du carbone, biodiversité, etc.). Ainsi, l'érosion terrigène induite par certaines pratiques agricoles sur Opunohu peut potentiellement impacter la fourniture de ces services écosystémiques (Tableau 1). Notamment :

- les services culturels supports des activités touristiques dans la baie de 'Opunohu (p. ex. maintien de la qualité des eaux de baignade pour les activités sportives en mer, maintien de la qualité des paysages sous-marins pour la plongée, production de biomasse d'intérêt halieutique pour la pêche de loisirs), potentiellement les plus impactés par l'érosion et les apports terrigènes dans le lagon (Dumas and Cohen, n.d.; Faure, n.d.; Moullet and Saffache, 2006; Saffache, n.d.).

- Le service de support pour la biodiversité, fortement impacté par l'augmentation de la turbidité liés aux apports terrigènes, surtout pour les écosystèmes lagonaires et coralliens (Broucke, 2010; Risk et Edinger, 2011; Rogers, 1990).

- Le service de régulation de la qualité des eaux arrivant dans le lagon fourni par les zones humides, essentiel pour limiter la turbidité dans le lagon, peut également être impacté par

un excès de sédiments qui risquerait de saturer les capacités épuratives des vasières et rivières (les pierres présentes au fond des rivières participent à retenir les sédiments).

- Le service de fourniture d'eau potable par les rivières, déjà altéré à 'Opunohu (Fig. 13), qui peut être encore réduit par l'augmentation de la turbidité des cours d'eau liées à l'érosion en amont.
- De façon plus incertaine et difficile à mesurer, les services écosystémiques associés à la pêche et à la protection côtière par les récifs coralliens pourraient être réduits.

Tableau 1 : Services écosystémiques potentiellement impactés par les pratiques culturales actuelles de l'ananas

0 : pas d'impact potentiel sur la capacité du type d'écosystème à fournir le service écosystémique considéré ; 1 : impact faible ; 2 : impact moyen ; 3 : impact fort

	Approvisionnement					**Culturels**		**Régulation et support**					
	Pêche récifo-lagonaire	Production aquacole et perlière	Production agricole	Production sylvicole et produits non ligneux	Soutien d'étiage et eau potable	Tourisme, plaisance, plongée et pêche de loisir	Support de recherche et d'éducation	Protection contre l'érosion côtière	Protection contre les cyclones et tsunamis	Régulation de l'érosion terrigène	Régulation de la qualité des eaux lagonaires	Régulation du climat global	Support pour la biodiversité
Rivières	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	0	2
Vasières et mangroves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Plages de sable blanc	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Lagons	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Récifs coralliens	1	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	0	3

Trois orientations pour le plan de développement agricole, correspondant à des degrés d'investissement croissants, sont ainsi proposées dans le Tableau 2 pour limiter la pression d'érosion et la perte en services écosystémiques associées.

Tableau 2 : Proposition de 3 programmes de mesures de techniques antiérosive sur les parcelles sous ananas du domaine de 'Opunohu

Légèrement efficace | Relativement efficace | Efficace

Technique	**Programme 1 : *pratiques minimales***	**Programme 2 : *volonté de changement***	**Programme 3 : *effort important***
Culture en courbe de niveau	x	x	x
Billonnage en courbe de niveau			
Bandes d'arrêt enherbées	x	x	x
Haies vives		x	x
Plantations de contour "cash crop"		x	x
Brulis des résidus	x		
Enfouissement des résidus			
Paillage naturel		x	x
Paillage artificiel			
Plantes de couverture			
Culture en bandes de cycles différents			
Non labour / Travail réduit		x	x
Baissières			x
Caniveaux de diversion des eaux pluviales			x
Orientation des pistes	x	x	x
Bordures enherbées	x	x	x
Bordures arbustives		x	x
Fossés de bordure			x
Empierrement / Enherbement	x	x	x
Couverture artificielle des pistes			
Bancs de diversion			x

Il conviendra dès lors de définir un plan de développement agricole suivant l'une de ses orientations et d'inciter les agriculteurs à le mettre en œuvre pour suivre l'évolution de l'érosion et ses conséquences en fonction des pratiques antiérosives choisies.

L'implication des agriculteurs sera donc indispensable à l'adoption des pratiques recommandées : des incitations seront ainsi nécessaires pour convaincre l'ensemble des agriculteurs du domaine de la faisabilité du changement de pratique requis. Pour cela, le projet RESCCUE prévoit, dans les prochaines étapes du projet, la formalisation d'une fiche technico-économique pour différentes cultures agricoles (ananas au premier chef) afin de guider les agriculteurs intéressés pour la mise en œuvre technique de cultures antiérosives d'une part et leur offrir une idée des coûts de production et marges économiques estimées les premières années et les années suivantes d'autre part.

Préambule

Ce premier rapport s'inscrit dans le cadre d'un travail mené en partenariat avec le projet INTEGRE visant à accompagner les agriculteurs du site de 'Opunohu vers des pratiques agricoles durables.

Une partie des activités financées par le projet INTEGRE portent sur la caractérisation technique des pressions d'érosion constatées sur le Domaine de 'Opunohu et sur le développement d'un plan d'expérimentation de pratiques durables principalement antiérosives[1], sur des parcelles pilotes. Ainsi, pour lutter contre l'érosion terrigène qui menace la qualité environnementale et paysagère du site, les activités financées par le projet INTEGRE incluent :

- Une revue des différents processus d'érosion observés sur le domaine de 'Opunohu (finalisée en septembre 2016);
- Une revue des techniques antiérosives déjà mises en œuvre au niveau des parcelles et des pistes du domaine (finalisée en septembre 2016);
- L'élaboration d'un plan d'expérimentation des pratiques antiérosives sur plusieurs parcelles pilotes (en cours); et
- La préparation de fiches techniques sur la lutte contre l'érosion sur le Domaine de 'Opunohu (prévue pour mai 2017).

Le projet RESCCUE a pour objectif d'–appuyer ce travail technique en apportant des arguments économiques en faveur de la mise en œuvre des pratiques antiérosives qui seront retenues pour l'expérimentation locale. Pour cela, le présent rapport propose d'abord la traduction des pressions associées aux pratiques agricoles de 'Opunohu en termes d'impacts sur les services écososytémiques; ensuite, il identifie trois grandes orientations pour le plan d'expérimentation des pratiques durables et leurs effets possibles sur la qualité environnementale du site. Ces deux résultats serviront, dans la suite du projet, à qualifier les bénéfices économiques attendus de la mise en œuvre du plan d'expérimentation, une fois ce dernier consolidé. Ces arguments économiques doivent servir de plaidoyer pour convaincre d'une part, les agriculteurs de la rentabilité des pratiques durables qu'ils mettront en œuvre ; et d'autre part, les décideurs, et en particulier le SDR,de la nécessité d'appuyer les agriculteurs dans cette transition. Ainsi, le projet RESCCUE prévoit la réalisation des activités suivantes :

- Une étude des pratiques agricoles (antiérosives ou non) sur le Domaine de 'Opunohu ;
- Une étude des impacts de ces pratiques sur la qualité environnementale du site et par voie de conséquence sur les services écosystémiques du bassin de 'Opunohu, supports de nombreuses activités économiques;
- La définition de trois grandes orientations pour le plan d'expérimentation des pratiques durables ; et
- Une première discussion sur les bénéfices attendus de ces stratégies, les freins à leur mise en œuvre et les moyens d'inciter les acteurs économiques à ces changements de pratiques.

Clairement, comme évoqué à plusieurs reprises lors du montage du projet, l'étude d'accompagnement vers des pratiques durables réalisée par RESCCUE dépend fortement des apports sur les aspects techniques du projet INTEGRE. Le projet RESCCUE complètera ce travail en proposant des orientations pour la prise de décision : il analyse les pratiques les plus faciles à mettre en œuvre dans le contexte agricole de 'Opunohu tout en garantissant la réduction de la pression d'érosion.

[1] Pour son volet « qualité environnementale et paysagère », les actions du projet INTEGRE validées sur le site de 'Opunohu visent à 1) réduire les phénomènes d'érosion sur le site et 2) réduire les apports d'intrants chimiques et organiques dans l'agriculture.

Ce rapport initie la thématique « pratiques agricoles durables » du projet RESCCUE sur le site pilote de ’Opunohu. Il sera suivi par une étude économique des pratiques retenues (coûts de mise en œuvre/conversion et de maintien de ces mesures agro-environnementales – MAE) sous forme de fiches technico-économiques, qui sera réalisée durant une mission de terrain de Vertigo Lab en avril 2017 et par une étude de faisabilité de mécanismes de financement de la mise en œuvre de ces pratiques qui sera finalisée pour le mois d’août 2017.

Les préconisations formulées dans ce rapport devaient à l’origine être appuyées par l’expérimentation conduite sur des parcelles pilotes du Domaine et les résultats obtenus par les changements de pratiques. Lors de la préparation de ce rapport mi-2016, l’expérimentation n’était pas encore en place. Aussi, les préconisations formulées ici s’appuient essentiellement sur une revue bibliographique et des entretiens avec les personnes ressources sur le sujet et les agriculteurs du Domaine, consultés pour cette étude. Fin janvier 2017, plusieurs réunions de concertation avec les agriculteurs de ‘Opunohu ont été organisées et ont conduit à la validation des premières mesures qui seront mises en œuvre dès février 2017 dans le cadre du plan expérimental. Les mesures seront donc mises en œuvre ou en cours d’implémentation lors de la mission de terrain en avril 2017. L’équipe de Vertigo Lab est en contact régulier avec le SDR qui anime la concertation auprès des agriculteurs du site d’expérimentation.

Introduction

La baie de ’Opunohu est située au nord de l’île de Moorea, au cœur de l’archipel de la Société de Polynésie française. Ses principales activités économiques sont le tourisme et la pêche d’une part, qui capitalisent sur l’environnement exceptionnel de l’île, notamment ses récifs coralliens, et la culture de l’ananas d’autre part. Cette culture est souvent réalisée sur des terrains en pente qui peuvent présenter notamment de forts symptômes d’érosion lié à la forte pluviométrie de la baie et à des pratiques agricoles non durables. Ces pratiques peuvent avoir des conséquences lourdes sur les écosystèmes de la baie particulièrement sensibles aux variations de la qualité de l’eau (turbidité liée à l’érosion terrigène, traces de pesticides, apports azotés favorisant la prolifération de certaines algues, etc.), et sur les services écosystémiques associés. Pour assurer la préservation de ces écosystèmes et des activités qui y sont liées (tourisme, pêche) ainsi que des potentiels productifs à long terme des parcelles cultivées, l’adoption de pratiques agricoles plus durables semble indispensable dans le cadre d’une gestion intégrée des zones côtières.

Cette étude dresse un diagnostic des impacts environnementaux des pratiques agricoles actuelles sur le domaine de ’Opunohu où sont cultivées les ananas. Elle propose ensuite des programmes de mesures à mettre en place pour limiter l’érosion sur les parcelles exploitées et les pistes d’accès et offre une réflexion sur les aspects technico-économiques et les moyens de conduire le changement de pratiques agricoles en collaboration avec les agriculteurs locaux.

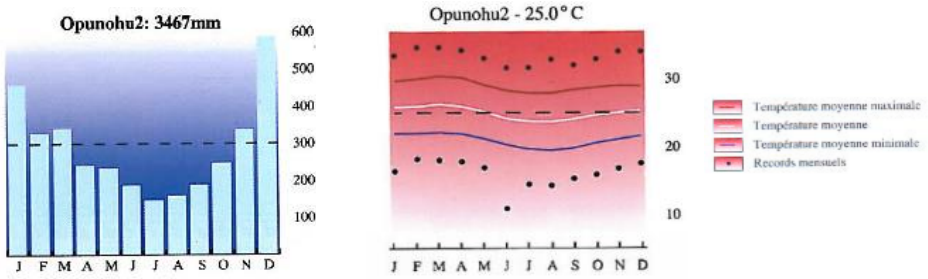
Diagnostic du domaine de ’Opunohu : les impacts environnementaux des pratiques agricoles sur la Baie

Le domaine de ’Opunohu et ses écosystèmes

Contexte climatique

L’archipel de la Société bénéficie d’un climat tropical humide affecté par la proximité de l’océan et la présence d’un important relief. Les îles montagneuses comme Moorea sont soumises à l’influence des alizés soufflant du sud-est durant la majeure partie de l’année. Les côtes Est, au vent, sont plus arrosées que les côtes Ouest sous le vent. Deux saisons peuvent être distinguées : une saison chaude et humide d’octobre à mai, en particulier très active de novembre à février, et une saison plus sèche et relativement plus fraîche de juin à septembre. Lors de la saison des pluies, les précipitations sont brutales et peuvent être importantes en durée et en volume. La température moyenne est de 26°C au niveau de la mer et décroit avec l’altitude avec 25°C à 100 m et 24°C à 300 m.

Le relief de la baie favorise les précipitations orographiques et des microclimats dans la vallée. La pluviométrie y est ainsi de 3 467 mm/an (Laurent *et al.*, 2004), bien plus importantes que les 2 200 mm/an enregistrés à la station d’Afareaitu sur la côte Sud-Est de Moorea (Gonnot and Binet, 2004)



(Fig. 1). La moitié des précipitations tombent entre décembre et mars.

Source : Laurent *et al.* (2004)

Figure 1 : Moyennes mensuelles de la pluviométrie (à gauche) et des températures (à droite) à ’Opunohu de 1971 à 2000

L'humidité de l'air toujours très forte renforce le caractère d'extrême humidité du milieu, entraînant une végétation importante et relativement luxuriante. Les événements pluviométriques sont répartis en moyenne comme indiqué dans le Tab. 1. Les pluies sur le domaine de 'Opunohu apparaissent très fréquentes, et souvent de forte intensité. Ce climat humide semble extrêmement favorable à des phénomènes marqués d'érosion hydrique.

Tableau 1 : Répartition des évènements pluviométriques sur le domaine de 'Opunohu

Evènement pluviométrique (en mm)	*Nombre de jours concernés*
E < 0,1	42
0,1 < E < 10	217
10 < E < 50	81
50 < E < 100	21
E > 100	4

Source : Gonnot and Binet (2004)

Contexte pédologique et topographique

La couverture pédologique de la partie haute de 'Opunohu est constituée de deux grands types de sols : les sols brunifiés tropicaux, et les sols ferralitiques (Tanret *et al.*, 2011).

Les sols brunifiés sont présents sur les pentes supérieures à 20 % et sont de trois types :

- Les sols peu évolués d'érosion brunifiés lithiques, présents sur les pentes les plus fortes (de plus de 100 %) où l'érosion ne permet qu'un faible développement du sol. Ces sols sont fortement érodés, parsemés de blocs rocheux ou laissant affleurer la roche à la surface. Ces sols sont inaptes à toute mise en valeur, et doivent absolument conserver leur couverture végétale pour être préservés.

- Les sols bruns eutrophes tropicaux peu différenciés, présents sur les pentes moins fortes (50 % à 100 %), sont peu développés mais ont une profondeur supérieure aux précédents, qui peut aller jusqu'à 60 cm. Malgré leur bonne fertilité physico-chimique, ils ne présentent pas d'intérêt agricole en raison des fortes pentes impraticables. Leur couverture végétale doit également être maintenue.

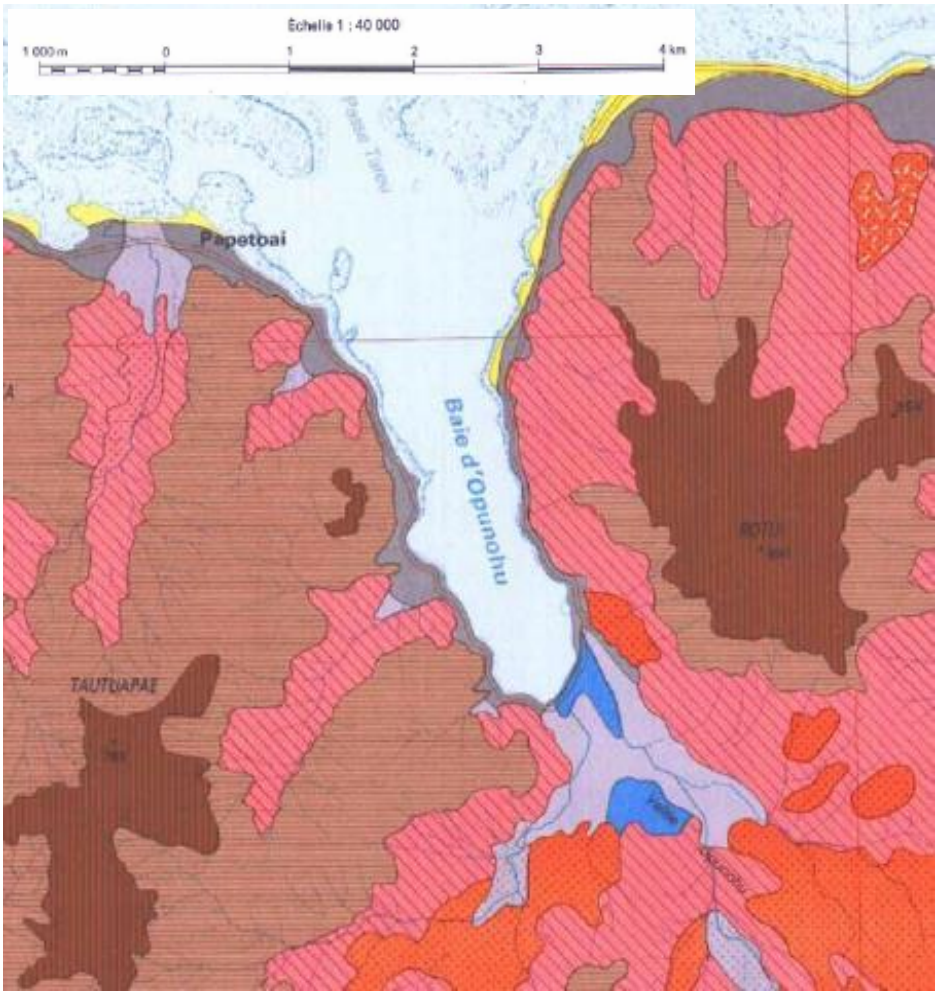
- Les sols bruns eutrophes tropicaux humifères, présents sur les pentes relativement plus modérées (20 % à 50 %), ont atteint un stade d'évolution avancé malgré leur faible profondeur. Ces sols ont une bonne fertilité chimique grâce à leur richesse en matière organique et en éléments minéraux. Ils sont fertiles et peuvent être le support de cultures, à condition de choisir des plantes adaptées à leur forte pierrosité.

Les sols ferralitiques sont dépourvus de minéraux primaires (c'est-à-dire n'ayant pas subi les effets d'une altération postérieure à leur dépôt) et soumis à un lessivage plus accentué de la silice, ce qui les différencie des sols brunifiés tropicaux. Ils sont riches en matière organique, même si elle n'est pas toujours bien humifiée. Ils constituent l'ensemble des sols sur les pentes faibles (de 5 % à 20 %), et sont majoritaires sur les pentes de 20 % à 50 %. Mise à part ceux manquant de profondeur, ces sols présentent des caractéristiques satisfaisantes pour une valorisation agricole, mais restent moins fertiles que les sols bruns humifères (Fig. 2).

Figure 2 : Différences entre les deux grands types de sol sur le domaine de 'Opunohu

Sur les parties basses de 'Opunohu, dans les plaines littorales, vallées et certains bas de pentes, les sols sont développés par des produits arrachés aux pentes par l'érosion puis accumulés. Ces sols sont caractérisés par leur richesse en silice et leur saturation régulière en eau (ils sont hydromorphes) : ils sont essentiellement de type peu évolué d'apport colluvio-alluvial en basse vallée dans la plaine agricole, et hydromorphes minéraux sur les bords de la baie, dans les pâturages et à l'entrée de la vallée (au niveau des bassins de crevettes). Ces sols sont très fertiles, bien plus que les sols des parties hautes de 'Opunohu, mais nécessitent une bonne gestion du drainage.

(Jamet *et al.*, 1996) ont produit une carte pédologique et topographique de la zone (Fig. 3).



Unités cartographiques	Sites	Matériau originel	Sols Unités pédologiques	Superficie en ha. en %
	Pentes très fortes des crêtes et des sommets érodés (supérieures à 100 %)	Basaltes et roches volcaniques différenciées	– SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ÉROSION, BRUNIFIÉS, lithiques, humifères et – SOLS BRUNS EUTROPHES TROPICAUX, PEU DIFFÉRENCIÉS, d'érosion	895 6,67
	Pentes moyennes à fortes (50 à 100 %)	Basaltes et roches volcaniques différenciées	– SOLS BRUNS EUTROPHES PEU DIFFÉRENCIÉS d'érosion et – SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ÉROSION, BRUNIFIÉS, lithiques, humifères et – SOLS FERRALLITIQUES, faiblement ou moyennement désaturés, humifères, pénévolués d'érosion	5 480 40,87
	Pentes modérées (20 à 50 %)	Basaltes et roches volcaniques différenciées	– SOLS FERRALLITIQUES, faiblement, moyennement (ou fortement) désaturés, humifères, pénévolués d'érosion et – SOLS BRUNS EUTROPHES TROPICAUX, PEU DIFFÉRENCIÉS, d'érosion – SOLS BRUNS EUTROPHES TROPICAUX, humifères	4 635 34,56
	Pentes faibles des bassins versants (5 à 20 %)	Basaltes	– SOLS FERRALLITIQUES, faiblement, moyennement (ou fortement) désaturés, humifères, pénévolués d'érosion	540 4,03
	Pentes faibles, essentiellement de la caldeira (5 à 20 %)	Basaltes	– SOLS FERRALLITIQUES, fortement désaturés, humifères, pénévolués d'érosion, ou gibbsitiques	240 1,79
1 2	Basses vallées 1. Zones planes 2. Pentes faibles (5 à 20 %)	Alluvions et colluvions d'origine volcanique	– SOLS PEU ÉVOLUÉS D'APPORT COLLUVIO-ALLUVIAL	335 2,50
	Plaine littorale	Alluvions et colluvions d'origine volcanique	– SOLS PEU ÉVOLUÉS D'APPORT COLLUVIO-ALLUVIAL, modaux ou hydromorphes (à caractères vertiques fréquents)	415 3,09
	Plaine littorale Basses vallées	Matériaux d'origine volcanique	– SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX, à pseudogley ou gley – SOLS HYDROMORPHES ORGANIQUES à tourbe semi-fibreuse ou altérée (oligotrophes ou mésotrophes)	595 4,44
	Plaine littorale Ilots coralliens	Calcaire corallien	– SOLS CALCOMAGNÉSIQUES CARBONATÉS : Rendzines	170 1,27

Figure 3 : Carte des sols de la vallée de 'Opunohu

Contexte écologique

La vallée et la baie de ’Opunohu concentrent des écosystèmes diversifiés, avec notamment la présence d’importants récifs coralliens.

Les formations forestières couvrent la vaste majorité de la vallée de ’Opunohu (Fig. 6, avec une importante diversité spécifique. Au moins 8 formations naturelles différentes sont identifiées par (Tanret *et al.*, 2011), et 11 d’origine anthropique (plantations productives ou pour restaurer les sols notamment), 3 formations arbustives et landes largement composées d’Acacia, et les formations herbacées dont font partie les plantations d’ananas (au moins 51 hectares identifiés).

Les écosystèmes littoraux alternent entre vasières et plages de sable blanc :

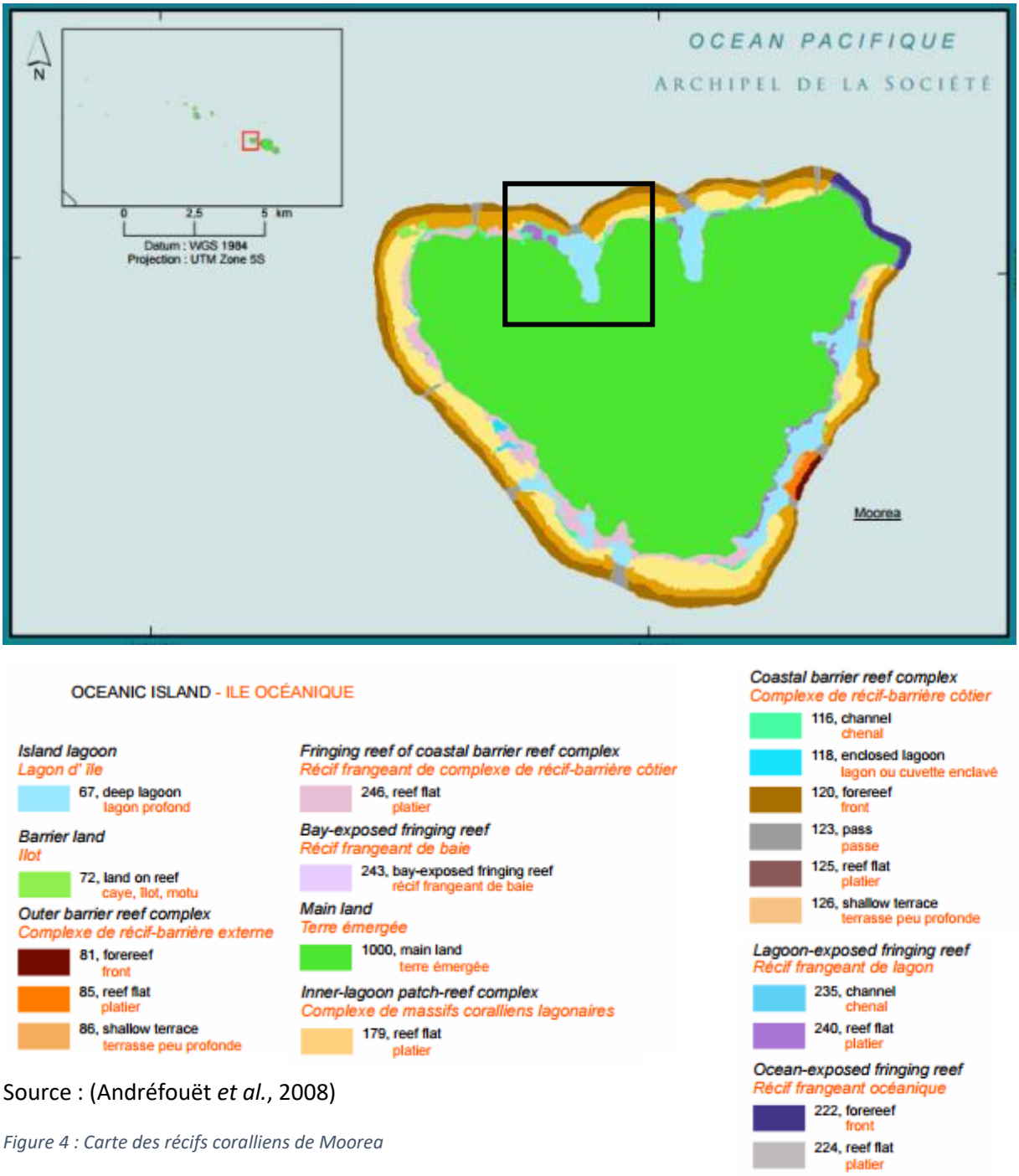
- La quasi-totalité de la rive Ouest de la baie est composée de vasières et zones sablo-vaseuses à végétation haute. Deux grandes vasières sont présentes dans le fond de la baie et sont à l’origine d’une forte productivité biologique : l’embouchure de la rivière ‘Opunohu, s’apparentant à une mangrove fixée sur vase et sable noir constituée de *"Purau",* et l’embouchure de la Vaihere sur la côte Est de la baie.
- Les plages de sable blanc dans le fond de la baie et à la limite du district de Papetoai (2 km de linéaire) sont remarquables et possèdent une forte valeur récréative. Elles sont également connues pour être des nurseries à poissons juvéniles. Des rochers et cailloutis sont présents de manière éparse et abritent potentiellement une riche biodiversité.

En ce qui concerne les écosystèmes marins, la baie de ’Opunohu peut être divisée en trois grands types de communautés marines, en raison principalement de l’influence des apports de rivière : le fond de baie, le milieu de baie et l’extrémité de la baie. Les gradients des communautés de coraux, d’algues et d’échinodermes sont corrélés à plusieurs facteurs : salinité, turbidité, concentration en silicates, teneur des sédiments en carbone organique, en hydrates de carbone et en acides aminés. Les valeurs de ces facteurs traduisent d’importants apports terrigènes, provenant essentiellement des rejets des rivières situées en fond de baie. Dans cette partie de la baie où le degré de confinement est élevé, seuls les organismes marins les plus résistants aux fortes turbidités, aux dessalures et à l’hypersédimentation peuvent s’installer. La salinité et la turbidité en particulier affectent fortement la richesse spécifique et l’abondance des principaux taxons du fond de la baie vers l’entrée : coraux, algues, échinoderme, crustacés, mollusques, spongiaires et espèces de poissons-papillon (Besson, 2012; Tanret *et al.*, 2011).

Les récifs coralliens de la baie (cartographiés dans la Fig. 4) sont extrêmement développés, avec un front de récif-barrière[2] large renforcé par une bande de récif frangeant[3] accolé au littoral. Ces écosystèmes apportent une très forte protection du littoral face à la houle, aux cyclones voire aux tsunamis (Pascal *et al.*, 2015). Également très riches en biodiversité et fortement menacés par les activités humaines et le réchauffement climatique, les récifs de Moorea sont suivis par le *Moorea Coral Reef Long-term Ecological Research* (MCR LTER).

[2] Les récifs-barrières sont des récifs généralement linéaires, avec un front extérieur exposé à l’océan et un front intérieur plus protégé. Ils sont séparés de la côte par un espace qui peut être un lagon profond, une terrasse sédimentaire lagonaire peu profonde rejoignant la côte ou un complexe de récifs frangeants (Andréfouët et al., 2008).

[3] Les récifs frangeants, continentaux ou océaniques, sont des récifs directement accolés à la côte ou qui en sont séparé par un étroit chenal). Les frangeants peuvent être directement exposés à l’océan, ou protégés par un ensemble périphérique constitué d’autres récifs (frangeant donnant sur un lagon, ou en contact avec un récif-barrière côtier) ou de terre émergée (frangeant donnant sur une mer intérieure ou une baie) (Andréfouët et al., 2008).



Source : (Andréfouët *et al.*, 2008)

Figure 4 : Carte des récifs coralliens de Moorea

Les plantations d'ananas prises en compte dans cette étude sont principalement situées dans les bassins versants de Matapoopoo, Tepatu, Apati, Irua, Fareaito et Tupauruuru (Fig. 7), qui convergent tous vers la baie de 'Opunohu.

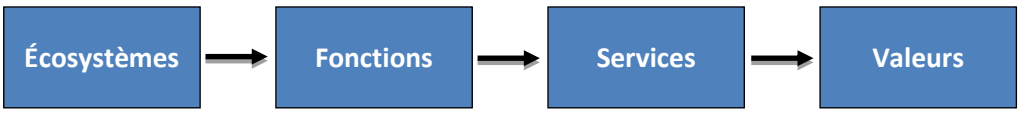
Services écosystémiques

Évoquer la valeur économique des écosystèmes suppose que les écosystèmes fournissent des biens ou des services. Cela suppose également que les biens et services issus des écosystèmes (et indirectement de la biodiversité en tant que support de fonctionnement et de maintien de ces écosystèmes) sont assimilés à des biens économiques (Godard, 2005). Les services écosystémiques peuvent donc représenter des bénéfices pour les individus et la société.

Si l'on considère qu'il existe une corrélation entre d'une part le fonctionnement des écosystèmes, et d'autre part la quantité et la qualité (ou même la stabilité) des services qu'ils procurent aux sociétés, alors estimer la valeur économique des services écosystémiques est une approximation raisonnable de la « valeur économique des écosystèmes » pour le bien-être humain (Binet *et al.*, 2012).

Cela entraîne également que les efforts de conservation entrepris pour gérer ces écosystèmes sont garants de la valeur des services procurés. A l'inverse, la disparition des écosystèmes et de la biodiversité engendre nécessairement la perte des biens et services écosystémiques dont ils sont le support. La valeur des écosystèmes et de la biodiversité est donc dépendante de l'état de santé des écosystèmes.

Le lien logique entre écosystèmes et valeurs des services écosystémiques est illustré dans la Fig. 5.



Source : Adapté de TEEB (2008)

Figure 5 : De l'écosystème à la valeur économique qu'il génère

Ainsi, les écosystèmes de la baie et de la vallée de 'Opunohu fournissent de nombreux services écosystémiques aux populations locales (Tab. 2) : des services d'approvisionnement (pêche, production agricole, soutien d'étiage, etc.), des services culturels (tourisme, recherche, etc.) et des services de support et de régulation (protection contre l'érosion côtière, stockage du carbone, biodiversité, etc.).

Tableau 2 : Services écosystémiques pris en compte dans l'étude

Types de services	*Services écosystémiques*
Services d'approvisionnement	Pêche récifo-lagonaire
	Production aquacole et perlière
	Production agricole
	Production sylvicole et produits non ligneux
	Soutien d'étiage et eau potable
Service culturels	Tourisme, plaisance, plongée et pêche de loisir
	Support de recherche et d'éducation
Services de régulation et de support	Protection contre l'érosion côtière
	Protection contre les cyclones et tsunamis
	Régulation de l'érosion terrigène
	Régulation de la qualité des eaux lagonaires
	Régulation du climat global
	Support pour la biodiversité

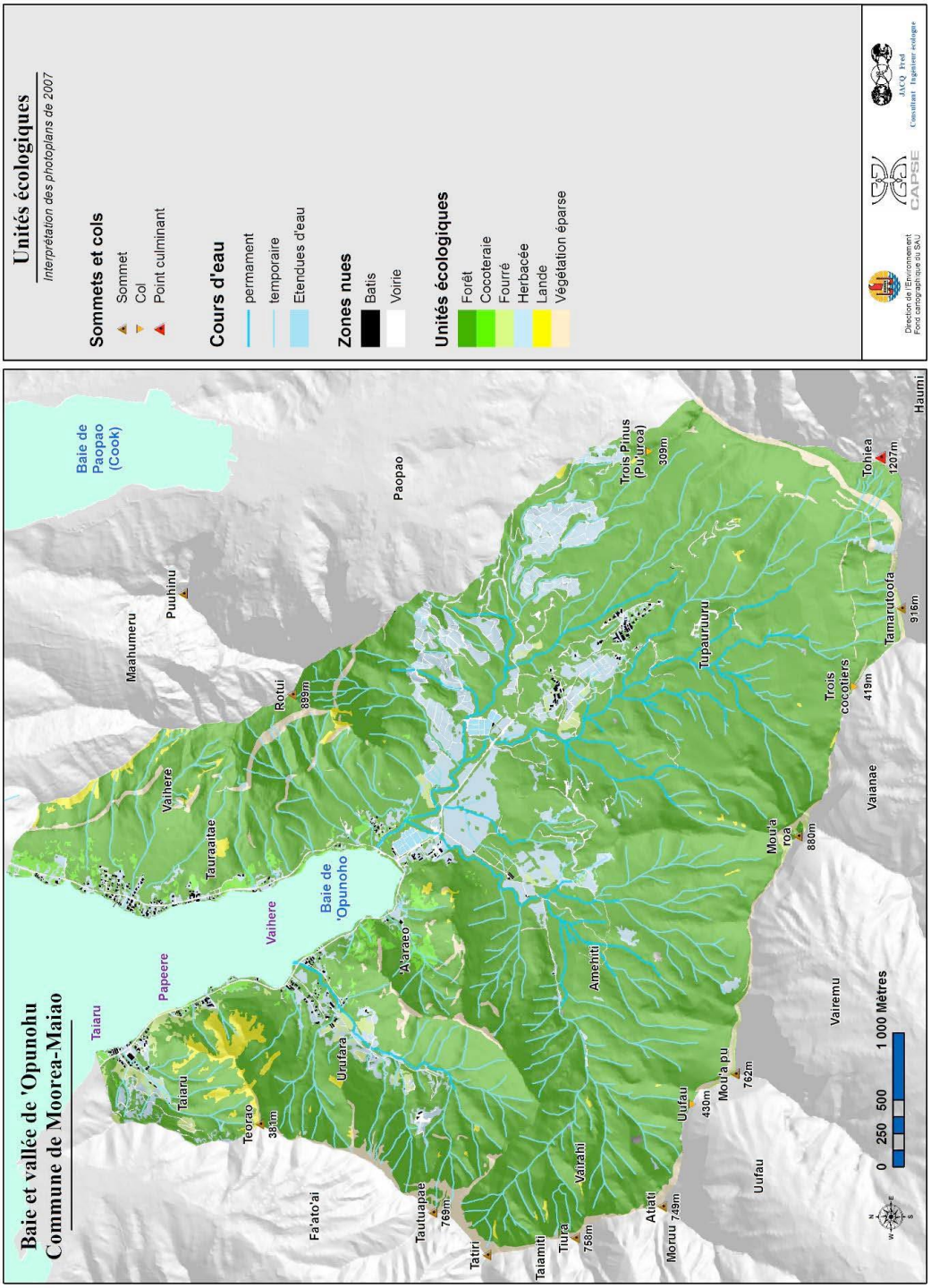
Une étude de l'IFRECOR (Pascal *et al.*, 2015) a évalué les principaux services écosystémiques rendus par les récifs coralliens et écosystèmes associés (RCEA : récifs, mangroves et herbiers) en Polynésie française. Le Tab. 3 en donne les principaux résultats.

Tableau 3 : Valeur économique des services écosystémiques des RCEA de Polynésie française

€$_{2013}$/an	*Minimum*	*Maximum*	*Meilleure estimation*	*Bénéficiaires*
Biomasse pêche commerciale	20 000 000 €	37 000 000 €	28 000 000 €	Entrepreneurs et employés directs et indirects du secteur pêche (10 000 personnes)
Biomasse pêche autoconsommation	11 000 000 €	20 000 000 €	16 000 000 €	Ménages (50 000 en tirent un complément de revenu et de protéines)
Attributs pour le tourisme sous-marin	60 000 000 €	100 000 000 €	80 000 000 €	Secteur touristique (500 emplois directs), secteur hôtelier, secteur transport (10 000 emplois déclarés)
Protection côtière	243 000 000 €	368 000 000 €	305 000 000 €	Résidences et infrastructures, populations locales (équivalent à 35 800 ménages et 207 000 m² d'hôtels)

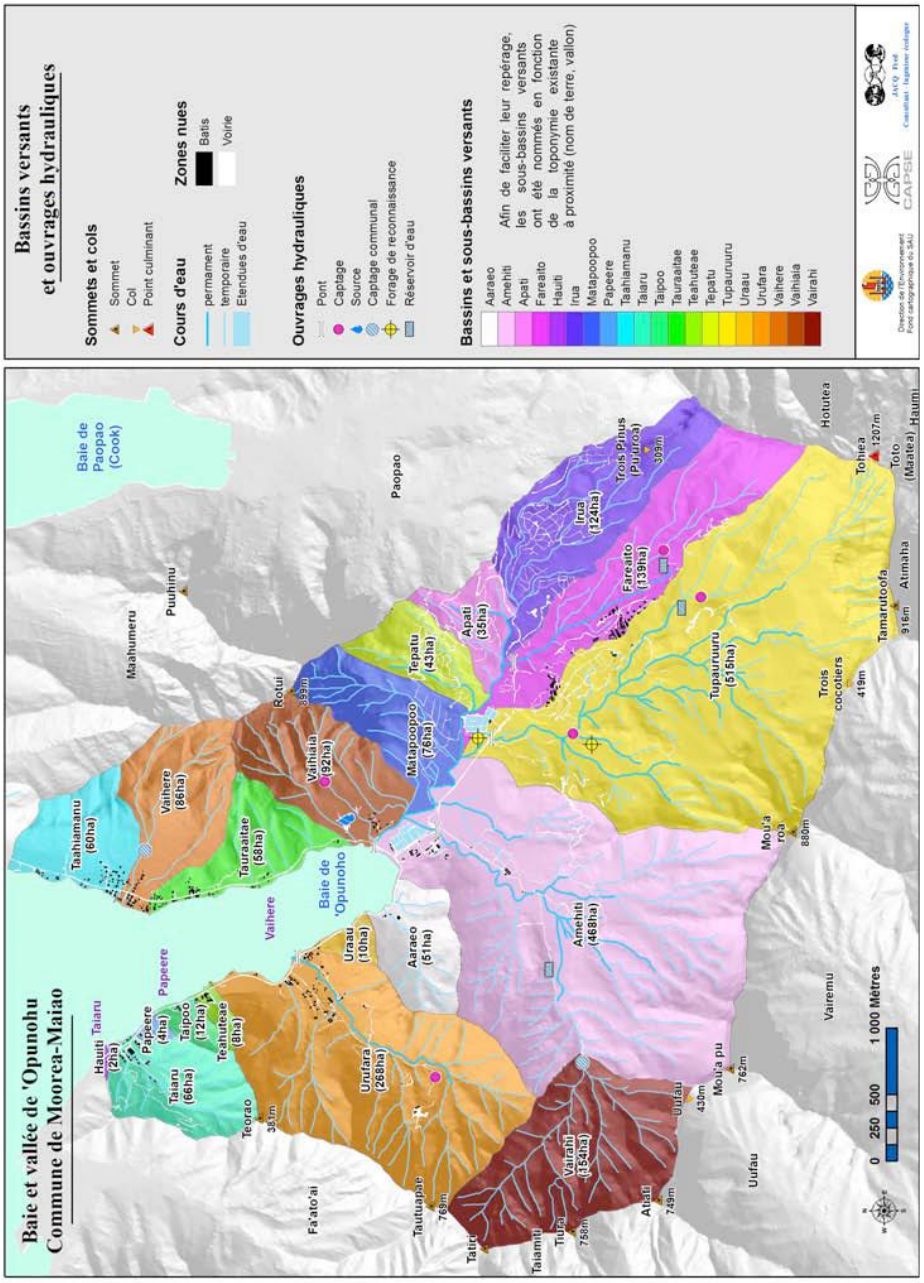
Source : Pascal *et al.* (2015)

En particulier, les services écosystémiques potentiellement fournis par la baie et la vallée de 'Opunohu sont référencés dans le Tab. 4. Les récifs coralliens et lagons ont un rôle majeur pour les trois catégories de services, et doivent donc être absolument préservés. Au contraire, les sols nus n'apportent aucun service écosystémique et leur étendue doit donc être limitée au maximum.



Source : Tanret *et al.* (2011)

Figure 6 : Carte des unités écologiques de la baie et vallée de 'Opunohu



Source : Tanret *et al.* (2011)

Figure 7 : Carte des bassins versants et ouvrages hydrauliques de la baie et vallée de ’Opunohu

Tableau 4 : Services écosystémiques potentiellement fournis par les écosystèmes de la baie et de la vallée de 'Opunohu

0 : pas de capacité du type d'écosystème à fournir le service écosystémique considéré ; 1 : capacité faible ; 2 : capacité moyenne ; 3 : capacité forte

	Approvisionnement					**Culturels**		**Régulation et support**					
	Pêche récifo-lagonaire	Production aquacole et perlière	Production agricole	Production sylvicole et produits non ligneux	Soutien d'étiage et eau potable	Tourisme, plaisance, plongée et pêche de loisir	Support de recherche et d'éducation	Protection contre l'érosion côtière	Protection contre les cyclones et tsunamis	Régulation de l'érosion terrigène	Régulation de la qualité des eaux lagonaires	Régulation du climat global	Support pour la biodiversité
Rivières	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	2	0	1
Vasières et mangroves	1	1	0	0	0	1	0	3	2	0	2	2	2
Plages de sable blanc	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2
Lagons	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3
Récifs coralliens	3	0	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0	3
Zones urbanisées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pistes et routes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sols nus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plantations herbacées (ananas)	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Autres herbacées	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Végétation éparse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Landes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
Fourrés	0	0	0	2	1	0	0	0	0	2	1	2	2
Cocoteraies et vergers	0	0	3	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
Forêts et bosquets	0	0	0	3	2	1	1	1	1	3	1	3	2

Source : basé sur des données issues de Tanret *et al.* (2011) et UICN France (2013), adapté de Burkhard *et al.* (2009)

Les pratiques agricoles sur le domaine

Les Fig. 11 et 12 présentent la répartition géographique des parcelles cultivées sous ananas au sein du domaine de 'Opunohu. Les variétés cultivées à Moorea appartiennent au groupe Queen.

L'itinéraire technique précis de chaque parcelle n'est pas connu, mais une présentation générale de la culture de l'ananas en Polynésie est disponible dans l'étude de Gonnot and Binet (2004), basée sur un rapport de Delebarre (1980) :

- La préparation du terrain vise à obtenir un terrain propre, aéré, bien drainé sur 30 cm de profondeur. Le débroussage est réalisé au bulldozer, les résidus de culture sont ensuite brulés sur la parcelle. Un sous-solage du terrain est réalisé pour compenser le tassement du sol sous le passage des machines, puis un labour de profondeur moyenne suivi d'un émiettement du sol par disquage ou fraisage. Les sols peuvent rester nus jusqu'à 3 mois avant la plantation (Fig. 8).

Figure 8 : Parcelle prête à recevoir les plants d'ananas

- La plantation des ananas repose sur les cayeux, c'est-à-dire sur les rejets des anciens plants. La taille du cayeu influence son cycle de production (plus il est gros, plus le cycle est court), bien les choisir permet de déterminer approximativement la date de première récolte. La densité des plantations peut atteindre 30 000 pieds/ha, plantés selon un motif de 2 lignes jumelées en quinconce, et normalement en courbes de niveau (Fig. 9). Une profondeur de 10 cm est suffisante pour planter les cayeux, à condition de bien tasser la terre autour d'eux pour éviter une verse sous l'action du vent. Un apport de 14 g de chlorure de potasse/trou permet une bonne alimentation de la plante pendant sa croissance.

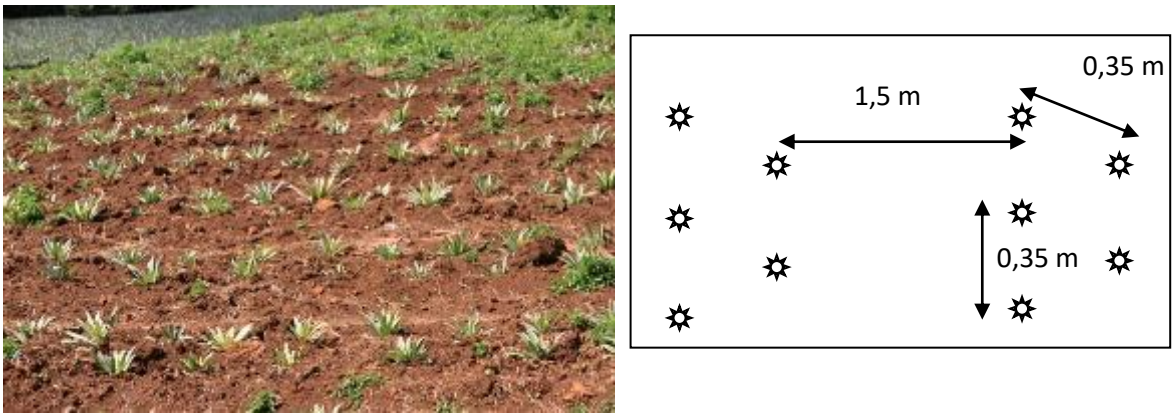
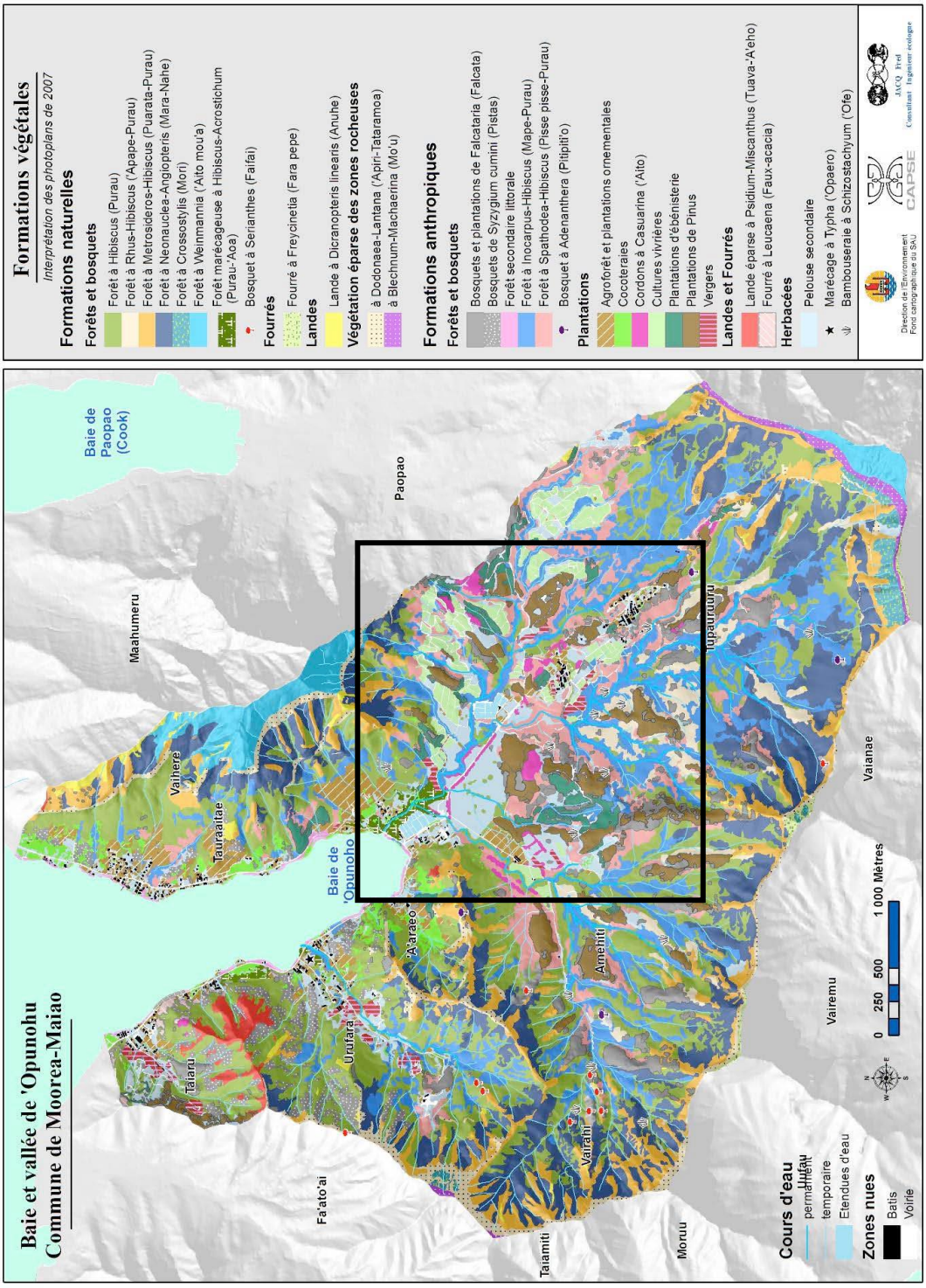


Figure 9 : Plantation des ananas en lignes jumelées, en quinconces

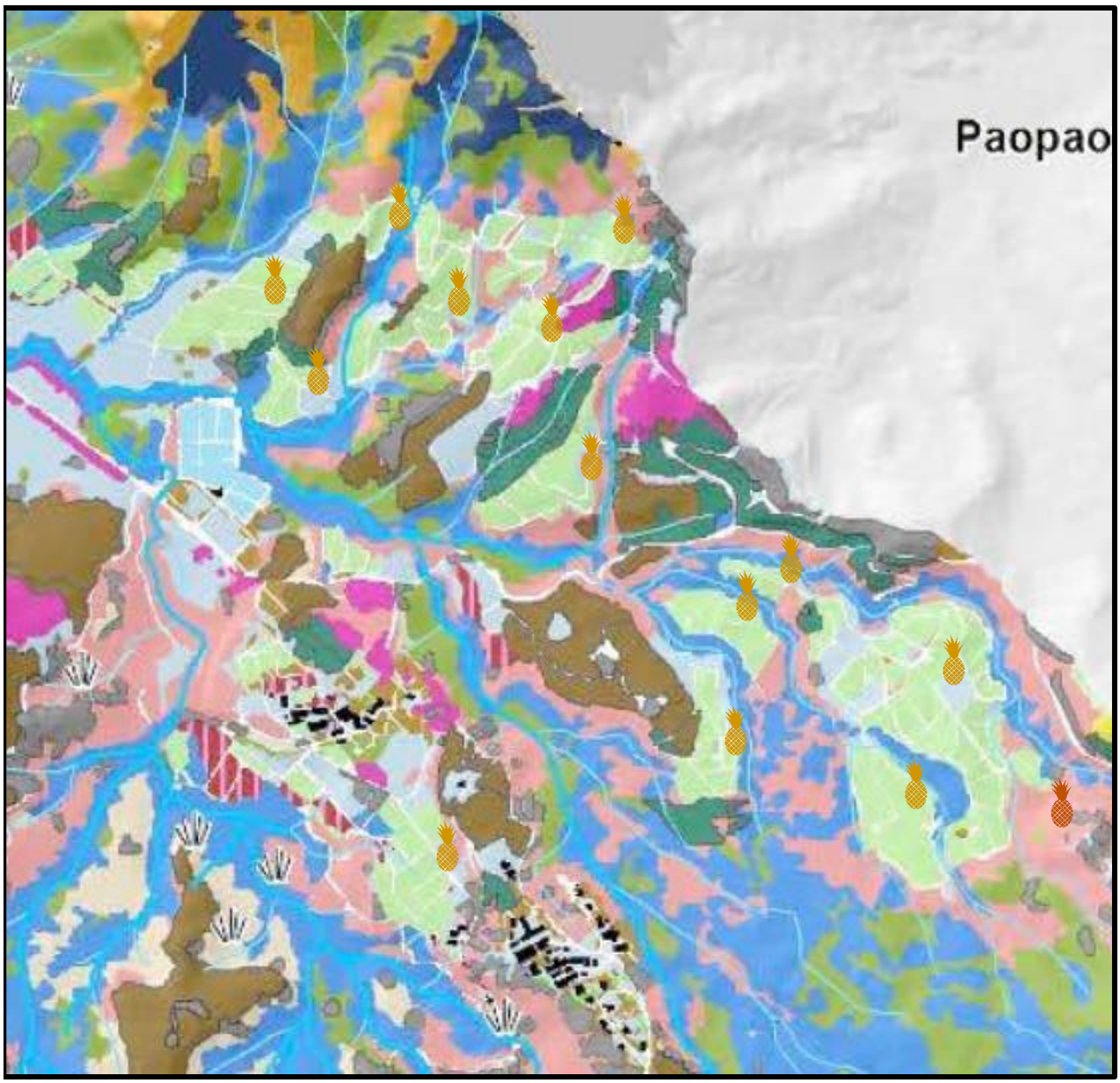
- Pendant la phase de croissance des ananas, des herbicides à base de diuron et d'améthryne sont appliqués pour éviter le développement d'adventices (mauvaises herbes) une à deux fois par an. La floraison est artificiellement provoquée par la pulvérisation d'une solution hormonale d'induction florale (solution de soude de l'acide alphanaphtalène acétique – SNA ou acétylène) 7 mois après la plantation. La fleur éclot environ 45 jours plus tard, et la récolte est possible 5 mois après le traitement (Fig. 10). L'étalement de la première récolte est relativement facile à réaliser par le choix de la taille des cayeux et l'induction florale. Par la suite, il devient de plus en plus difficile de choisir les périodes de floraison car les cayeux sont de plus en plus hétérogènes. L'accès aux parcelles devient également difficile par l'étalement spatial des plants. Pour ces raisons, les cultures sont en général renouvelées tous les trois ans, même s'il est fréquent de trouver des parcelles plus anciennes.

Figure 10 : Fleur (haut) et fruit (bas) d’ananas du domaine de ’Opunohu



Source : Tanret *et al.* (2011)

Figure 11 : Carte des formations végétales de la baie et vallée de 'Opunohu



Parcelles en culture d'ananas (60 ha sur le domaine)

Projet de défrichement pour la culture d'ananas (5 ha potentiels de cultures)

Figure 12 : Détail de la zone encadrée dans la carte précédente présentant les parcelles en culture d'ananas du domaine

Les impacts environnementaux de la culture d'ananas sur les écosystèmes de 'Opunohu

Typologie des impacts

La culture des ananas sur le domaine d'Opunohu est susceptible d'avoir trois types d'impacts environnementaux principaux :

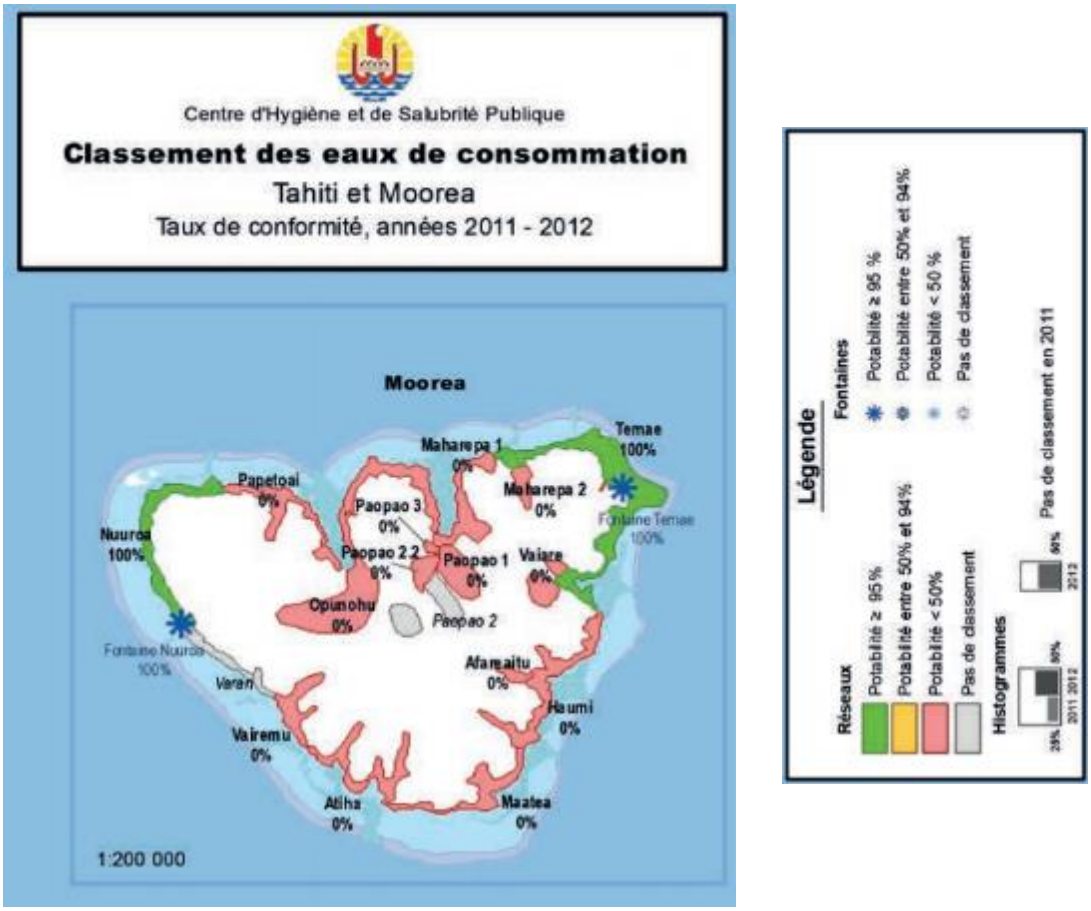
- Stimuler l'érosion des sols, par une couverture végétale spatialement et temporellement incomplète, la culture de plantes à racines peu profondes donc peu stabilisatrices, le recours à des pratiques culturales endommageant la structure des horizons superficiels et leur capacité d'infiltration de l'eau, et le recours à des pesticides (Sabatier *et al.*, 2014). Les pistes nécessaires à l'accès aux parcelles peuvent également devenir des « couloirs de

ruissellement ». Les sédiments terrigènes résultant des phénomènes d'érosion peuvent atteindre les rivières et finalement le lagon, notamment lors des pluies violentes. Gonnot et Binet (2004) ont calculé que la quantité de sédiments déplacés approche les 400 tonnes/ha/an pour les sols nus, et 84 tonnes/ha/an pour les parcelles sous ananas. Pour 60 hectares ainsi cultivés, ce sont donc potentiellement 5 040 tonnes de sédiments qui peuvent se retrouver dans le lagon. Sachant que 3 tonnes de sédiments correspondent à une couche de 1 mm sur 0,15 ha de lagon (Créocéan (Coord F. Seguin), 2015), ces 5 040 tonnes pourraient recouvrir 252 ha. Or, la sédimentation des récifs coralliens réduit leur croissance et leur métabolisme, modifient la structure des peuplements, réduisent la richesse spécifique et le recrutement des larves et peuvent conduire à une mort partielle ou totale des coraux (Broucke, 2010; Risk and Edinger, 2011; Rogers, 1990). Un recouvrement de 1 mm de sédiment provoquerait la mort de 60 % à 70 % de l'écosystème corallien, et un recouvrement de 1 cm provoquerait la mort de la quasi-totalité de la colonie (Créocéan (Coord F. Seguin), 2015). Les poissons sont également impactés, notamment à leur stade juvénile (O'Connor *et al.*, 2016). Il est donc fondamental de limiter au maximum les apports terrigènes dans le lagon en développant des techniques culturales antiérosives notamment[4].

- Polluer les milieux naturels, notamment aquatiques (rivières, lagon), par l'utilisation de produits phytosanitaires. Sur les 60 ha de cultures d'ananas, jusqu'à 120 à 240 kg/an de diuron et d'améthryne sont appliqués (Bambridge, 2013). Des études témoignent toutefois de la faiblesse des traces de diuron dans les écosystèmes coralliens de la baie de 'Opunohu (Reix-Tronquet, 2015; Salvat *et al.*, 2016). D'autres herbicides sont bien retrouvés, mais ils ne sont pas utilisés pour la culture des ananas.

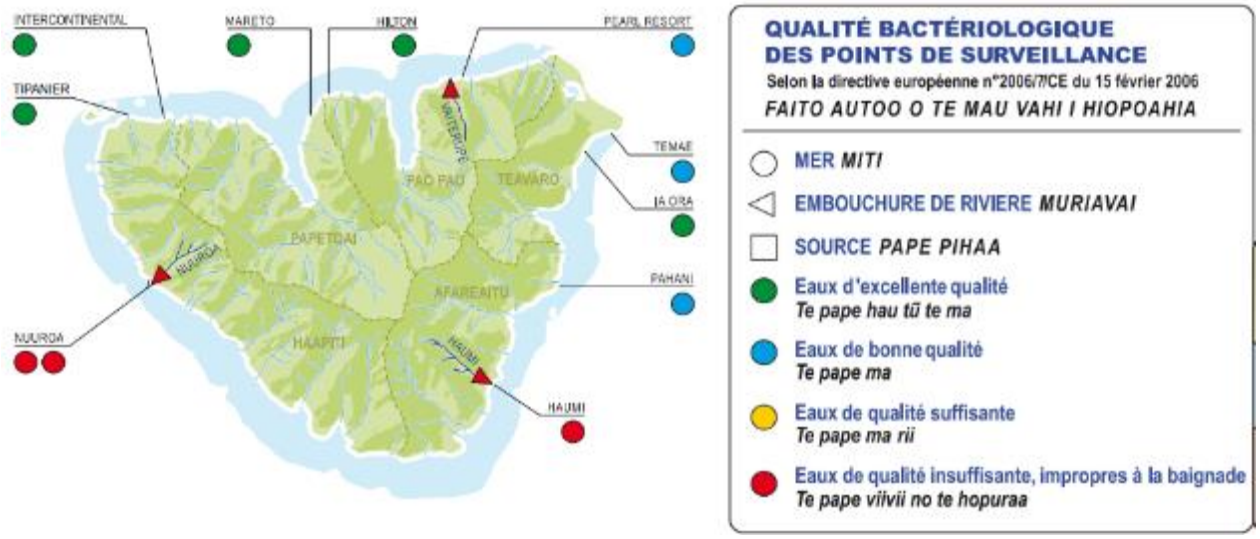
- Participer à l'eutrophisation des milieux aquatiques, par l'utilisation d'engrais qui constituent des éléments nutritifs pour des algues comme les *Turbinaria* et les *Sargassum*, dont la biomasse a doublé en 20 ans à l'échelle de la Polynésie française. Les engrais importés sont en baisse depuis 2004, mais ils sont encore utilisés 2,5 fois plus qu'en métropole (Créocéan (Coord F. Seguin), 2015). Les concentrations en ammonium et nitrites/nitrates sont comparativement importantes dans la baie de 'Opunohu, signe qu'une partie de ces engrais se retrouve dans le milieu naturel (Reix-Tronquet, 2015). Toutefois les conséquences sur les écosystèmes semblent limitées.

[4] Des suivis et observations de ces impacts sont en cours par le Criobe, dont les résultats devraient être publiés en mars/avril 2017 ; nous n'avons pu en prendre connaissance pour la préparation de ce rapport (et de ses versions révisées).



Source : Centre d'Hygiène et de Salubrité Publique (2015a)

Figure 13 : Qualité des eaux de consommation à Moorea



Source : Centre d'Hygiène et de Salubrité Publique (2015b)

Figure 14 : Qualité bactériologique des points de surveillance pour la qualité des eaux de baignades à Moorea

La qualité des eaux de consommation (Fig. 13) et de baignade en rivière (Fig. 14) est très mauvaise, sans qu'il soit possible d'attribuer la responsabilité aux cultures d'ananas puisque les rivières contrôlées ne sont pas situées dans les mêmes bassins versants que les parcelles du domaine. L'utilisation des pesticides et engrais peut toutefois potentiellement compliquer la potabilisation de

l'eau douce pour la consommation humaine. La qualité des eaux de baignade est, elle, excellente aux abords de la baie de 'Opunohu (Fig. 14) : il semble donc y avoir peu d'eutrophisation à ce niveau. En revanche, le fond de baie est vaseux (un phénomène relativement récent d'après des témoignages locaux).

La principale source de préoccupation concernant les impacts environnementaux de la culture d'ananas à 'Opunohu correspond donc à la problématique de l'érosion et des apports terrigènes associés dans les rivières et le lagon[5].

Services écosystémiques impactés

Les impacts environnementaux décrits dans les paragraphes précédents peuvent être formalisés en utilisant le concept de services écosystémiques (Tab. 5) :

- La baie a une forte vocation touristique puisqu'elle est visitée par la quasi-totalité des touristes qui se rendent en Polynésie française soit environ 50 000 à 60 000 visiteurs par an (INTEGRE, 2016; Meyer *et al.*, 2011). Les activités sont à la fois terrestres (randonnées, visite des sites archéologiques) et marines (observation d'espèces emblématiques, sports nautiques, nautisme). Largement dépendant des écosystèmes marins et littoraux exceptionnels de la sortie de baie, les services culturels supports des activités touristiques (p. ex. maintien de la qualité des eaux de baignade pour les activités sportives en mer, maintien de la qualité des paysages sous-marins pour la plongée, production de biomasse d'intérêt halieutique pour la pêche de loisirs) sont donc potentiellement les plus impactés par l'érosion et les apports terrigènes (Dumas and Cohen, n.d.; Faure, n.d.; Moullet and Saffache, 2006; Saffache, n.d.)..

- Le service de support pour la biodiversité peut être fortement impacté par l'augmentation de la turbidité liés aux apports terrigènes, surtout pour les écosystèmes lagonaires et coralliens (Broucke, 2010; Risk and Edinger, 2011; Rogers, 1990).

- Le service de régulation de la qualité des eaux arrivant dans le lagon fourni par les zones humides, essentiel pour limiter la turbidité dans le lagon, peut également être impacté par un excès de sédiments qui risquerait de saturer les capacités épuratives des vasières et rivières (les pierres présentes au fond des rivières participent à retenir les sédiments).

- Le service de fourniture d'eau potable par les rivières, déjà altéré à 'Opunohu (Fig. 13), peut être encore réduit par l'augmentation de la turbidité des cours d'eau liées à l'érosion en amont.

- De façon plus incertaine et difficile à mesurer, les services écosystémiques associés à la pêche et à la protection côtière par les récifs coralliens pourraient être réduits.

[5] Le cas particulier du défrichement pour l'installation de nouvelles parcelles agricoles correspond à la perte totale des services écosystémiques qui étaient fournis par des milieux initiaux, et n'est pas étudié dans la suite.

Tableau 5 : Services écosystémiques potentiellement impactés par les pratiques culturales actuelles de l'ananas

0 : pas d'impact potentiel sur la capacité du type d'écosystème à fournir le service écosystémique considéré ; 1 : impact faible ; 2 : impact moyen ; 3 : impact fort

	Approvisionnement					**Culturels**		**Régulation et support**					
	Pêche récifo-lagonaire	Production aquacole et perlière	Production agricole	Production sylvicole et produits non ligneux	Soutien d'étiage et eau potable	Tourisme, plaisance, plongée et pêche de loisir	Support de recherche et d'éducation	Protection contre l'érosion côtière	Protection contre les cyclones et tsunamis	Régulation de l'érosion terrigène	Régulation de la qualité des eaux lagonaires	Régulation du climat global	Support pour la biodiversité
Rivières	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	0	2
Vasières et mangroves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Plages de sable blanc	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Lagons	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Récifs coralliens	1	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	0	3

Pratiques durables et perspectives technico-économiques

Une vaste panoplie de pratiques durables, notamment antiérosives, peuvent a priori être mises en place sur le domaine de 'Opunohu. Il est toutefois essentiel d'étudier leur faisabilité technico-économique et les bénéfices agronomiques et économiques attendus à moyen terme, pour justifier auprès des agriculteurs la nécessité et les moyens de changer leurs pratiques.

Dans cette optique, 3 programmes de mesures antiérosives correspondant à des degrés d'investissement croissants sont proposés dans la suite (Tab. 6).

Tableau 6 : Proposition de 3 programmes de mesures de techniques antiérosive sur les parcelles sous ananas du domaine de 'Opunohu

Légèrement efficace Relativement efficace Efficace

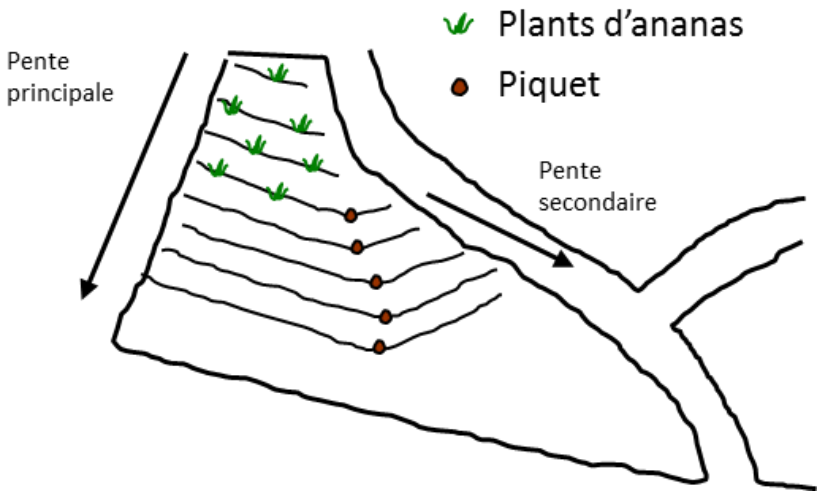
Technique	**Programme 1 : *pratiques minimales***	**Programme 2 : *volonté de changement***	**Programme 3 : *effort important***
Culture en courbe de niveau	x	x	x
Billonnage en courbe de niveau			
Bandes d'arrêt enherbées	x	x	x
Haies vives		x	x
Plantations de contour "cash crop"		x	x
Brulis des résidus	x		
Enfouissement des résidus			
Paillage naturel		x	x
Paillage artificiel			
Plantes de couverture			
Culture en bandes de cycles différents			
Non labour / Travail réduit		x	x
Baissières			x
Caniveaux de diversion des eaux pluviales			x
Orientation des pistes	x	x	x
Bordures enherbées	x	x	x
Bordures arbustives		x	x
Fossés de bordure			x
Empierrement / Enherbement	x	x	x
Couverture artificielle des pistes			
Bancs de diversion			x

Remarque : les fiches jointes en annexe détaillent les principales techniques antiérosives possibles à mettre en œuvre sur le domaine.

Programme 1 : pratiques minimales

Perfectionner la culture en courbes de niveau

La culture en courbes de niveau est une pratique qui a une faible efficacité antiérosive sur des pentes supérieures à 20 %, mais qui a un coût de mise en œuvre faible. Elle reste donc intéressante à mettre en œuvre partout. Sur le domaine de ’Opunohu, cette technique est en théorie appliquée depuis le début de années 1970. A cette époque, un contrôle strict de son application était effectué, contrôle qui a disparu dans les faits aujourd’hui (Gonnot and Binet, 2004). Une des conséquences de cette évolution est la présence de défaillances dans les lignes d’ananas qui ne suivent pas les courbes de niveau partout. Des piquets et de la ficelle suffisent à dessiner les lignes avant de mettre les plants en terre. Sur la Fig. 15, les points rouges représentent des piquets permettant de former un angle d’ajustement au microrelief. Les contrôles pourraient également être rétablis dans le même temps.



Source : Gonnot et Binet (2004)

Figure 15 : Schéma d’orientation optimale des lignes d’ananas pour respecter les courbes de niveau

Recourir à des bandes d’arrêt enherbées autour des parcelles et des pistes

Le vétiver nécessaire pour l’aménagement des bandes enherbées peut être soit importé depuis Tahiti (des pépinières en produisent), soit cultivé sur place. Les boutures issues de plants-mères peuvent être immédiatement plantées, ou multipliées par division des souches, par exemple en utilisant des sachets de pépinière (La Calédonie Agricole, 2013) :

1. Diviser les souches en éclats (environ 3 talles chacune) ;
2. Couper les racines à 5 cm du collet et les feuilles à 20 cm du collet ;
3. Mettre en pot (20 à 25 cm de profondeur) ;
4. Tailler selon les besoins pour maintenir les feuilles à 30-50 cm ;
5. Entre 6 semaines (saison humide) et 3 mois (saison sèche), lorsque les racines émergent des poches, les plants peuvent être repiqués en pleine terre.

Cette technique permet de multiplier par 30 le nombre de plants en 3 mois, pour produire 700 à 800 boutures/m²/an. Ainsi, une pépinière d’1 ha peut produire 100 à 150 km de linéaire.

A partir des plants de vétiver matures, des bandes perpendiculaires à la pente sur les parcelles, et le long des pistes, permettent de limiter la vitesse du ruissellement, d’augmenter l’infiltration de l’eau et de bloquer physiquement les sédiments érodés (Fig. 16). En fonction des besoins (contextes

topographiques locaux), les rangées de vétiver peuvent être discontinues et se concentrer uniquement dans les zones à risque. Les plants doivent être mis en terre pendant la saison humide, lorsque le sol est très humide.

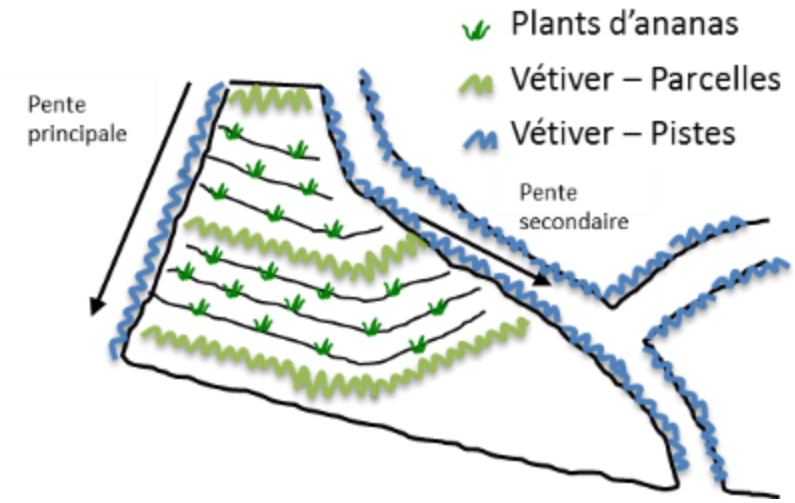
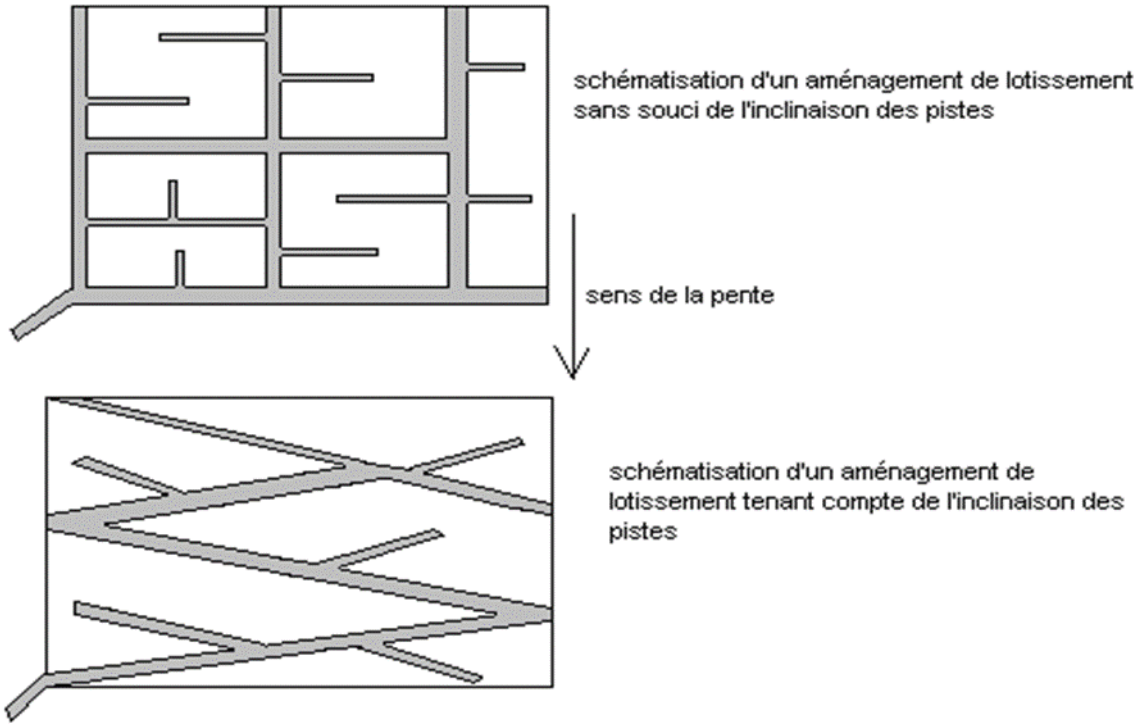


Figure 16 : Schéma d'aménagement de bandes enherbées de vétiver autour des parcelles et pistes

Réorganiser l'orientation des pistes

La réorganisation des pistes doit être pensée à l'échelle du bassin versant, avec tous les agriculteurs concernés. En amont des travaux, le réseau doit être dessiné avec cohérence pour que les pistes suivent les pentes les plus douces et forment des lacets. Aucune piste, même secondaire, ne doit dépasser l'inclinaison critique de 20 %.

La réorganisation des pistes doit se faire après la récolte et avant de replanter puisqu'elle peut changer la forme des parcelles cultivées (Fig. 17).



Source : Gonnot et Binet (2004)

Figure 17 : Orientation des pistes souhaitable pour limiter le ruissellement et l'érosion

Entretenir l'empierrement des voies principales

Certaines voies importantes du domaine de 'Opunohu sont empierrées, mais les pierres sont dispersées avec le temps ou enterrées. Il convient de surveiller régulièrement l'état de ces pistes et renouveler le tapis de pierre lorsque celui-ci ne couvre plus totalement la surface du sol.

Programme 2 : volonté de changement

Recourir aux haies vives et « cash crop » en complément des bandes enherbées

Le recours à des haies vives peut se faire sans utilisation de « cash crop », tout comme des rangées composées uniquement de « cash crop » peuvent avoir la même fonction que des haies vives (Fig. 18). Leur association avec du vétiver au sol peut permettre une couverture du sol optimale dès la première année, lorsque les arbustes sont encore peu développés. L'opportunité de conduire la parcelle en agroforesterie peut être envisagée : en plus de diversifier la production, les arbres offrent une biomasse disponible pour le paillage, augmentent la fertilité du sol par leurs apports de matière organique et réduisent la lixiviation[6].

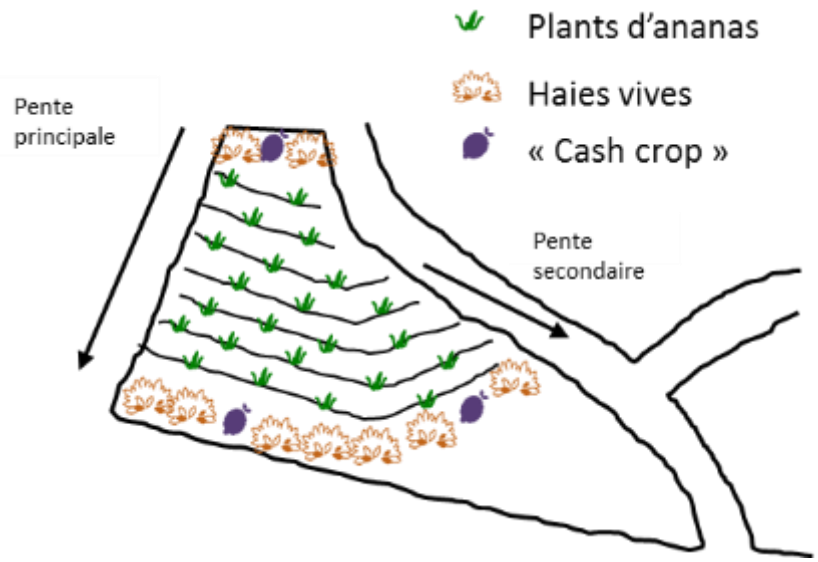


Figure 18 : Schéma d'aménagement de haies vives et « cash crop » autour des parcelles

Remplacer le brulis des résidus de culture par le paillage naturel (« mulch »)

Le paillage doit être pratiqué avant la saison des pluies pour offrir une protection au sol lors des fortes précipitations. Les cayeux d'ananas peuvent être plantés avant ou après le paillage. En pratique, le remplacement du bulldozer utilisé lors du renouvellement des parcelles par un tracteur à chenilles tractant un broyeur permettrait un paillage immédiat, avant la mise en terre des plants (Fig. 19).

Le choix du matériau de paillage est important : pour protéger le sol durablement, les matériaux végétaux doivent se décomposer lentement. Les résidus de cultures sont souvent utilisés (les couronnes d'ananas par exemple), mais les résidus issus des bandes enherbées ou haies vives mises en place peuvent tout à fait les compléter.

[6] La lixiviation est le phénomène d'entrainement hydrique des éléments solubles du sol (par exemple les nitrates). La définition est similaire au terme de « lessivage », mais ce dernier concerne plutôt des particules solides non solubles.

Il convient de rester vigilent pour éviter les possibles effets négatifs liés au paillage (FAO, 2015) :

- Certains organismes comme les limaces et escargots, peuvent proliférer dans la couche de paillage qui conserve l'humidité. Leur présence doit être surveillée.
- Pour éviter tout risque de propagation des maladies, les plants présentant des symptômes à la récolte ne doivent pas être utilisés pour le paillage. Dans ce cas, il est préférable de bruler les résidus de culture que de laisser les sols entièrement nus.

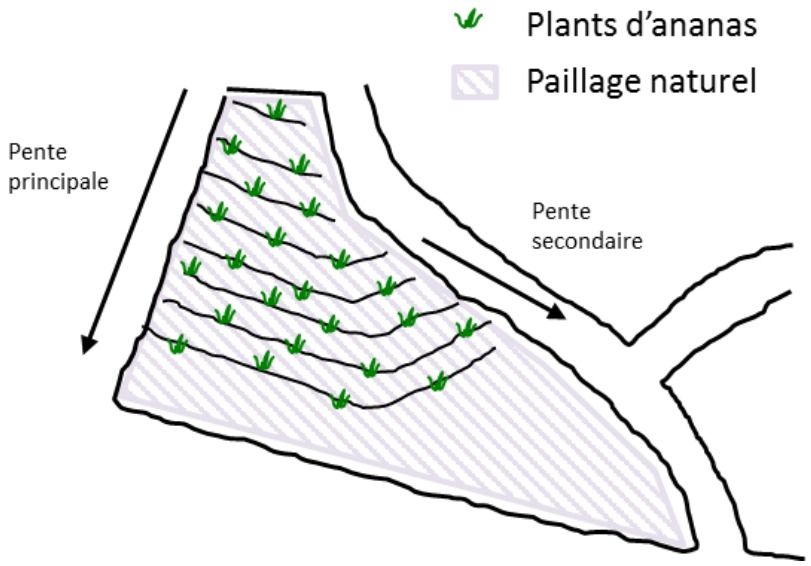


Figure 19 : Schéma du recours au paillage naturel

Réduire le travail du sol et passer au non labour

La réduction du travail du sol ne peut s'envisager que sur un sol bien structuré et non compacté par le passage de roues ou d'outils. Elle implique une plus grande attention aux conditions d'humidité des sols et au développement des adventices. Le recours à des herbicides, au moins les premières années, permet de limiter ce dernier risque. Utiliser les résidus de culture broyés comme paillage également.

Il est conseillé de réduire progressivement le travail du sol, en diminuant de cycle en cycle la profondeur du labour jusqu'à l'arrêter entièrement. Des chasses débris peuvent être utilisés pour écarter les résidus des lignes de plantation (Groupe Régional Non-labour Midi-Pyrénées, 2007).

Le non labour permet aux agriculteurs de gagner du temps, puisque labourer peut prendre plus de 2 heures par hectare. C'est également un très bon moyen de conserver le potentiel productif des sols à long terme en protégeant les horizons superficiels particulièrement riches en matière organique et fertiles (Fig. 20).

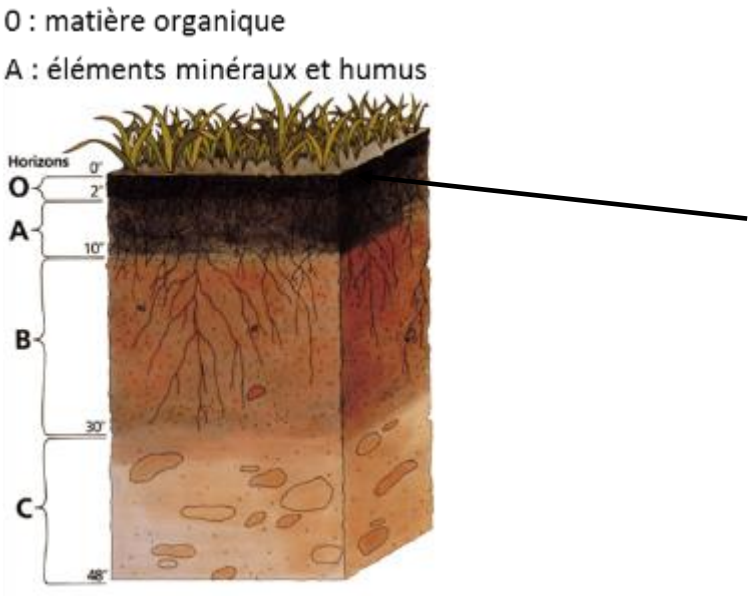


Figure 20 : Schéma général des horizons d'un sol agricole

Recourir à des bordures arbustives pour les pistes à risque

Le choix des espèces végétales pour les bordures arbustives est important : les racines ne doivent pas endommager les pistes, les feuilles doivent être larges et/ou nombreuses et peu cireuses pour éviter que les véhicules ne glissent dessus. L'absence de synchronisation de la chute des feuilles en milieu tropical peut permettre une couverture du sol toute l'année. Des légumineuses peuvent être bien adaptées grâce à leurs racines pivotantes qui permettent une meilleure infiltration de l'eau (par exemple le pois doux).

Les arbustes doivent préférentiellement être placés en amont par rapport à la pente pour jouer également un rôle de barrière physique aux écoulements (Fig. 21).

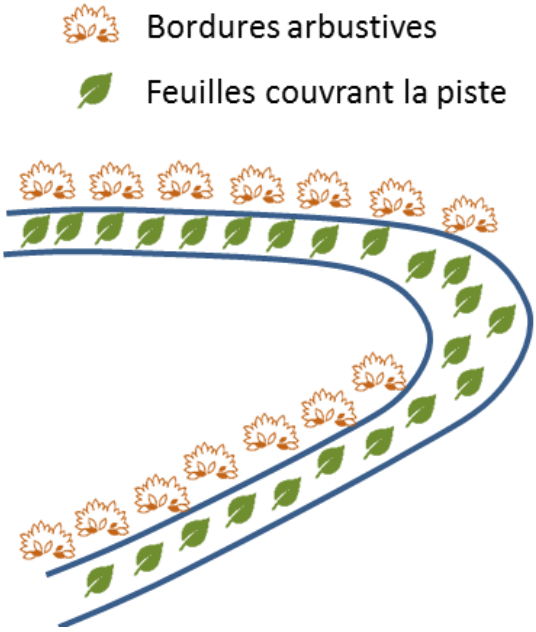


Figure 21 : Schéma de l'aménagement de bordures arbustives pour une piste

Programme 3 : effort important

Aménager des baissières entre les parcelles et les pistes situées en leur aval

Le choix de l'emplacement de la baissière dépend des marques de ruissellement observées et de la topographie. L'appui d'un géomètre est recommandé pour bien les positionner. La profondeur de la baissière peut être variable en fonction de la pluviométrie, le plus important est de maintenir cette profondeur constante. Il est donc nécessaire de suivre au mieux les courbes de niveau (Fig. 22).

Le talus peut être constitué uniquement de terre ou de matière organique (bois, feuilles, résidus de culture) recouverte de terre. Il ne sert pas uniquement à retenir l'eau, mais constitue également un réservoir en infiltrant une partie de l'eau canalisée dans la baissière. Les arbustes peuvent également jouer le rôle de bordure arbustive pour les pistes dans cette configuration.

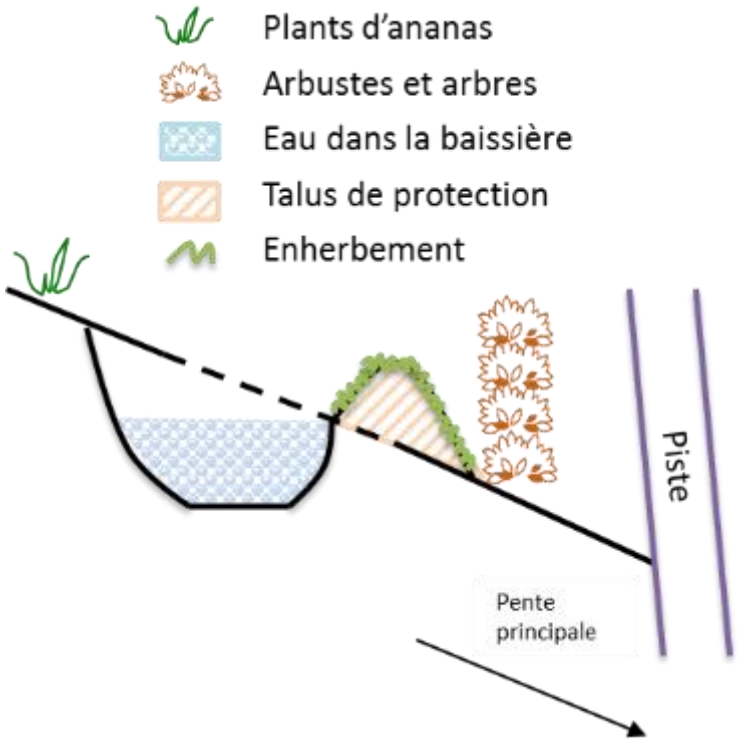


Figure 22 : Schéma de l'aménagement d'une baissière

Aménager des caniveaux de diversion des eaux pluviales en amont des parcelles

La profondeur des caniveaux doit être choisie en cohérence avec les volumes de pluies communément observés sur le domaine. Étant très couteux et nécessitant beaucoup d'entretien, ils sont à privilégier en amont des parcelles présentant d'importantes marques d'érosion pour canaliser le ruissellement. L'évacuation de l'eau autour de la parcelle doit être prévue pour éviter qu'elle ne gagne les parcelles voisines, qui subiraient ainsi une érosion accrue. Une bonne coordination des aménagements à l'échelle du bassin versant est souhaitable pour éviter ces effets secondaires et les conflits qui peuvent en découler.

Des petits talus peuvent être aménagés entre le caniveau et la parcelle, pour ralentir la vitesse de l'écoulement et s'assurer que les eaux soient bien canalisées. Ils offrent également une protection supplémentaire en cas de débordement des caniveaux lors des précipitations particulièrement intenses (Fig. 23).

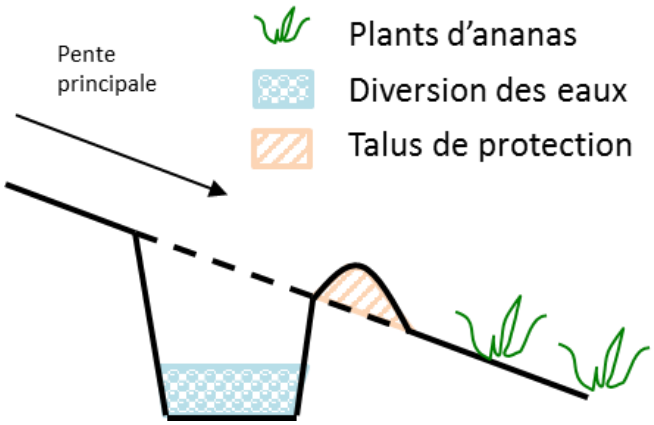
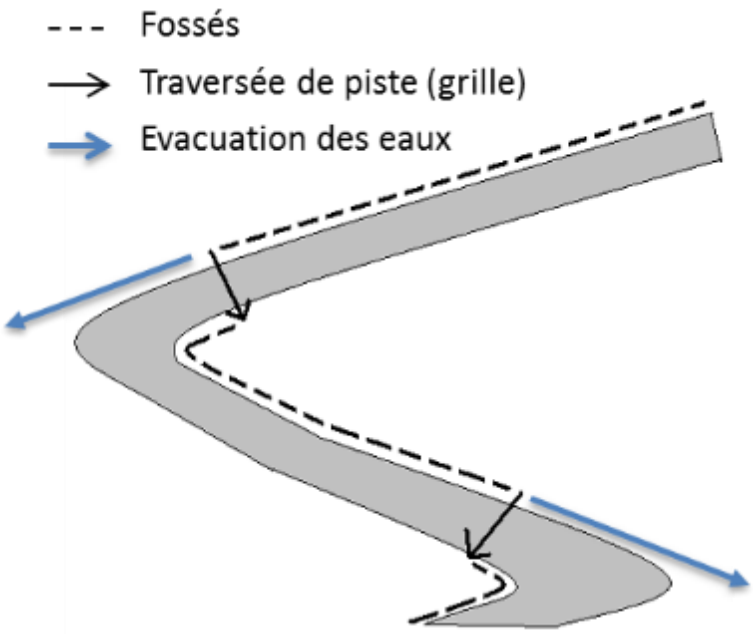


Figure 23 : Schéma d'aménagement de caniveaux de diversion des eaux pluviales en amont des parcelles

Aménager des fossés de bordure le long des pistes à risque

L'étude de Gonnot et Binet (2004) estime les coûts nécessaires à la mise en place et à l'entretien de fossés de bordures le long des pistes principales. Pour le seul lotissement « Rotui », les travaux d'aménagement s'élèveraient à 175 000 francs CFP pour les seuls fossés, 95 000 francs CFP pour l'évacuation des eaux et 830 000 francs CFP pour les traversées de piste, soit 1 100 000 francs CFP. L'entretien (curage des fossés et entretien des traversées de pistes) représenterait 376 000 francs CFP par an.

Cette pratique efficace mais coûteuse doit donc être privilégiée sur les pistes communes à plusieurs parcelles, qui présentent des forts signes d'érosion ou de ruissellement (rigoles, ravines), et qui sont beaucoup fréquentées (Fig. 24).



Source : Gonnot et Binet (2004)

Figure 24 : Schéma d'aménagement des fossés de bordures le long des pistes principales

Empierrer toutes les pistes à risque et enherber les pistes secondaires

Le choix des pierres dépend de la disponibilité locale. L'empierrement avec de petits gravats non arrondis semble la solution la plus adaptée. Il procure une meilleure praticabilité des pistes par temps de pluie grâce au caractère anguleux des débris mais évite aussi la formation d'ornières sur la

piste grâce au faible diamètre des gravats et à leur répartition sur l'ensemble de la piste. Cet aménagement nécessite peu d'entretien, si ce n'est parfois un nouvel apport de pierres. Il faut éviter d'utiliser les pierres constituant le lit des rivières du bassin versant, car celles-ci permettent de lutter contre la turbidité des eaux lagonaires en aval en retenant des sédiments.

Les pistes peu fréquentées (par exemple celles utilisées uniquement par un agriculteur) peuvent être enherbées pour limiter au maximum l'érosion et le ruissellement (Fig. 25).

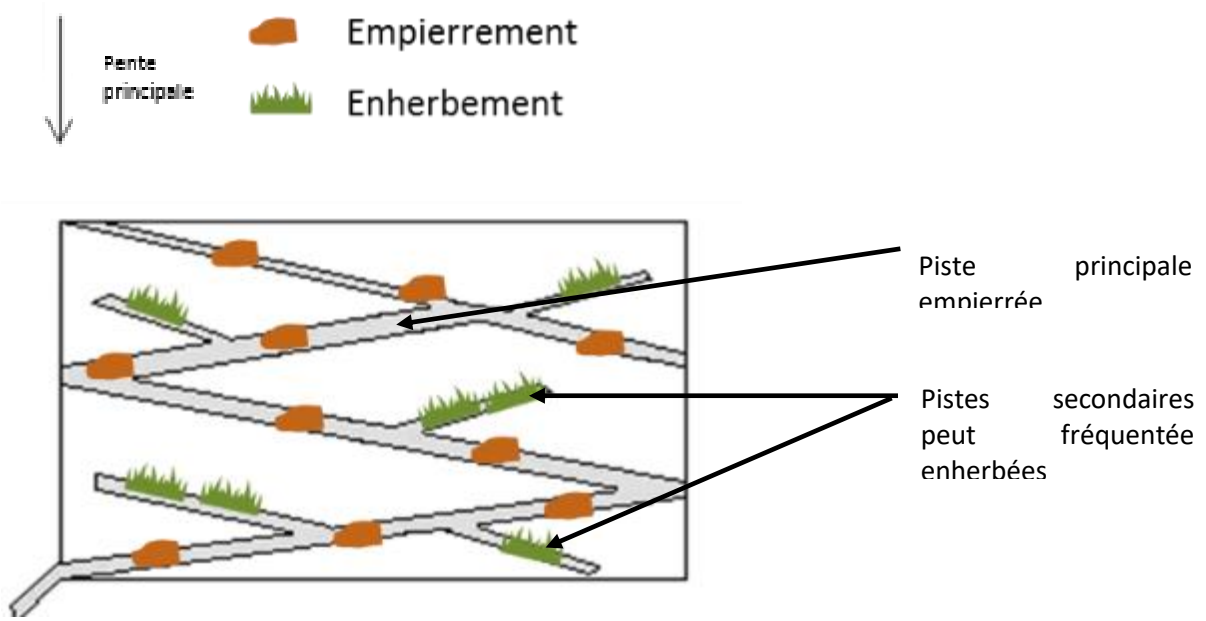


Figure 25 : Schéma de l'empierrement et de l'enherbement possible des pistes principales et secondaires

Aménager des bancs de diversion sur les pistes à risque

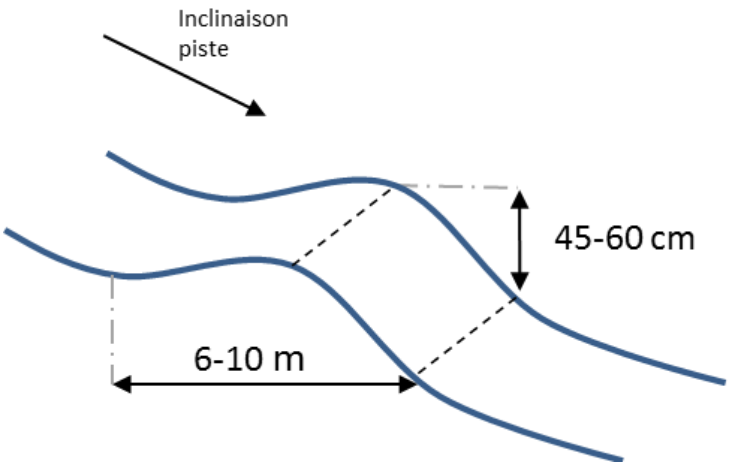
L'utilisation d'un bulldozer est recommandée pour l'aménagement de bancs de diversion : la terre nécessaire pour construire les bancs est généralement récupérée directement sur la piste en creusant 20 à 30 cm aux endroits qui deviendront les « creux ». Les bancs longs et peu profonds sont préférables (Fig. 26), et peuvent être facilement aménagés avec le bulldozer. Le Tab. 7 indique la distance maximale entre deux bancs pour une lutte efficace contre le ruissellement, en fonction du type de sol et de la pente.

Tableau 7 : Distance maximale entre deux bancs de diversion selon la pente et l'érodibilité du sol

Inclinaison de la piste	*Sol peu erodible*	*Sol fortement érodible*	*Sol très fortement érodible*
Moins de 14 %	70 – 90 m	60 – 70 m	20 – 30 m
14 % à 21 %	60 – 70 m	50 – 60 m	*
21 % à 28 %	40 – 60 m	*	*
28 % à 36 %	30 – 40 m	*	*
36 % à 40 %	20 – 30 m	*	*

* indique que des pistes ne devraient pas être aménagées dans de telles configurations

Source : adapté de Alt *et al.* (2009)



Source : adapté de (Deparment of Environment and Resource Mangement (Queensland), 2010)

Figure 26 : Schéma d'une piste aménagée avec des bancs de diversion

Les mesures non recommandées dans ces programmes

L'ensemble des mesures antiérosives relevées dans la littérature ne sont pas recommandées dans les 3 programmes présentés dans la partie précédente :

- Le billonnage en courbe de niveau n'est pas adapté pour les pentes fortes : les billons peuvent céder et déverser l'eau accumulée en une seule fois, entrainant un ruissellement et un risque d'érosion très important (Roose, 1994).
- L'enfouissement des résidus de culture est moins efficace que le paillage naturel, il est donc préférable de recourir à cette seconde technique (Roose et Asseline, 1978).
- Le paillage artificiel est couteux, et pas nécessairement plus efficace que le paillage naturel, il n'a donc pas été recommandé (Rebolledo-Martinez *et al.*, 2005; Roose, 1994).
- Le recours à des plantes de couverture est également plus difficile à mettre en œuvre que le paillage naturel, pour des résultats au mieux similaires. L'absence à Moorea des nématodes perturbant habituellement les cultures d'ananas ne justifie pas non plus le recours à cette méthode de lutte.
- La culture en bandes de cycles différents, telle qu'observée lors de la visite des exploitations aux Îles Fidji, est moins efficace qu'un « mulch » complet pour couvrir le sol, elle n'a pas été retenue.
- La couverture artificielle des pistes est efficace mais coûteuse. Une large gamme de techniques proposées dans cette étude peut a priori permettre de réduire suffisamment le ruissellement et l'érosion sur les pistes, il ne semble pas nécessaire de recourir à la couverture artificielle avant d'avoir évalué l'efficacité des autres mesures.

Bénéfices agronomiques : la difficile mesure des impacts de l'érosion sur les rendements agricoles

Les rendements agricoles des sols très érodés sont inférieurs à ceux des sols bien conservés à cause de la perte de fertilité et des modifications des régimes hydriques induites par l'érosion. Des mesures témoignent de pertes fréquentes de plus de 20 % des rendements en maïs aux États-Unis sur de tels sols, et une perte de 80 % en 15 ans a même été constatée aux Philippines (Pimentel *et al.*, 1995).

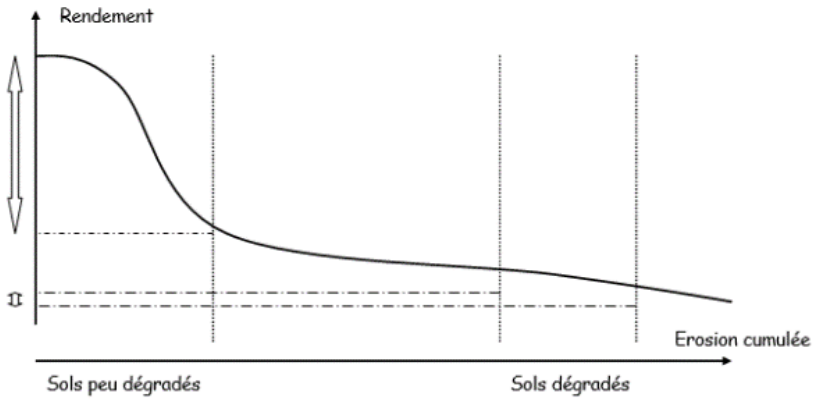
Deux facteurs principaux interviennent dans cette perte de productivité :

- Une baisse de la capacité des sols à infiltrer l'eau, qui est donc moins disponible pour les plantes. Des sols moyennement érodés peuvent absorber 10 à 300 mm de moins par hectare. En milieu tropical, l'érosion hydrique peut même faire chuter l'infiltration de 93 % (Lal, 1976).
- La lixiviation des éléments nutritifs du sol (nitrogène, phosphore, potassium et calcium notamment). Une tonne de sol fertile contient entre 1 et 6 kg de nitrogène, 1 à 3 kg de phosphore et 2 à 30 kg de potassium, là où un sol sévèrement érodé ne contiendra plus que 0,1 à 0,5 kg de ces éléments par tonne (Pimentel *et al.*, 1995). Sous ananas, c'est surtout la lixiviation en azote qui est importante (Roose et Asseline, 1978).

La quantification de ces phénomènes est délicate et très dépendante du contexte local : il est inconcevable de reprendre ces valeurs comme références par défaut pour le domaine de 'Opunohu. En outre, même une fois ces impacts mesurés, la relation de causalité qui les lie aux rendements est complexe et plurifactorielle. Lutz *et al.* (1994) ont estimé les variations de production sur 50 ans en présence d'érosion des sols pour plusieurs zones géographiques et types de cultures, et trouvent des résultats très variables (y compris pour une même espèce végétale). Ils ont également estimé les retours sur investissement de la mise en place de techniques antiérosives : pour deux localités du Honduras, toutes deux cultivées sous maïs, la mise en place de canaux de diversion semblables pour les eaux de ruissellement est rentabilisée (avec les surplus de production associés) en 4 ans pour l'un, et 18 ans pour l'autre. Cet exemple illustre l'impossibilité de calquer les résultats d'analyses externes, même réalisées dans des contextes similaires, au cas précis du domaine de 'Opunohu.

Enfin, la mise en œuvre des pratiques antiérosives affectant directement les sols (le non labour par exemple) peut avoir des conséquences sur le développement des ananas, et donc sur leur poids à maturité, leur teneur en sucre et leur acidité notamment. Sugahara *et al.* (2001) ont montré que, dans leur cas au moins, ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

Il convient donc de mettre en place des sites pilotes sur le domaine pour suivre l'évolution de l'érosion et de ses conséquences en fonction des pratiques antiérosives choisies. Globalement, plus les mesures antiérosives sont prises tôt, plus les gains en termes de productivité à long terme sont importants. Sur la Fig. 27 les doubles flèches montrent le gain de rendement engendré par une action antiérosive sur sol peu dégradé (grande flèche) et une action sur sol dégradé (petite flèche).



Source : Gonnot et Binet (2004)

Figure 27 : Potentiels gains de productivité des terres en fonction de la date de début d'intervention antiérosive

Les incitations au service du changement des pratiques agricoles

Le changement de pratiques agricoles n'est pas facile à induire chez des agriculteurs qui utilisent le même itinéraire technique depuis plusieurs années. La maitrise des pratiques actuelles, surtout liées à leur répétition et/ou à la formation initiale des agriculteurs, constitue une sorte de routine psychologique confortable semblant présenter peu de risques. Au contraire, un changement de pratiques suppose une remise en question des habitudes et un réapprentissage qui peut être difficile et demande un effort. Cet effort ne doit pas être imposé sans concertation avec les agriculteurs, puisque la bonne conduite des pratiques antiérosives dépendra en grande partie de leur motivation et de leur volonté de changement. Ainsi un changement construit, adaptatif voire prescrit est préférable à un changement de crise (voir la typologie des changements dans le Tab. 8).

Tableau 8 : Types de changements en fonction du rythme et de l'intentionnalité

Rythme / Intentionnalité	*Imposé*	*Volontaire*
Progressif	**Changement prescrit** : réponse à des contraintes de l'environnement (milieux naturels, réglementation, etc.)	**Changement construit** : évolution globale qui conduit les agriculteurs à réinventer leur métier
Brutal	**Changement de crise** : solution à un dysfonctionnement	**Changement adaptatif** : transformation des pratiques

Source : adapté de Autissier et Moutot (2003)

Globalement, il faut souligner que le changement de pratiques ne relève pas seulement d'un acte technique, mais aussi d'une évolution des représentations individuelles et collectives de ce qu'il est « bien » ou « mal » de mettre en œuvre sur sa parcelle (Thareau, 2010).

La prise en compte des problèmes rencontrés (l'érosion notamment) avant qu'ils ne deviennent problématiques pour la pérennité de la production permet d'éviter les changements de crise. Ainsi, des incitations peuvent permettre de faciliter la transition vers de nouvelles pratiques en encourageant le volontarisme des agriculteurs :

- Incitation par la preuve : c'est surtout dans cette catégorie que s'inscrit cette étude : l'objectif est de recueillir les connaissances nécessaires à la mise en place de parcelles expérimentales permettant de prouver l'efficacité et la viabilité des pratiques proposées. Ces incitations par la preuve reposent sur une hypothèse implicite forte : il est supposé que les agriculteurs sont rationnels et qu'ils appliqueraient volontairement des pratiques dont les bénéfices sont démontrés scientifiquement. Cette approche descendante (*top-down*) peut fonctionner, mais peut être perçue comme infantilisante par certains agriculteurs qui possèdent également une connaissance pratique de leurs parcelles qu'il convient de ne pas ignorer. Ainsi, l'irrationalité apparente des agriculteurs réfractaires au changement cache souvent en réalité des causes rationnelles (informations contradictoires, risque, incompatibilité des pratiques avec d'autres parties de l'itinéraire technique ou avec les objectifs personnels, etc.) qui doivent être identifiées. (Vanclay and Lawrence, 1994).

- Incitation par la formation : pour faciliter la transition technique et psychologique des agriculteurs, des formations (mêmes courtes) peuvent être utiles. Elles peuvent également être un moment propice à la présentation des preuves du bienfondé des changements de pratiques proposés, et pour recueillir les connaissances de terrain des agriculteurs.

- Incitation par le réseau : ce type d'incitation est basé sur les interactions sociales qu'entretiennent les agriculteurs entre eux. S'ils peuvent avoir recours à des conseils techniques de la part d'acteurs extérieurs (coopératives, bureau d'études et de conseil, etc.), les agriculteurs choisissent aussi leurs pratiques agricoles en fonction des pratiques et des

retours d'expérience des autres agriculteurs avec qui ils entretiennent des relations. Cet effet de réseau peut être un outil puissant pour déployer des changements de pratiques de façon volontaire. Il convient d'abord d'identifier les agriculteurs proactifs qui sont favorables aux changements et d'identifier leur position au sein du réseau de dialogue entre agriculteurs. Ceux qui sont en contact avec le plus d'autres exploitants (le noyau du réseau) sont à cibler en priorité car ils auront un fort pouvoir d'entrainement sur les autres. Il a été démontré que les dynamiques de changement de pratiques agricoles sont en effet souvent impulsées depuis ce noyau de réseau (Compagnone *et al.*, 2008). Les parcelles expérimentales pour la mise en place de pratiques antiérosives devront donc, si possible, être exploitées par des agriculteurs proactifs en noyau de réseau.

- Incitation économique : elle peut consister en l'octroi de subventions ou d'avantages en nature (utilisation gracieuse d'outils ou machines nécessaires aux nouvelles pratiques par exemple). Ces incitations économiques peuvent diminuer le risque perçu par l'agriculteur et réduire le coût des pratiques proposées, un facteur particulièrement important : environ la moitié des agriculteurs pratiquant le non-labour par exemple le justifient pour des raisons économiques (gain de temps, diminuer les consommations intermédiaires, etc.) (Zanella, 2008). Certains agriculteurs se certifient également en agriculture biologique avec des motivations économiques (produits vendus plus chers et moins d'intrants coûteux), même si cette raison est rarement le déclencheur unique de la conversion (Koesling *et al.*, 2008). Montrer que les bénéfices des exploitations ne sont pas forcément liés aux rendements peut aussi être une bonne incitation économique par la preuve.

- Incitation réglementaire : des règles imposées (quel que soit le niveau juridique : loi, règlement, contrat, etc.) sont susceptibles de faire changer les pratiques, à condition que le changement demandé soit réalisable et que les règles puissent être réellement contraignantes. Aussi, des contrôles peuvent être nécessaires, avec des sanctions en cas de non-conformité. Ces incitations nécessitent un suivi attentif de l'ensemble de la zone concernée, et peuvent être difficiles à faire respecter. Des règles progressives et annoncées en avance peuvent permettre une transition efficace et qui ne soit pas mal vécue par les agriculteurs.

Pour réussir un changement important dans les pratiques agricoles, Roose (1994) propose trois étapes structurantes, qui nécessitent toute la participation des agriculteurs :

- Une étape de dialogue avec les agriculteurs et la population locale pour identifier les besoins et rassembler des informations sur les pratiques et les problèmes environnementaux rencontrés. A partir de ce travail, les liens de causalité entre les problèmes observés et les pratiques agricoles doivent être établis et des solutions sont proposées, en concertation avec les agriculteurs.

- Une seconde étape d'expérimentation sur le terrain pour mesurer l'efficacité des pratiques proposées, leur faisabilité, les aspects économiques et financiers associés, etc.

- Une troisième étape de proposition d'un plan d'aménagement intégré à l'échelle d'un versant, d'une colline, d'un bassin versant, d'une unité paysagère, etc. Cette étape nécessite une observation fine de la topographie et de la pédologie pour définir les aménagements adaptés (par exemple avec l'aide d'un géomètre).

Bref historique de l'approche des agriculteurs pour les pratiques antiérosives sur le domaine de 'Opunohu

Nous avons interrogé Philippe Couraud, directeur du Domaine de 'Opunohu à propos des pratiques conduites depuis la mise en culture d'ananas sur le domaine. Il est ressorti de cet entretien que la culture en courbe de niveaux est la seule véritable pratique à avoir été mise en œuvre de manière pérenne. M. Couraud fait état également, il y a plusieurs années, d'une mise en œuvre stricte de la culture en courbes de niveaux avec un directeur du domaine qui n'hésitait pas à faire replanter les parcelles qui ne suivaient pas strictement ces courbes. Cette pratique était jugée à l'époque comme nécessaire et les planteurs s'y conformaient scrupuleusement.

Aujourd'hui, les visites de parcelles réalisées en présence de M. Couraud ont permis de constater que certaines plantations ne respectent plus une plantation en courbes stricte. Certaines de ces plantations sont réalisées en biais et ne peuvent avoir l'effet de barrière antiérosive escompté. Les entretiens menés auprès des agriculteurs révèlent que ces pratiques ne participent pas d'une mauvaise volonté de ces derniers mais plutôt d'une perte du savoir-faire de plantations en courbes de niveaux. Pour autant, certains planteurs expérimentés plantent encore volontairement dans le sens de la pente pour plus de facilité, lorsque la pente est peu faible. Il convient de distinguer ces deux pratiques et d'opérer une correction lorsque c'est le cas.

Figure 28 : Jeune plantation sans respect des courbes de niveau

Concernant d'autres pratiques permettant de réduire l'érosion, nous n'avons pas pu recenser d'autres pratiques, hormis un agriculteur seulement qui pratiquait régulièrement le broyage des plants pour créer un « mulch » lors du renouvellement de parcelles. Ce « mulch » permettait alors de maintenir un couvert de matière organique plutôt que de laisser le sol à nu pendant les semaines et mois entre les renouvellements de parcelles. Nous avons constaté que cet agriculteur ne pratique plus ce broyage (au vu du dernier renouvellement opéré sur une de ses parcelles). Les agriculteurs interrogés sur le sujet relatent des inquiétudes pour les maladies qui resteraient dans le couvert lors du renouvellement. Ils leur préfèrent un décapage strict des parcelles au bulldozer et la mise en tas des plants dans un coin de la parcelle, souvent en bas de parcelle. Cette pratique a comme double inconvénient de mettre à nu le sol lors du renouvellement, et retirer un volume important de sol fertile, emporté par les plants poussés avec le bulldozer.

Concernant les pratiques en bordure de parcelles, nous avons constaté que des agriculteurs ont installé des vergers fruitiers en bordure de parcelles et le long des pistes, dont nous avons pu constater des conséquences positives sur l'érosion des pistes bordant ces alignements d'arbres.

Figure 29 : Rangée de citrus le long d'une piste

Finalement, l'historique des pratiques antiérosives sur le domaine démontre une dérive dans la mise en œuvre des pratiques antiérosives et le peu d'engagement dans des pratiques volontaires pour maintenir le sol et éviter l'érosion, quelle que soit la pente des parcelles. Les itinéraires culturaux semblent guidés par la volonté de cultiver le maximum de plants sur les parcelles alloués et exploiter, année après année, le potentiel de rendement de la culture. Certains agriculteurs, exploitants depuis plusieurs décennies, font état d'une perte de fertilité sur les parcelles cultivées depuis longtemps en ananas. Pour autant, ce constat n'a pu être validé par un suivi précis de fertilité ou un décapage du sol fertile (pour laisser la roche mère à nu) qui serait visible au fur et à mesure de l'exploitation et ne laisserait plus de doute sur les pertes en sol liées à l'érosion.

Quels leviers d'actions pour la mise en œuvre de pratiques antiérosives ?

Cette partie dont la rédaction a été initiée à l'été 2016 a été complétée en février 2017 à la suite de commentaires formulés par la DIREN et la CPS, et après une mission de terrain réalisée en décembre 2016 par Thomas Binet.

Sur la base du travail d'identification de bonnes pratiques pour réduire l'érosion sur les parcelles d'ananas réalisé dans ce rapport, nous avons entrepris un important travail d'identification des leviers d'action, en partenariat avec le SDR. Ce travail reprend les leviers et incitations décrit dans ce même chapitre :

- **Incitations par la preuve et le réseau** : un voyage d'étude a été réalisé dans le cadre d'un appui INTEGRE et en partenariat avec les opérateurs du projet RESCCUE à Fiji ; l'objectif de ce voyage était de prendre connaissance d'expériences de lutte contre l'érosion sur des plantations d'ananas sur pente à Fiji, en présence d'agriculteurs à la tête de la COPAM et des agriculteurs qui étaient concernés par les lots d'expérimentation sur le domaine. Ce voyage

d'étude avait pour double objectif de démontrer le bien fondé de pratiques antiérosives et de convaincre les membres du bureau de la COPAM et agriculteurs influents de la culture d'ananas à Moorea.

- **Incitation par la formation** : une formation a été envisagée lors de la réalisation de cette étude et du voyage d'étude afin de sensibiliser les agriculteurs à la question de l'érosion et aux impacts sur les sols et les services écosystémiques, mais elle n'a pu être réalisée ; une formation pourra être planifiée à nouveau lors de la mission de terrain d'avril 2017, à la demande du SDR et des agriculteurs intéressés.
- **Incitation par le réseau :** au cours de la mission de Thomas Binet de Vertigo Lab en décembre 2016 en Polynésie, les contours d'une expérimentation sur des lots de culture d'ananas du domaine ont été dessinés. Sur la base du contenu du présent rapport, des dispositifs ont été envisagés et placés sur les parcelles d'expérimentation. Sur la base du contenu du présent rapport, des dispositifs ont été envisagés et placés sur les parcelles d'expérimentation. Le directeur du Domaine a ensuite organisé une réunion des agriculteurs concernés par l'expérimentation, afin de préparer sa mise en œuvre.
- **Incitation règlementaire :** les leviers règlementaires sont à renforcer, notamment parce que les cahiers des charges de la mise à disposition des parcelles prévoit la mise en œuvre de pratiques antiérosives et notamment de plantations en courbes de niveaux, mais ces exigences étaient jusqu'à il y a peu non contrôlées. Mais le récent travail réalisé par RESCCUE et INTEGRE a relancé la question de l'érosion et le directeur du Domaine a réitéré les obligations contractuelles des agriculteurs en matière de conservation des sols.
- **Incitation économique :** compte-tenu du peu de motivation actuel des agriculteurs pour la mise en œuvre de pratiques antiérosives, souvent coûteuses en temps et sans impact à court-terme, il apparait nécessaire de soutenir la mise en œuvre de ces pratiques, expérimentales d'abord, et à l'échelle de tout le domaine ensuite, par des incitations économiques. Les incitations économiques envisagées ici supposent de disposer des moyens financiers nécessaires. L'expérimentation des pratiques sélectionnées sur les parcelles pilotes du domaine de 'Opunohu permettront de déterminer la faisabilité complète de ces pratiques, les besoins en financement et d'engager une réflexion sur les mécanismes qu'il serait souhaitable de mettre en place à cette fin (par ex. Mesures Agro-Environnementales), tant au niveau de financements publics (SDR)[7] que par une contribution des bénéficiaires privés de ces pratiques (opérateurs d'excursions dans les parcelles d'ananas, opérateurs touristiques du lagon, etc.).

Conclusion

La compréhension du contexte particulier de la baie et du domaine de 'Opunohu permet d'identifier les impacts environnementaux de pratiques agricoles non durables pour la culture d'ananas et de proposer des mesures adaptées. Les programmes proposés répondent à des niveaux d'ambition (et d'efficacité) différents et devraient être mis en œuvre en fonction de leur faisabilité technico-économique après une phase d'expérimentation sur des parcelles pilotes[8].

L'implication des agriculteurs est indispensable à l'adoption des pratiques recommandées : des incitations seront nécessaires pour convaincre l'ensemble des agriculteurs du domaine de la

[7] A la suite de la mission de terrain de décembre 2016, au cours de laquelle une journée de sensibilisation des agriculteurs à la plantation de vetiver a été organisée, la SDR a engagé des discussions pour renforcer ses capacités d'accompagnement des agriculteurs vers des pratiques plus durables.

[8] Voir à ce sujet le rapport réalisé dans le cadre du projet INTEGRE en Polynésie française présentant les parcelles expérimentales choisies et les fiches de suivi qui permettront une évaluation technico-économique contextualisée des pratiques antiérosives mises en œuvre.

faisabilité du changement de pratique requis, par un appui technique et une couverture des coûts de transaction des pratiques..

Le soutien au développement de l'agriculture biologique sur le domaine peut être complémentaire de ces programmes de mesures et démontrer la viabilité économique de filières agricoles respectueuses de l'environnement. Pour cela, RESCCUE prévoit la formalisation d'une fiche technico-économique pour différentes cultures agricoles (ananas au premier chef) afin de guider les agriculteurs intéressés pour la mise en œuvre technique de cultures antiérosives d'une part et leur offrir une idée des coûts de production et marges économiques estimées les premières années et les années suivantes d'autre part.

Références

Alt, S., Jenkins, A., Lines-Kelly, R., 2009. Saving Soil – A landholder's guide to preventing and repairing soil erosion. Northern Rivers Catchment Management Authority.

Andréfouët, S., Chagnaud, N., Chauvin, C., Kranenburg, C., 2008. Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer. Centre IRD de Nouméa.

Autissier, D., Moutot, J.-M., 2003. Pratiques de la conduire du changement. Comment passer du discours à l'action.

Bambridge, T., 2013. Programme MOM. Axe 1 : usages des pesticides à Moorea. CRIOBE, Moorea, Polynésie française.

Besson, E., 2012. Proposition de plan de gestion intégrée pour la baie et la vallée d'Oponohu pour le groupe de travail du Conservatoire polynésien des espaces gérés. Délégation Outre-mer du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres.

Binet, T., Failler, P., Maréchal, J.-P., 2012. Services écologiques des écosystèmes du Parc national de Guadeloupe : identification et évaluation économique. Module 331 – Etude « Approche des éléments de valeur du Parc national de la Guadeloupe ». Saint-Claude, Guadeloupe.

Broucke, S., 2010. Modélisation et simulation de l'impact des activités naturelles et anthropiques des bassins versants sur la vitalité du récif corallien. Presqu'île de Tahiti. CRISP, IRD, Noumea.

Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhorst, W., 2009. Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. Landscape Online 15, 1–22. doi:10.3097/LO.200915

Centre d'Hygiène et de Salubrité Publique, 2015a. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine à Tahiti et dans les îles. Année 2015.

Centre d'Hygiène et de Salubrité Publique, 2015b. Qualité bactériologique des eaux de baignade. Iles de Tahiti, Moorea, Bora Bora, Raiatea et Tubuai. Campagne 2014-2015.

Compagnone, C., Hellec, F., Macé, K., Morlon, P., Munier-Jolain, N., Quéré, L., 2008. Raisonnement des pratiques et des changements de pratiques en matière de désherbage : regards agronomique et sociologique à partir d'enquêtes chez des agriculteurs. Innovations Agronomiques 3, 89–105.

Créocéan (Coord F. Seguin), 2015. L'état de l'environnement en Polynésie française 2007/2014. Direction de l'environnement, Polynésie française, Tahiti.

Delebarre, N., 1980. La culture de l'ananas en Polynésie. Bulletin technique n°20. Service de l'Economie Rurale, Pirae, Tahiti.

Deparment of Environment and Resource Mangement (Queensland), 2010. Erosion control on property roads and tracks—managing runoff.

Dumas, P., Cohen, O., n.d. Influence de la susceptibilité à l'érosion hydrique des bassins- versants sur l'évolution du rivage : exemples dans le sud de la Nouvelle-Calédonie.

FAO, 2015. Le paillage (ou mulching) en agriculture biologique.

Faure, G., n.d. Principales dégradations de l'écosystème récifal, Envrionmental tropical.

Godard, O., 2005. Les conditions d'une gestion économique de la biodiversité : un parallèle avec le changement climatique, Cahiers du CECO. Ecole polytechnique, Paris.

Gonnot, C., Binet, T., 2004. Etude de l'érosion sur des plantations d'ananas à Moorea. Service du développement rural de Polynésie Française, Département DAG.

Groupe Régional Non-labour Midi-Pyrénées, 2007. Réussir le passage au non-labour.

INTEGRE, 2016. La Baie et la vallée d'Opunohu [WWW Document]. URL http://integre.spc.int/en-polynesie-francaise/la-baie-et-la-vallee-d-opunohu (accessed 7.20.16).

Jamet, R., Buffard-Morel, J.M., Thuilier, H., 1996. Carte des sols de Moorea à l'échelle de 1:40 000.

Koesling, M., Flaten, O., Lien, G., 2008. Factors influencing the conversion to organic farming in Norway. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology 7, 78–95.

La Calédonie Agricole, 2013. Le vétiver, "une technologie verte pour tous." Fiche technique 139.

Lal, R., 1976. Soil erosion problems on an alisol in Western Nigeria and their control. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

Laurent, V., Maamaatuaiahutapu, K., Maiau, J., Varney, P., 2004. Atlas climatologique de la Polynésie française. Météo France - Direction interrégionale de Polynésie française.
Lutz, E., Pagiola, S., Reiche, C., 1994. The costs and benefits of soil conservation: the farmers' viewpoint. World Bank Research Observer 9, 273–295. doi:10.1093/wbro/9.2.273
Meyer, J.-Y., Pouteau, R., Taputuarai, R., Fourdrigniez, M., Spotswwod, E., 2011. Eléments remarquables de la végétation, la flore et la faune du domaine d'Opunohu (Mo'orea). Note technique.
Moullet, D., Saffache, P., 2006. Vers une surexpression des dégradations côtières de l'île de la Dominique. Études caribéennes. doi:10.4000/etudescaribeennes.281
O'Connor, J.J., Lecchini, D., Beck, H.J., Cadiou, G., Lecellier, G., Booth, D.J., Nakamura, Y., 2016. Sediment pollution impacts sensory ability and performance of settling coral-reef fish. Oecologia 180, 11–21. doi:10.1007/s00442-015-3367-6
Pascal, N., Leport, G., Allenbach, M., 2015. Récifs coralliens, mangroves et herbiers de Polynésie française : valeur économique des services écosystémiques. Chapitre I et II : valeurs d'usages directs et indirects. Rapport final. IFRECOR.
Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservaton benefits. Science 267.
Rebolledo-Martinez, A., Del Angel-Perez, A.L., Becerril-Roman, A.E., Rebolledo-Martinez, L., 2005. Growth analysis for the three pineapple cultivars grown on plastic mulch and bare soil. Interciencia 30.
Reix-Tronquet, M., 2015. Sensibilité des communautés phytoplanctoniques lagonaires aux pressions anthropiques de contamination chimique. Etude préliminaire dans les îles de Tahiti et Moorea (Polynésie française, Pacifique). Université de la Polynésie française.
Risk, M.J., Edinger, E., 2011. Impacts of sediment on Coral Reefs. Encyclopedia of Modern Coral Reefs. Structure, Form and Process 575–586. doi:10.1007/978-90-481-2639-2_25
Rogers, C.S., 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. Marine Ecology Progress Series 62, 185–202.
Roose, E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), Bulletin pédologique de la FAO. FAO, Rome, Italie.
Roose, E., Asseline, J., 1978. Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé. Les charges solide et soluble des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas. Cahiers ORSTOM série Pédologie 16, 43–72.
Sabatier, P., Poulenard, J., Fanget, B., Reyss, J.L., Develle, A.L., Wilhelm, B., Ployon, E., Pignol, C., Naffrechoux, E., Dorioz, J.M., Montuelle, B., Arnaud, F., 2014. Long-term relationships among pesticide applications, mobility, and soil erosion in a vineyard watershed. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111, 15647–15652. doi:10.1073/pnas.1411512111
Saffache, P., n.d. Martinique et Guadeloupe: sanctuaires coralliens ou cimetières sous-marins? Aménagement et Nature 143–144, 6.
Salvat, B., Roche, H., Ramade, F., 2016. On the occurrence of a widespread contamination by herbicides of coral reef biota in French Polynesia. Environmental Science and Pollution Reseach 23, 49–60. doi:10.1007/s11356-015-4395-9
Sugahara, K., Ohwaki, Y., Banzai, K., 2001. Erosion control in pineapple fields on the island of Ishigaki. JARQ 35, 91–96.
Tanret, D., Jacq, F.A., Butaud, F., 2011. Etude relative au classement de la baie de 'Opunohu en espace naturel protégé, plan de paysage de 'Opunohu. Rapport final. Direction de l'environnement, Polynésie française.
TEEB, 2008. The economics of ecosystems and biodiversity: an interim report. European Commission, Brussels.
Thareau, B., 2010. Comment promouvoir l'utilisation du désherbage mécanique ? Analyse sociologique des points de vue d'agriculteurs face au changement des pratiques de désherbage.

UICN France, 2013. Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France. Volume 2.2 : Les écosystèmes marins et côtiers. Paris, France.
Vanclay, F., Lawrence, G., 1994. Farmer rationality and the adoption of environmentally sound practices; A critique of the assumptions of traditional agricultural extension. European Journal of Agricultural Education and Extension 1, 59–90. doi:10.1080/13892249485300061
Zanella, C., 2008. Les techniques sans labour : Des pratiques culturales en réponse à une agriculture plus durable.

Cultures en courbes de niveau

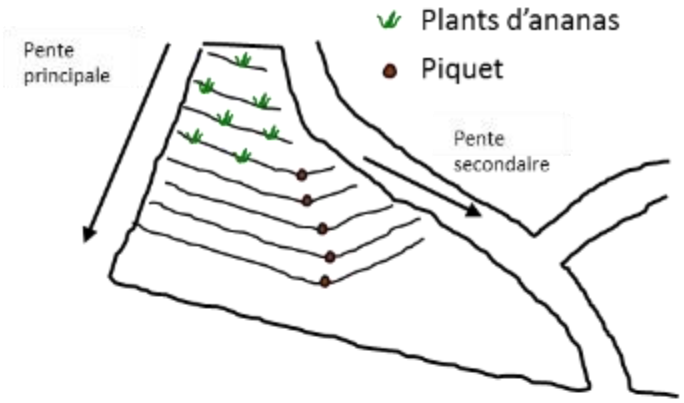
● Parcelles ● Pistes

Description

La culture en courbes de niveau est une pratique qui a une faible efficacité antiérosive sur des pentes fortes, mais qui a un coût de mise en œuvre quasiment nul. Elle reste donc intéressante à mettre en œuvre partout. Sur le domaine d'Opunohu, cette technique est en théorie appliquée depuis le début de années 1970. A cette époque, un contrôle strict de son application était effectué, contrôle qui a disparu dans les faits aujourd'hui. Une des conséquences de cette évolution est la présence de défaillances dans les lignes d'ananas qui ne suivent pas les courbes de niveau partout et limitent donc l'efficacité de la mesure.

Mise en œuvre

Des piquets et de la ficelle suffisent à dessiner les lignes épousant le microrelief local avant de mettre les plants en terre. Les contrôles pourraient également être rétablis dans le même temps pour assurer la mise en place des courbes de niveau partout.



Opportunités

- Bon rapport coût-efficacité ;
- Mesure prioritaire, préalable à la mise en place de nombreuses autres techniques antiérosives.

Menaces

- Efficacité très faible sur les pentes supérieures à 20 % ;
- Peu efficace seule, d'autres mesures antiérosives sont nécessaires en complément.

Efficacité (pente forte)

● Faible
● Moyenne
● Forte

Coût

● Faible
● Moyen
● Important

VERTIGOLAB

Bandes enherbées

● Parcelles ● Pistes

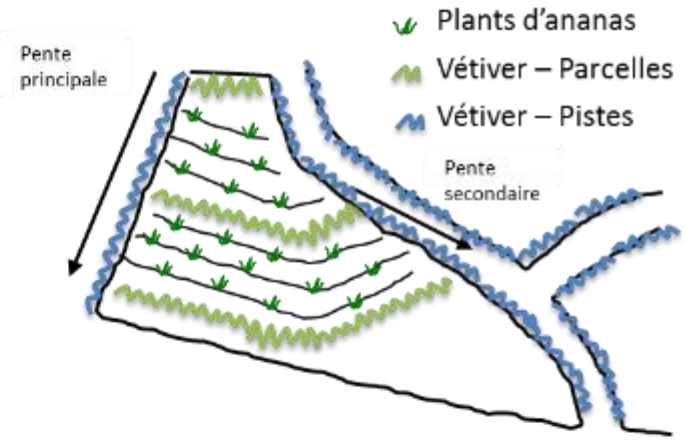
Description

Insérer des bandes enherbées entre les rangées d'ananas et le long des pistes permet d'éviter d'avoir des sols nus, particulièrement propices au ruissellement. Elles forment aussi des filtres qui ralentissent la vitesse des écoulements, et favorisent donc le dépôt des sables grossiers et des matières organiques et améliorent l'infiltration.

Mise en œuvre

Le vétiver, idéal pour l'aménagement des bandes enherbées, peut être soit importé depuis Tahiti (des pépinières en cultivent), soit cultivé sur place. Les boutures issues de plants-mères peuvent être immédiatement plantées, ou multipliées (par un facteur 30 en 3 mois) par division des souches, par exemple en utilisant des sachets de pépinière.

Les plants doivent être installés sur une seule ligne pendant le début de la saison des pluies, quand le sol est très humide.



Opportunités

- Bon rapport coût-efficacité ;
- Mise en œuvre et entretien simple ;
- Grande flexibilité dans la mise en œuvre : partout ou uniquement dans les zones à risque.

Menaces

- Nécessité d'installer des pépinières à vétiver, ou de l'importer ;
- Peu prendre la place de quelques rangées d'ananas, et donc réduire (à la marge) la production.

Efficacité (pente forte)

○ Faible
○ Moyenne
● Forte

Coût

● Faible
○ Moyen
○ Important

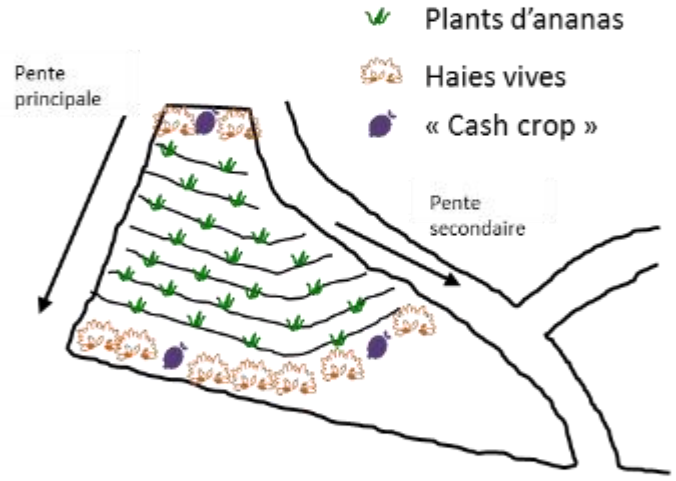
VERTIGOLAB

Haies vives et « *cash crop* »

● Parcelles ● Pistes

Description

Cette technique repose sur le même principe que les bandes enherbées, mais utilise plutôt des arbustes plantés en quinconces sur une épaisseur de 50 à 100 cm, qui fonctionnent comme des micro-barrages perméables. Les massifs forestiers présents autour des plantations peuvent jouer naturellement ce rôle, mais sont inégalement répartis sur le domaine. L'efficacité de cette technique est en général moindre que pour les bandes enherbées dans les premières années, mais les haies vives permettent aussi de lutter contre l'érosion éolienne. Il est possible de rajouter des « cash crop », c'est-à-dire des plantes ayant un intérêt économique.



Mise en œuvre

Le choix des « cash crop » dépend du marché local : à Moorea les nonos, citrons verts, citrons caviar voire bananiers peuvent être envisagés. Il est également possible d'utiliser ces haies vives pour conduire la parcelle en agroforesterie.

Peut fonctionner en association avec les bandes enherbées.

Opportunités

- Complément de revenu offert par les « cash crop » ;
- Lutte contre l'érosion éolienne dans les zones qui y sont soumises ;
- Agroforesterie possible.

Menaces

- Période initiale où l'efficacité antiérosive est faible ;
- Veiller à choisir des plantes non envahissantes et n'hébergeant pas de nuisibles ;
- L'ombre des arbustes peut freiner la croissance des ananas.

Efficacité (pente forte)

○ Faible
○ Moyenne
● Forte

Coût

○ Faible
● Moyen
○ Important

VERTIGOLAB

Paillage naturel (*mulch*)

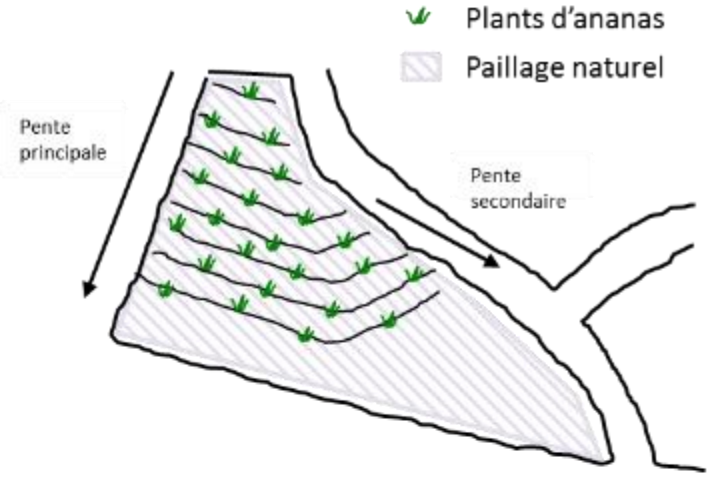
● Parcelles ● Pistes

Description

Le paillage naturel ou « *mulch* » est la technique basée sur les résidus de culture la plus efficace pour lutter contre l'érosion et le ruissellement, y compris sur les fortes pentes. Elle permet une couverture totale du sol, en plus de l'enrichir en matière organique et de réduire le développement des adventices.

Mise en œuvre

Le paillage doit être pratiqué avant la saison des pluies pour offrir une protection au sol lors des fortes précipitations. Les plants d'ananas peuvent être plantés avant ou après le paillage. En pratique, le remplacement du bulldozer utilisé lors du renouvellement des parcelles par un tracteur à chenilles tractant un broyeur permettrait un paillage immédiat, avant la mise en terre des plants.



Pour éviter tout risque de propagation des maladies, les plants présentant des symptômes à la récolte ne doivent pas être utilisés pour le paillage. Dans ce cas, il est préférable de bruler les résidus de culture que de laisser les sols entièrement nus.

Opportunités

- Les couronnes d'ananas broyées et/ou les bandes enherbées de vétiver fournissent un paillage peu coûteux ;
- Bloque la croissance des adventices et peut permettre d'utiliser moins d'herbicides.

Menaces

- Peut attirer la macrofaune nuisible (rongeurs, limaces) ;
- Si les résidus sont contaminés par des maladies, ils peuvent contaminer la prochaine culture.

Efficacité (pente forte)

○ Faible
○ Moyenne
● Forte

Coût

○ Faible
● Moyen
○ Important

VERTIGOLAB

Non labour et travail réduit du sol

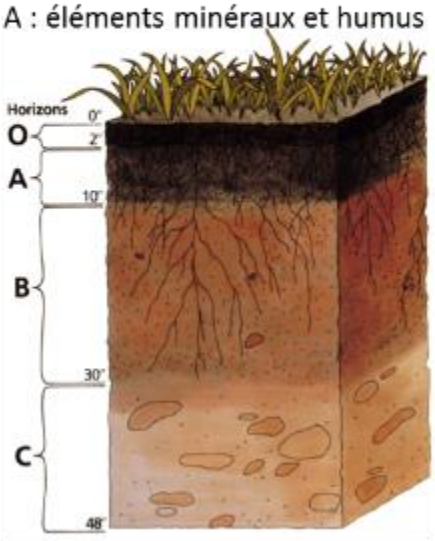
● Parcelles ● Pistes

Description

Le non labour est une technique qui s'inscrit dans la démarche de l'agriculture de conservation, qui vise à conserver à long terme le potentiel productif des sols. Le non labour a l'avantage d'être économique, puisqu'il s'agit d'une opération en moins à conduire sur les parcelles. Il permet également de limiter les passages de machines agricoles (et donc la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre associées). Il est souvent accompagné d'une réduction de l'ensemble du travail du sol et de l'utilisation des résidus de culture comme couche de protection.

0 : matière organique

A : éléments minéraux et humus



Mise en œuvre

La réduction du travail du sol ne peut s'envisager que sur un sol bien structuré et non compacté par les passages de roues ou d'outils. Elle implique une plus grande attention aux conditions d'humidité des sols et au développement des adventices.

Il est conseillé de réduire progressivement le travail du sol, en diminuant de cycle en cycle la profondeur du labour jusqu'à l'arrêter entièrement. Des chasses débris peuvent être utilisés pour écarter les résidus des lignes de plantation.

Opportunités

- Aucun coût pour la mesure, qui réduit même le travail nécessaire ;
- Le non labour peut augmenter la teneur en matière organique du sol en surface (O sur le schéma).

Menaces

- Suivre la taille des ananas récoltés pour s'assurer que le non labour ne perturbe pas leur croissance ;
- Les risques liés aux ravageurs et adventices peuvent être accrus, donc l'utilisation des produits phytosanitaires de lutte aussi.

Efficacité (pente forte)

○ Faible
● Moyenne
○ Forte

Coût

● Faible
○ Moyen
○ Important

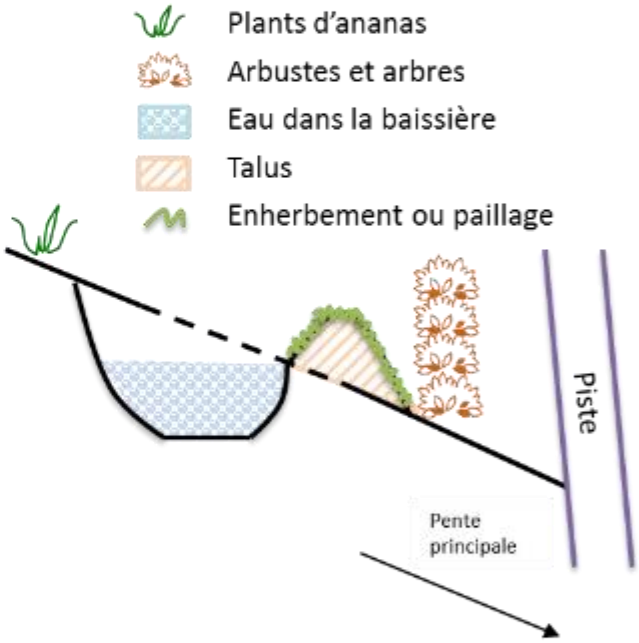
VERTIGOLAB

Baissières (*swale*)

● Parcelles ● Pistes

Description

Une baissière, ou noue (ou « *swale* » en anglais), correspond à un terrassement formant une rigole flanquée d'un talus et éventuellement d'arbustes, le long d'une courbe de niveau. Paillée et enherbée, elle permet de limiter grandement le ruissellement et d'augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol, en formant des lentilles d'eau stockées sous la surface. La noue présente l'avantage de ne pas rapidement évacuer toute l'eau de pluie, en exerçant un rôle de tampon. C'est un type d'ouvrage très utilisé en permaculture.



Mise en œuvre

Le choix de l'emplacement de la baissière dépend des marques de ruissellement observées et de la topographie. L'appui d'un géomètre est recommandé pour bien les positionner. La profondeur de la baissière peut être variable en fonction de la pluviométrie, le plus important est de maintenir cette profondeur constante. Il est donc nécessaire de suivre au mieux les courbes de niveau.

Le talus peut être constitué uniquement de terre ou de matière organique (bois, feuilles, résidus de culture) recouverte de terre.

Opportunités

- Facile à aménager, ne nécessite aucun matériau artificiel ;
- Protège les pistes situées en leur aval du ruissellement ;
- Retarde l'évacuation de l'eau (rôle tampon).

Menaces

- Doit être entretenue pour éviter le comblement de la rigole par les sédiments ;
- Lors des précipitations très intenses, les baissières peuvent arriver à saturation et ne plus jouer leur rôle.

Efficacité (pente forte)

● Faible
○ Moyenne
○ Forte

Coût

● Faible
○ Moyen
○ Important

VERTIGOLAB

Caniveaux de diversion des eaux pluviales

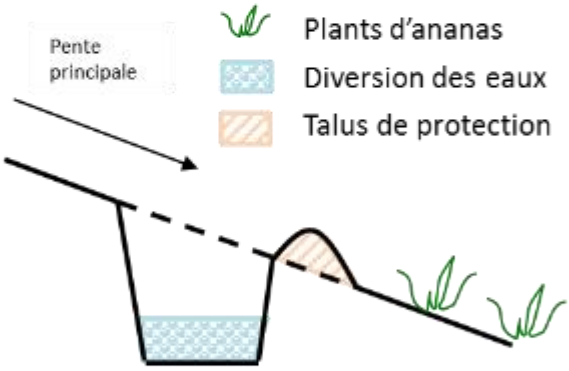
● Parcelles ● Pistes

Description

La création de caniveaux en amont des parcelles a pour effet de dévier les eaux de ruissellement en provenance du bassin amont. Dans des régions très arrosées comme la vallée d'Opunohu, la mise en place de tels caniveaux peut être nécessaire pour prévenir les parcelles du ruissellement. Ces caniveaux diminuent ainsi la quantité d'eau entrant sur la parcelle et réduisent ainsi les risques d'érosion liés au ruissellement. Les pistes, elles aussi, seront moins touchées par ce ruissellement et seront ainsi mieux préservées.

Mise en œuvre

La profondeur des caniveaux doit être choisie en cohérence avec les volumes de pluies communément observés sur le domaine. Etant très couteux et nécessitant beaucoup d'entretien, ils sont à privilégier en amont des parcelles présentant d'importantes marques d'érosion pour canaliser le ruissellement. L'évacuation de l'eau autour de la parcelle doit être prévue pour éviter qu'elle ne gagne les parcelles voisines, qui subiraient ainsi une érosion accrue. Une bonne coordination des aménagements à l'échelle du bassin versant est souhaitable pour éviter ces effets secondaires.



Opportunités

- Les caniveaux peuvent être reliés aux fossés de bordure des pistes pour structurer un réseau de gestion des eaux pluviales cohérent à l'échelle du bassin versant.

Menaces

- Entretien régulier nécessaire et coûteux ;
- En cas de très fortes pluies, les caniveaux peuvent être saturés ;
- Le détournement des eaux d'un parcelle ne doit pas se faire au dépend des parcelles voisines.

Efficacité (pente forte)

● Faible
● Moyenne
● Forte

Coût

● Faible
● Moyen
● Important

VERTIGOLAB

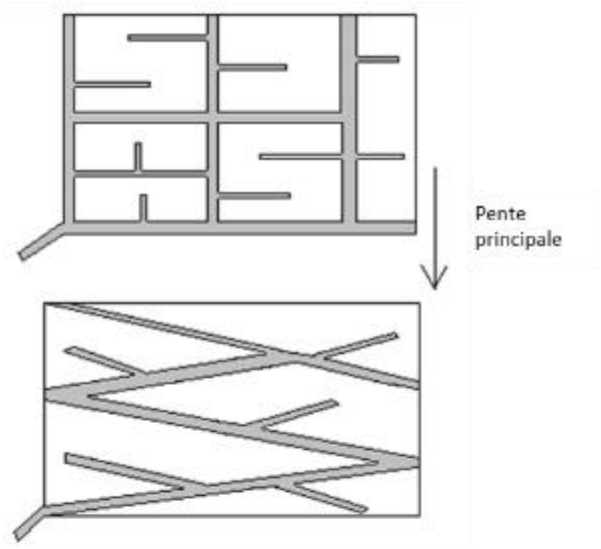
Orientation des pistes

● Parcelles ● Pistes

Description

Les pistes utilisées pour accéder aux parcelles peuvent devenir des « couloirs de ruissellement » : elles sont souvent dans le sens de la pente et sans couvert végétal.

Le meilleur moyen de diminuer l'inclinaison de la piste est de placer celle-ci en travers de la pente principale. Il peut être aussi efficace de préférer des zones de moindre pente pour l'accès aux parcelles. Les pistes devront être, dans la mesure du possible, placées en courbes de niveau pour limiter la vitesse du ruissellement et donc la quantité de particules transportées



Mise en œuvre

La réorganisation des pistes doit être pensée à l'échelle du bassin versant, avec tous les agriculteurs concernés. En amont des travaux, le réseau doit être dessiné avec cohérence pour que les pistes suivent les pentes les plus douces et forment des lacets. Aucune piste, même secondaire, ne doit dépasser l'inclinaison critique de 20 %.

La réorganisation des pistes doit se faire après la récolte et avant de replanter puisqu'elle peut changer la forme des parcelles cultivées.

Opportunités

- Mesure prioritaire, préalable à la mise en place de nombreuses autres techniques antiérosives sur les pistes ;
- Limiter le ruissellement permet aussi de pouvoir accéder aux parcelles toute l'année.

Menaces

- Ne dispense pas d'un entretien régulier des pistes ;
- Nécessite une gestion concertée à l'échelle du bassin versant.

Efficacité (pente forte)

○ Faible
● Moyenne
○ Forte

Coût

○ Faible
● Moyen
○ Important

VERTIGOLAB

Bordures arbustives pour les pistes

Parcelles Pistes

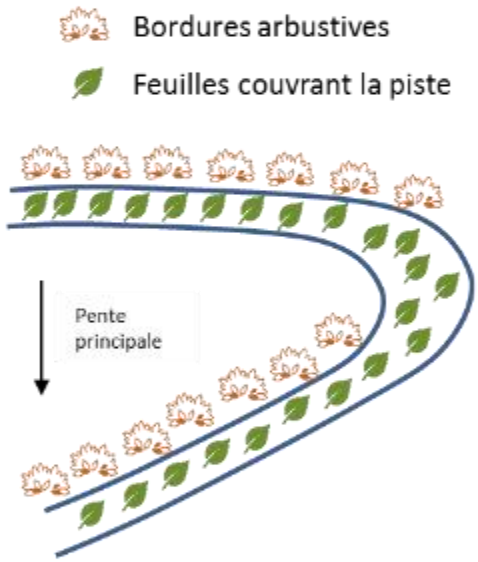
Description

Des arbustes peuvent être utilisés en complément des plantes herbacées pour border les pistes, dans les zones qui nécessitent une attention particulière (virages où le ruissellement traverse la piste par exemple). En plus de permettre une meilleure fixation du sol et de constituer une barrière physique au ruissellement, les feuilles tombées à terre peuvent couvrir la piste et la protéger de l'effet « splash » lors des fortes précipitations.

Mise en œuvre

Le choix des espèces végétales est important : les racines ne doivent pas endommager les pistes, les feuilles doivent être larges et/ou nombreuses et peu cireuses pour éviter que les véhicules ne glissent dessus. L'absence de synchronisation de la chute des feuilles en milieu tropical peut permettre une couverture du sol toute l'année. Des légumineuses peuvent être bien adaptées grâce à leurs racines pivotantes qui permettent une meilleure infiltration de l'eau.

Les arbustes doivent plutôt être placés en amont par rapport à la piste pour jouer également un rôle de barrière physique aux écoulements.



Opportunités

- Permet à la fois de stabiliser le sol et de lui offrir une couverture ;
- Les arbustes peuvent également être des « cash crop » et/ou produire des fruits pour l'auto-consommation.

Menaces

- Choisir des espèces dont les feuilles ne sont pas glissantes, même humides ;
- Pas d'étude trouvée sur l'efficacité de cette technique.

Efficacité (pente forte)

Faible
Moyenne
Forte

Coût

Faible
Moyen
Important

VERTIGOLAB

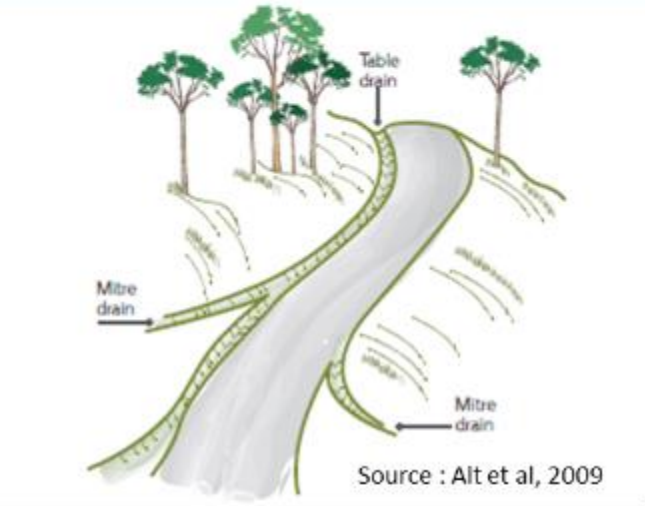
Fossés de bordure des pistes

Parcelles Pistes

Description

Les pistes principales peuvent être équipées de fossés récoltant l'eau de pluie. Ces fossés ont l'avantage d'en décharger les pistes et ainsi de préserver leur état.

En plus des fossés, la mise en place de traversées de pistes sous forme de grilles est à prévoir. Ces grilles permettent la traversée du flux d'eau de pluie et de récolter l'eau excédentaire ruisselant sur la piste.

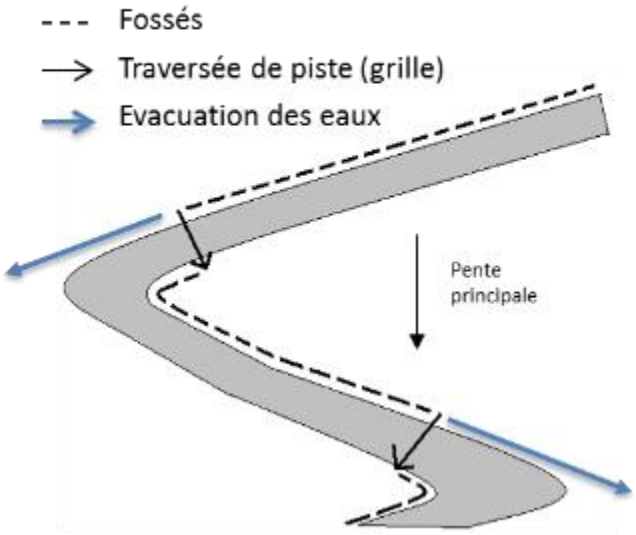


Source : Alt et al, 2009

Mise en œuvre

Les fossés doivent être placés en amont par rapport à la piste pour éviter que l'eau de pluie ne la traverse avant d'être canalisée, engendrant ainsi des formes d'érosion linéaire (rigoles, ravines). Les fossés peuvent être enherbés pour améliorer l'infiltration de l'eau.

L'entretien de ces fossés est indispensable, sans quoi leur création n'aura d'effet qu'à très court terme. Un curage est à prévoir une fois voire deux fois par an, avant et après la saison des pluies. Les caractéristiques des fossés doivent être déterminées en concertation avec l'entrepreneur des travaux pour permettre une efficacité optimale.



Opportunités

- Elimine le ruissellement sur les pistes, et réduit donc leur dégradation et les coûts d'entretien associés ;
- Favorise l'accès aux parcelles lors des fortes précipitations.

Menaces

- L'entretien des canaux est indispensable pour maintenir leur efficacité ;
- L'évacuation des eaux peut être difficile à organiser ;
- Les coûts d'installation et d'entretien sont importants.

Efficacité (pente forte)

- Faible
- Moyenne
- Forte

Coût

- Faible
- Moyen
- Important

VERTIGOLAB

Empierrement ou enherbement des pistes

● Parcelles ● Pistes

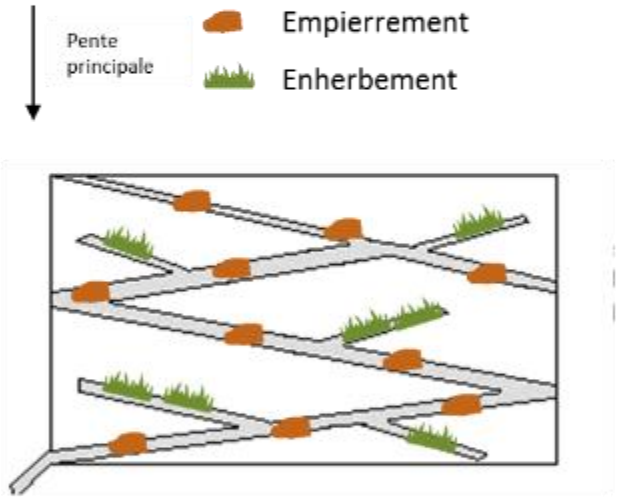
Description

L'empierrement des pistes les plus fréquentées peut être une solution simple pour limiter le ruissellement. Les pierres interceptent les gouttes d'eau et réduisent ainsi la battance des pistes, les rendant plus perméables. L'enherbement peut également être utilisé sur les pistes secondaires peu fréquentées (la végétation ne résiste pas au passage répété des véhicules).

Mise en œuvre

Le choix des pierres dépend de la disponibilité locale. L'empierrement avec de petits gravats non arrondis semble la solution la plus adaptée. Il procure une meilleure praticabilité des pistes par temps de pluie grâce au caractère anguleux des débris mais évite aussi la formation d'ornières sur la piste grâce au faible diamètre des gravats et à leur répartition sur l'ensemble de la piste. Cet aménagement nécessite peu d'entretien, si ce n'est parfois un nouvel apport de pierres.

Il faut éviter d'utiliser les pierres constituant le lit des rivières du bassin versant, car celles-ci permettent de lutter contre la turbidité des eaux lagonaires en aval en retenant des sédiments.



Opportunités

- Facile à mettre en œuvre et à entretenir ;
- Bon complément à une réorganisation de l'orientation des pistes.

Menaces

- Choisir des pierres offrant une bonne adhérence aux véhicules ;
- Les pistes enherbées doivent être peu utilisées pour ne pas devenir boueuses.

Efficacité (pente forte)

- ○ Faible
- ○ Moyenne
- ● Forte

Coût

- ○ Faible
- ● Moyen
- ○ Important

VERTIGOLAB

Bancs de diversion sur les pistes

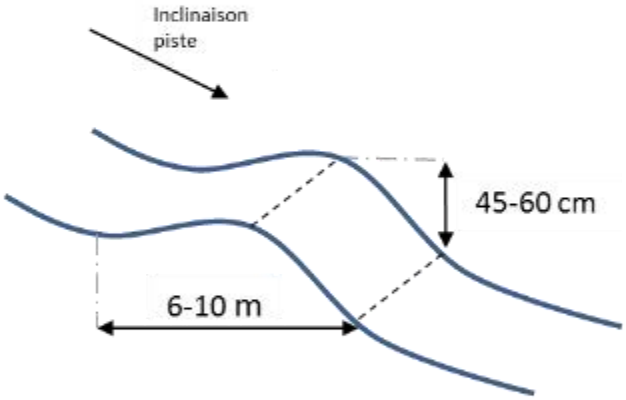
Parcelles ● Pistes

Description

Les bancs de diversion sont des bancs de terre perpendiculaires aux pistes qui interceptent l'eau ruisselante et la détournent sur le côté, idéalement sur des couverts végétaux qui pourront l'infiltrer. La vitesse des écoulements est ainsi largement réduite, et les rigoles d'érosion ne peuvent pas se former. La dimension des bancs de diversion doit être adaptée aux véhicules qui empruntent la piste concernée, mais en général des aménagements facilement praticables ne peuvent être réalisés que sur des pentes inférieures à 21 %.

Mise en œuvre

L'utilisation d'un bulldozer est recommandée pour ces aménagements : en creusant 20 à 30 cm, il est possible de former les « creux » et d'utiliser la terre prélevée pour former les bancs de diversion. La distance à respecter entre deux bancs pour lutter efficacement contre le ruissellement dépend de la pente et de la nature du sol. Pour une pente de plus de 20 %, il faut au moins un banc de diversion tous les 50 m environ.



Opportunités

- Efficace pour les pistes qui ne peuvent pas être réorientées en courbes de niveau ;
- Ne nécessite pas d'investissements coûteux.

Menaces

- La taille des bancs et leur espacement doit être adapté aux usages des pistes pour ne pas gêner le passage des machines agricoles ;
- L'évacuation des eaux doit être prévue.

Efficacité (pente forte)

- Faible
- Moyenne
- ● Forte

Coût

- Faible
- ● Moyen
- Important

VERTIGOLAB