ACCOMPAGNEMENT VERS DES PRATIQUES AGRICOLES DURABLES SUR LE DOMAINE D'OPUNOHU, POLYNESIE FRANÇAISE

Septembre 2016

Le projet INTEGRE à Opunohu

Financé par l'Union européenne sur l'enveloppe du 10e Fond Européen de Développement (FED) Régional PTOM Pacifique, mis en œuvre par la Communauté du Pacifique (CPS), et piloté par la Polynésie française (ordonnateur régional du 10e FED), il vise à promouvoir la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) et à renforcer la coopération régionale dans le domaine du développement durable.

En Polynésie française, le projet INTEGRE qui vise à soutenir le travail de la Direction de l'Environnement mais également celle de tous les services impliqués dans la gestion de l'environnement ainsi que celui de l'ensemble des acteurs de terrain. Il sera mis en œuvre sur 3 sites qui ont été choisis par le Pays, Raiatea-Tahaa et son lagon, la Presqu'île de Tahiti (Taiarapu) et la baie et vallée d'Opunohu à Moorea. Dans ces 3 sites, le projet aura pour but d'appuyer des actions de protection et de valorisation de l'environnement, de contribuer à la réduction des pollutions et de développer des démarches participatives de planification des espaces partagés, comme le lagon de Raiatea-Tahaa par exemple.

Dans ce contexte, l'objectif général de cette étude consiste à assister la mise en œuvre de pratiques antiérosives sur les parcelles de culture d'ananas à Opunohu. Les objectifs plus spécifiques de cette mission visent à identifier les pratiques les plus pertinentes et tester leur mise en œuvre par des agriculteurs pilotes d'abord, puis assurer l'appropriation de ces pratiques par l'ensemble des cultivateurs du Domaine.

Vertigo Lab
Thomas Binet
thomas.binet@vertigolab.eu

Version	Date d'envoi	Rédacteur Principal/Contributeur
Version 1	01/09/2016	Thomas Binet, Florent Giry, Vertigo Lab

Table des matières

Introduction 7
Les différents processus d'érosion observés sur le domaine d'Opunohu 7
L'érosion hydrique en nappe 7
L'érosion hydrique linéaire 8
L'érosion mécanique sèche 10
Les autres processus d'érosion 10
Revue bibliographique des techniques antiérosives en milieu tropical et dénivelé, pour les parcelles et les pistes 10
Les techniques antiérosives au niveau des parcelles 12
La culture en courbes de niveau 12
Le billonnage en courbe de niveau 13
Les bandes d'arrêt enherbées 13
Les haies vives 15
Les plantations de contour « cash crop » 15
La gestion des résidus de culture : brulis, enfouissement et paillage naturel 16
Le paillage artificiel 18
Les plantes de couverture 19
La culture en bandes de cycles différents 20
Le non labour et le travail réduit du sol 21
Les baissières 22
Les caniveaux de diversion des eaux pluviales 23
Les techniques antiérosives au niveau des pistes 23
L'orientation des pistes 23
Les bordures enherbées 24
Les bordures arbustives 25
Les fossés de bordure 25
L'empierrement et l'enherbement des pistes 26
La couverture artificielle des pistes 27
Bancs de diversion 27
Plan d'expérimentation des pratiques antiérosives sur une zone pilote 28
Suivre les opérations de travail du sol réalisées 30
Suivre l'utilisation de produits phytosanitaires et engrais 30
Suivre l'état général des parcelles 30
Suivre l'état général des pistes et les travaux d'entretien réalisés 31
Réorganiser le réseau des pistes d'exploitation 32

Planter les ananas en courbes de niveau 33
Aménager des bandes enherbées de vétiver 33
Mettre en place d'autres techniques antiérosives 34
Conclusion 35
Références 36
Annexe 1 : Estimation de la couverture du sol 37
Annexe 2 : fiche de suivi « travail du sol » 38
Annexe 3 : fiche de suivi « produits phytosanitaires et engrais » 40
Annexe 4 : fiche de suivi « état général de la parcelle » 42
Annexe 5 : fiche de suivi « pistes » 44
Annexe 6 : fiche de suivi « pratiques antiérosives » 46

Liste des tableaux

Tableau 1 : Techniques antiérosives sur les terrains agricoles et pistes en pente forte en milieu tropical 11
Tableau 2 : Efficacité de la culture en courbes de niveau pour réduire les pertes en terre par érosion hydrique en nappe 13
Tableau 3 : Estimation de la couverture minimale du sol nécessaire pour limiter les phénomènes érosifs 16
Tableau 4 : Ruissellement (R, en % des pluies) et érosion (E, en tonnes de terre perdues par hectare) sur sol nu, sous ananas en fonction de la pente (%) et des techniques d'utilisation des résidus de culture 17
Tableau 5 : Distance maximale entre deux bancs de diversion selon la pente et l'érodibilité du sol 28

Liste des figures

Figure 1 : Piste illustrant le phénomène d'érosion en nappe sur le domaine d'Opunohu 8
Figure 2 : Figures d'érosion linéaire sur sol nu (à gauche) et sous culture d'ananas (droite) sur le domaine d'Opunohu 8
Figure 3 : Piste sans caniveau devenue « couloir de ruissellement » 9
Figure 4 : Exemple de culture en courbes de niveau sur le domaine d'Opunohu 12
Figure 5 : Utilisation du vétiver pour former des bandes d'arrêt enherbées aux Iles Fidji 14
Figure 6 : Haie vive dispersée dans une parcelle sous ananas aux Iles Fidji 15
Figure 7 : Plantation récente d'ananas sur le domaine d'Opunohu et estimation visuelle du taux de couverture du sol 17
Figure 8 : Evolution du ruissellement en fonction des traitements sous une averse simulée de 62 mm/h pendant 2 heures, sous ananas 18
Figure 9 : Intensité du ruissellement en fonction de la durée des précipitations et des techniques culturales choisies sous ananas (pour une pluie simulée de 35 mm/h sur pente douce) 19
Figure 10 : Culture en bandes de cycles différents pratiquée aux Iles Fidji 21
Figure 11 : Impact du non-labour et du labour réduit sur les pertes de sol par érosion sur des parcelles sous ananas 22
Figure 12 : Baissière aménagée pour limiter le ruissellement et augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol 22
Figure 13 : Exemple d'aménagement de canal de diversion des eaux pluviales 23
Figure 14 : Piste en lacet pour limiter le ruissellement et l'érosion aux Iles Fidji 24
Figure 15 : Piste avec bordures végétales sur le domaine d'Opunohu 25
Figure 16 : Schéma d'aménagement possible des fossés de bordure le long des pistes principales 26
Figure 17 : Piste empierrée (à gauche) et non empierrée (à droite) sur le domaine d'Opunohu 27
Figure 18 : Grilles antiérosives en plastique pour pistes et routes proposées par GeoHex 27
Figure 19 : Piste aménagée avec des bancs de diversion 28
Figure 20 : Relevé topographique de la zone expérimentale en août 2016 avant mise en œuvre des pratiques antiérosives recommandées 29
Figure 21 : Proposition d'organisation des pistes (en bleu) pour mieux respecter les lignes de niveau 32
Figure 22 : Orientation des courbes de culture à mettre en œuvre (en violet) respectant les lignes de niveau 33
Figure 23 : Proposition d'emplacements pour les lignes de vétiver (en vert) pour couper le ruissellement et limiter l'érosion 34
Figure 24 : Diagrammes pour l'estimation visuelle du taux de couverture du sol développés par Terry et Chilingar (1955) 37

Introduction

La baie d'Opunohu est situé 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 capitalise 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 de forts symptômes d'érosion lié à la forte pluviométrie de la baie (3 500 mm/an) et à des pratiques agricoles endommageant les sols. Cette forte érosion est d'autant plus lourde de conséquences que les écosystèmes marins de la baie sont particulièrement sensibles aux dépôts de sédiments en résultant, et à l'augmentation de la turbidité des eaux lagonaires. 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 antiérosives semble indispensable dans le cadre d'une gestion intégrée des zones côtières.

Cette étude détaille les différents processus d'érosion effectivement observés sur le domaine d'Opunohu où sont cultivés les ananas. Elle propose également une revue de la littérature, notamment des résultats d'expériences agronomiques menées dans des contextes comparables (cultures d'ananas, climat tropical, terrains en pente), permettant d'offrir une base scientifique robuste au choix des mesures antiérosives prioritaires. Leur mise en œuvre sur des parcelles expérimentales du domaine permettra de confirmer leur efficacité et, le cas échéant, leur généralisation. L'aménagement durable des pistes d'accès aux parcelles est également inclus dans l'analyse.

Les différents processus d'érosion observés sur le domaine d'Opunohu

L'érosion des sols est un processus naturel par lequel les agents érodant, comme l'eau et le vent, entrainent une perte locale parfois importante des éléments constitutifs du sol. Ce phénomène peut être accentué par les activités humaines, notamment par certaines pratiques agricoles destructives, ou au contraire être limité par la pratique d'une agriculture de conservation. Il s'agit d'un facteur déterminant pour les rendements agricoles, voire pour la pérennité même de toute activité agricole sur une parcelle donnée (Pimentel et al., 1995; Roose, 1984).

Sur les terrains agricoles et les pistes qui permettent d'y accéder, différents types d'érosion peuvent se produire dont la diversité doit être prise en compte pour organiser une lutte antiérosive efficace.

L'érosion hydrique en nappe

Cette érosion provient de la dégradation des propriétés physiques de la surface du sol par la battance des pluies. L'énergie des gouttes de pluie arrache les particules du sol : c'est l'effet « splash » ; les mottes de terre se déstructurent, les pores se colmatent et empêchent l'infiltration de l'eau dans le sol en formant une « pellicule de battance ». Le ruissèlement en nappe apparait alors et déplace les particules du sol vers l'aval à faible vitesse.

L'érosion en nappe est diffuse et difficile à mettre en évidence sur les parcelles. Elle entraine un appauvrissement en particules fines et un décapage progressif des couches superficielles du sol, qui sont justement les plus fertiles, à hauteur de 0,1 à 2 mm/an. Les cailloux, graines, racines et résidus de culture affleurent alors et forment des microfalaises de 1 à 10 cm de haut selon la pente et l'importance de l'érosion (Roose, 1984). Un des symptômes est l'accumulation de terre fine en bas de pente (Fig. 1).

Figure 1 : Piste illustrant le phénomène d'érosion en nappe sur le domaine d'Opunohu

L'érosion hydrique linéaire

Si la vitesse de l'eau dépasse 25 cm/s, des rigoles de ruissellement peuvent apparaitre et provoquer de l'érosion linéaire (Gonnot et Binet, 2004). Ces rigoles peuvent évoluer en ravines de plusieurs dizaines de centimètres de profondeur qu'il devient difficile d'effacer. Elles canalisent les écoulements selon les lignes de plus fortes pentes. L'érosion linéaire est donc un indice que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses : non seulement des argiles et des limons comme l'érosion en nappe, plus sélective, mais aussi des graviers, des cailloux voire des blocs lorsqu'on en vient aux ravines.

L'érosion hydrique linéaire est d'autant plus importante sur les sols nus, quand aucune végétation ne ralentit la vitesse des écoulements. Toutefois, la présence de cultures ne réduit pas à zéro le risque d'érosion linéaire, même si elle est plus difficile à mettre en évidence (Fig. 2). Cette érosion peut alors considérablement réduire la surface de culture pour des parcelles de faible superficie, et entraîner une chute de fertilité, certes localisée, mais parfois irréversible, laissant à nu la roche mère.

Figure 2 : Figures d'érosion linéaire sur sol nu (à gauche) et sous culture d'ananas (droite) sur le domaine d'Opunohu

Les pistes (voies d'accès aux parcelles) sont particulièrement sensibles à l'érosion linéaire : le passage des véhicules tasse le sol, ce qui inhibe l'infiltration de l'eau lors des précipitations et les transforme en véritables « couloirs de ruissellement », surtout si elles sont inclinées dans le sens de la pente. Les pistes peuvent descendre jusqu'à un mètre en dessous du niveau des parcelles sous l'effet de l'érosion linéaire, alors qu'elles étaient au même niveau à la mise en culture (Fig. 3).

Figure 3 : Piste sans caniveau devenue « couloir de ruissellement »

Les facteurs qui influencent le ruissellement sont nombreux (Gonnot et Binet, 2004) :

- La hauteur des pluies qui joue sur l'engorgement du sol, et leur intensité sur 30 minutes sur la puissance des écoulements ;
- L'humidité du sol préalable à l'averse, qui modifie sa structure ;
- La surface du bassin versant qui détermine le volume ruisselé et donc la quantité de terre transportée ;
- L'état de la surface du sol, c'est-à-dire sa rugosité, l'organisation pelliculaire, la fissuration, les orifices d'origine biologiques, etc. ;
- L'inclinaison de la pente qui a un impact complexe sur la vitesse des écoulements : sur les sols nuls, le ruissellement est moindre sur des pentes fortes que sur des pentes faibles, mais il est supérieur sur des parcelles cultivées avec des ananas (Roose et Asseline, 1978). L'augmentation de la pente de 2,5 % à 30 % augmenterait l'érosion de 2 100 % (en kilogrammes de terre perdue/ha/récolte) pour les cultures d'ananas (Ingwersen, 2012) ;
- La position de la parcelle dans la topographie (une parcelle en bas de versant sera traversée par plus de fluides à plus forte vitesse) ; et
- Le couvert végétal, qui perméabilise le sol et absorbe une partie de l'énergie du ruissellement.

Wischmeier et Smith (1978) ont proposé une équation (USLE) de prévision des pertes potentielles en terre par érosion hydrique (en nappe et linéaire) à l'échelle d'une parcelle : A = R . K . S . L . C . P :

- A est la perte annuelle de sol (en tonnes/ha/an) ;

- R est l'érosivité des pluies qui correspond à l'énergie potentielle des gouttes d'eau ;
- K est l'érodibilité des sols qui dépend de leur texture, structure et composition ;
- S . L est le facteur topographique qui dépend de la longueur (L) et de l'inclinaison de la pente (S) ;
- C correspond au couvert végétal et aux pratiques culturales ;
- P recouvre les pratiques antiérosives mise en œuvre.

Les pertes potentielles en terre ont ainsi été évaluées à environ 400 tonnes/ha/an à Opunohu sur les parcelles défrichées (sol nu), et à 84 tonnes/ha/an sur sol planté en ananas en courbes de niveau sur pente de 10 % à 25 % (Gonnot and Binet, 2004). Ces estimations n'ont à ce jour pas pu être vérifiées par une expérimentation de terrain.

L'érosion mécanique sèche

Ce type d'érosion ne fait pas intervenir les fluides et dépend des outils utilisés pour le travail du sol qui, par gravité, décapent les horizons superficiels des hauts de pente et poussent ces masses de terre vers le bas de la parcelle où elles s'accumulent en talus ou colluvions concaves. L'intensité du déplacement de terre dépend du type d'outil utilisé, de la fréquence des passages, de l'orientation du travail et de la pente. Les pelles mécaniques, bulldozers et griffes de sous-solage utilisées sur le domaine d'Opunohu peuvent retirer de 5 à 10 cm de sol tous les 3 ans, lors du renouvellement des cultures (Gonnot and Binet, 2004).

Les autres processus d'érosion

L'érosion en masse, qui correspond à l'humectation excessive de couvertures pédologiques sur des versants en équilibre instable et à la lubrification d'un plan de glissement lors de séquences d'averses de fréquence rare, peut provoquer des écoulements de boue et des glissements de terrains. Ces phénomènes ne sont pas observés sur le domaine d'Opunohu.

L'érosion éolienne peut prendre deux formes : les nuages de poussières fines (dont le diamètre est inférieur à 0,1 mm) et les vents de sables qui transportent au ras du sol par rotation ou saltation des suspensions plus grossières (0,1 à 0,5 mm). Ce type d'érosion n'est significatif que dans les régions sèches, il est donc marginal sur le domaine d'Opunohu.

Revue bibliographique des techniques antiérosives en milieu tropical et dénivelé, pour les parcelles et les pistes

Le Tab. 1 dresse un panorama des principales techniques antiérosives testées en milieu tropical sur pente forte (supérieure à 20 %) à partir d'une revue de la littérature internationale approfondie. Chaque technique est détaillée par la suite avec une présentation des résultats d'expérimentations (quand elles existent) testant leur efficacité pour limiter le ruissellement et l'érosion. Il a ainsi été possible de classer ces techniques en fonction de leur efficacité : faible (« légèrement efficace »), moyenne (« relativement efficace ») ou forte (« efficace), dans le contexte particulier d'un milieu tropical fortement pentu, avec des parcelles sous ananas. Les coûts de mises en œuvre sont estimés de façon générique et ne correspondent pas à des valeurs monétaires précises. La mise en œuvre des techniques décrites sur le domaine d'Opunohu, même localement, est également signalée.

Tableau 1 : Techniques antiérosives sur les terrains agricoles et pistes en pente forte en milieu tropical

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Culture en courbe de niveau	Parcelle	Légèrement efficace	Faible	Oui, mais avec quelques défaillances	Oui
Billonnage en courbe de niveau	Parcelle	Légèrement efficace	Faible	Non	Oui
Bandes d'arrêt enherbées	Parcelle	Efficace	Faible	Non	Oui
Haies vives	Parcelle	Efficace	Moyen	Oui, de fait localement par la présence de massifs forestiers	Oui
Plantations de contour "cash crop"	Parcelle	Efficace	Rentabilisé en partie par les productions annexes	Non	Oui
Brulis des résidus	Parcelle	Relativement efficace	Faible	Oui	Oui
Enfouissement des résidus	Parcelle	Relativement efficace	Moyen	Non	Oui
Paillage naturel	Parcelle	Efficace	Moyen	Oui, localement	Oui
Paillage artificiel	Parcelle	Efficace	Important	Non	Oui
Plantes de couverture	Parcelle	Efficace*	Moyen	Non	Avec précaution
Culture en bandes de cycles différents	Parcelle	Relativement efficace	Moyen	Non	Oui
Non labour / Travail réduit	Parcelle	Relativement efficace*	Faible	Non	Oui
Baissières	Parcelle	Efficace*	Faible	Non	Oui
Caniveaux de diversion des eaux pluviales	Parcelle	Efficace	Important	Non	Oui
Orientation des pistes	Piste	Relativement efficace	Moyen	Oui, localement	/
Bordures enherbées	Piste	Efficace	Faible	Oui, localement	/
Bordures arbustives	Pistes	Efficace**	Moyen	Non	/
Fossés de bordure	Piste	Efficace	Important	Non	/
Empierrement / Enherbement	Piste	Efficace	Moyen	Oui, localement	/
Couverture artificielle	Piste	Efficace	Important	Non	/
Bancs de diversion	Piste	Efficace	Moyen	Non	/

* : extrapolation à partir d'études réalisées sur des pentes plus faibles

** : incertitude sur l'efficacité

Source : basé notamment sur des données issues de Alt et al. (2009) ; Bhuiyan, (2007) ; Gonnot et Binet (2004) ; Khamsouk et al. (2012) ; Nakalevu et al. (2000) ; Roose (1994) ; Roose et Asseline (1978) ; Sugahara et al. (2001) ; Wan and El-Swaify (1999)

Les techniques antiérosives au niveau des parcelles

La culture en courbes de niveau

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Culture en courbe de niveau	Parcelle	Légèrement efficace	Faible	Oui, mais avec quelques défaillances	Oui

Lorsque les parcelles sont en pente, un des moyens les plus faciles de limiter l'érosion hydrique en nappe est de planter les cultures perpendiculairement au sens de la pente, c'est à dire en courbes de niveau. Des piquets et ficelles sont suffisants pour tracer des lignes avant d'entamer la mise en terre des plants d'ananas dans leur sillage. En procédant ainsi, la rugosité du sol due aux mottes et aux creux est orientée de façon opposée au ruissellement, et en limite donc la vitesse.

Figure 4 : Exemple de culture en courbes de niveau sur le domaine d'Opunohu

Cette technique est globalement mise en œuvre sur le domaine d'Opunohu, même si elle n'est pas bien réalisée partout (Fig. 4). Selon la littérature sur le sujet, son efficacité diminue quand la pente augmente, et devient faible (de l'ordre de 10 % de pertes en terre évitées) pour des pentes de plus de 20 % comme celles du domaine (Tab. 2). Même avec cette faible efficacité, elle reste utile pour lutter à bas coût contre l'érosion.

Tableau 2 : Efficacité de la culture en courbes de niveau pour réduire les pertes en terre par érosion hydrique en nappe

Pente (en %)	*Réduction de l'érosion (en % des pertes en terre) due à la culture en courbe de niveau*	*Longueur maximale de la parcelle pour assurer cette réduction*
1 % à 2 %	40 %	122 m
3 % à 5 %	50 %	91 m
6 % à 8 %	50 %	61 m
9 % à 12 %	40 %	37 m
13 % à 16 %	30 %	24 m
17 % à 20 %	20 %	18 m
21 % à 25 %	10 %	15 m

Source : adapté de Wischmeier et Smith (1978)

Le billonnage en courbe de niveau

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Billonnage en courbe de niveau	Parcelle	Légèrement efficace	Faible	Non	Oui

L'orientation des billons perpendiculairement à la plus grande pente peut permettre de stocker dans les sillons une quantité importante d'eau et de matériaux sableux ou limoneux en suspension, limitant le lessivage. Cette technique serait deux fois plus efficace que le labour seul en courbe de niveau pour les pentes faibles. Toutefois, pour les pentes fortes, il existe un risque de rupture lors des pluies intenses qui peut entrainer d'importants ravinements et glissements de terrain. Si les sols sont très perméables jusqu'en profondeur, incliner légèrement le billonnage ou cloisonner les billons peut suffire à réduire ce risque (Roose, 1994).

Les bandes d'arrêt enherbées

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Bandes d'arrêt enherbées	Parcelle	Efficace	Faible	Non	Oui

Insérer des bandes d'arrêt enherbées entre les rangées d'ananas permet de n'avoir de sols totalement nus à aucun moment du cycle de culture, puisqu'ils sont 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. Les légumineuses sont particulièrement adaptées pour stimuler encore plus l'infiltration avec leurs racines pivotantes, tout comme les grandes graminées pérennes à enracinement profond. Les critères de choix des espèces les plus adaptées pour ces bandes d'arrêt sont les suivants :

- La plante ne doit pas être envahissante (pas de stolons ni rhizomes) ;

- Elle doit pouvoir former une couverture basse, dense et permanente ;
- Elle doit être pérenne et capable de maintenir sa densité pendant plusieurs années sans dépasser l'emplacement où elle a été plantée ;
- Elle doit pouvoir résister à la sécheresse et aux surplus d'eau ;
- Elle doit avoir un système racinaire profond pour favoriser l'infiltration de l'eau dans les horizons inférieurs du sol ;
- Elle doit être capable de se maintenir sur tout type de sol ;
- Elle ne doit pas entrer en compétition avec les cultures ;
- Elle ne doit pas être source de maladies ou héberger des indésirables ;
- Elle doit être peu chère et facile à planter et à entretenir ;
- Elle doit être facilement retirable quand elle n'est plus nécessaire.

Le vétiver apparait comme une plante très intéressante pour cet usage, puisqu'elle remplit toutes ces conditions (Aalbersberg, 2009). Elle est utilisée dans des plantations d'ananas aux conditions semblables à celles du domaine d'Opunohu, par exemple aux Iles Fidji (Fig. 5).

Figure 5 : Utilisation du vétiver pour former des bandes d'arrêt enherbées aux Iles Fidji

L'utilisation du vétiver a permis de réduire jusqu'à 95 % les pertes en terre sur le site expérimental de PacificLand aux Iles Fidji (Nakalevu et al., 2000). Le ruissellement est également réduit au tiers environ (Roose, 1994). Ces effets sont vérifiés, dans une moindre mesure, sur des pentes fortes avec une inclinaison de 45 %, avec d'autant plus d'efficacité que les bandes de vétiver sont proches les unes des autres. (Oku et Aiyelari, 2014). Même si ces expériences ne concernent pas des plantations d'ananas, le potentiel important du vétiver pour limiter l'érosion est largement démontré. Son recours peut ainsi augmenter les rendements, jusqu'à 55 % pour la canne à sucre par exemple (Truong et Gawander, 1996).

Cette technique a été observée lors de la visite d'échange aux Iles Fidji organisée du 27 juin au 2 juillet 2016 dans le cadre des projets INTEGRE et RESCCUE avec des agriculteurs du domaine d'Opunohu.

Les haies vives

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Haies vives	Parcelle	Efficace	Moyen	Oui, de fait localement par la présence de massifs forestiers	Oui

Cette technique repose sur le même principe que les bandes d'arrêt enherbées, mais utilise plutôt des arbustes et/ou petits arbres 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 (Sedan et al., 2013), 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, plus hautes, permettent aussi de lutter contre l'érosion éolienne dans les zones qui y sont soumises (Roose, 1994). La Fig. 6 montre l'application de cette technique de façon dispersée, les racines des arbres permettent de fixer le sol.

Figure 6 : Haie vive dispersée dans une parcelle sous ananas aux Iles Fidji

Cette technique a été observée lors de la visite d'échange aux Iles Fidji organisée du 27 juin au 2 juillet 2016 dans le cadre des projets INTEGRE et RESCCUE avec des agriculteurs du domaine d'Opunohu.

Les plantations de contour « cash crop »

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Plantations de contour "cash crop"	Parcelle	Efficace	Rentabilisé en partie par les productions annexes	Non	Oui

Il est possible de compléter les bandes d'arrêt enherbées ou les haies vives avec des plantations dites « cash crop », c'est-à-dire des plantes ayant un intérêt économique et apportant, en plus de leur action antiérosive, un complément de revenu aux agriculteurs. Le choix des espèces doit être adapté au contexte local : à Moorea les nonos, citrons verts ou citrons caviar peuvent être envisagés.

La gestion des résidus de culture : brulis, enfouissement et paillage naturel

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Brulis des résidus	Parcelle	Relativement efficace	Faible	Oui	Oui
Enfouissement des résidus	Parcelle	Relativement efficace	Moyen	Non	Oui
Paillage naturel	Parcelle	Efficace	Moyen	Oui, localement	Oui

Tant que la couverture végétale est continue, qu'il s'agisse de forêts, savanes, pâturages ou paillis, l'érosion reste modérée, malgré de fortes pluies et des pentes importantes. En revanche, lorsque le sol est totalement dénudé, par exemple après un défrichement mécanisé, les pertes en terres peuvent augmenter d'un facteur 1 000 et le ruissellement d'un facteur 50 (Roose, 1984). Ainsi, pour éviter de stimuler les phénomènes d'érosion, une couverture végétale minimale doit toujours être conservée. Son importance dépend de l'érodibilité du sol et de l'inclinaison de la pente. Le Tab. 3 montre que pour les pentes fortes du domaine d'Opunohu, une couverture totale du sol est nécessaire.

Tableau 3 : Estimation de la couverture minimale du sol nécessaire pour limiter les phénomènes érosifs

Erodibilité du sol	*Pas de pente*	*Pente douce*	*Pente moyenne*	*Pente forte*
Faible	60 %	80 %	90 %	100 %
Faible à moyenne	60 %	85 %	95 %	100 %
Moyenne à forte	65 %	90 %	100 %	100 %
Forte	70 %	90 %	100 %	100 %

Source : adapté de Alt et al. (2009)

La gestion des résidus de culture après récolte est, dans ce cadre, fondamentale pour limiter la mise à nu du sol avant la pousse de l'appareil végétatif de la culture suivante (pour les ananas, il faut 6 mois pour couvrir 80 % du sol). La Fig. 7 montre une plantation d'ananas récente et témoigne de la large proportion du sol laissée sans couverture dans les premiers stades de développement des plants. Le taux de couverture du sol peut être visuellement estimé entre 10 et 20 % en utilisant l'Annexe 1, dont un extrait est restitué à droite de la photographie.

Diagramme pour l'estimation visuelle du taux de couverture du sol :

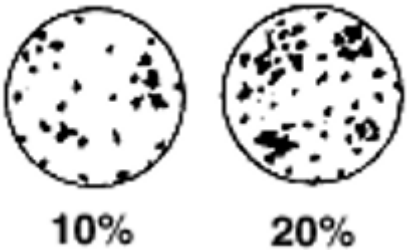


Figure 7 : Plantation récente d'ananas sur le domaine d'Opunohu et estimation visuelle du taux de couverture du sol

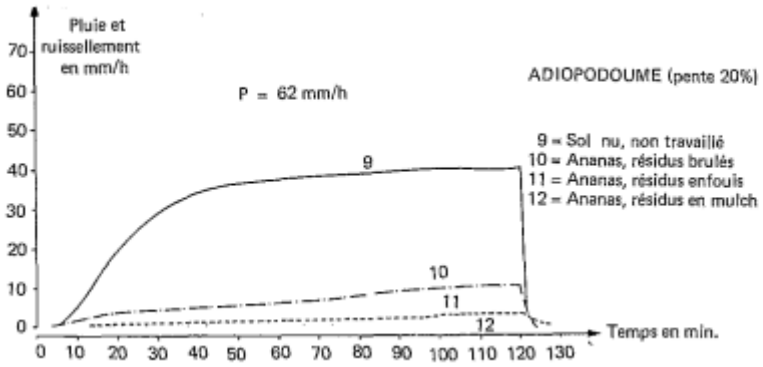
Trois types d'utilisation des résidus de culture sont communément différenciés : le brulis (mis en œuvre sur le domaine mais après regroupement des résidus), l'enfouissement et le paillage (« mulch », mis en œuvre par un agriculteur sur le domaine). Ces trois techniques sont efficaces pour limiter le ruissellement et l'érosion, en comparaison d'un sol laissé nu, à condition d'être mise en œuvre sur toute la parcelle (les résidus de culture brulés doivent par exemple couvrir toute la surface). Toutefois, leur efficacité est différente et dépend beaucoup de la valeur de la pente, comme indiqué dans le Tab. 4. Alors que le paillage de surface permet d'inhiber presque entièrement les phénomènes érosifs, quelle que soit la pente (99,8 % à 100 % de réduction de l'érosion par rapport au sol nu), l'enfouissement des résidus et surtout le brulis sont moins efficaces sur des pentes fortes comme celles du domaine d'Opunohu, avec respectivement 92 % et 83 % de réduction de l'érosion par rapport au sol nu.

Tableau 4 : Ruissellement (R, en % des pluies) et érosion (E, en tonnes de terre perdues par hectare) sur sol nu, sous ananas en fonction de la pente (%) et des techniques d'utilisation des résidus de culture

	Sol nu labouré		*Résidus brulés*		*Résidus enfouis*		*Résidus en surface « mulch »*	
Pente 4 %	R : 65 %	E : 45	R : 39 %	E : 1,2	R : 2,5 %	E : 0,7	R : 0,1 %	E : 0,1
Pente 7 %	R : 70 %	E : 136	R : 26 %	E : 4,1	R : 3,6 %	E : 0,8	R : 0 %	E : 0,0
Pente 20 %	R : 62 %	E : 410	R : 35 %	E : 69,0	R : 15 %	E : 33,2	R : 2,1 %	E : 1,0

Source : adapté de Roose (1984) ; Roose et Asseline (1978)

L'avantage du paillage « mulch » est aussi sa capacité à limiter le ruissellement lors d'épisodes pluvieux prolongés sur des cultures d'ananas, comme montré dans la Fig. 8. Le paillage est donc la seule technique vraiment efficace pour limiter l'impact de la pente sur l'augmentation de la turbidité des eaux de ruissellement (Roose, 1984).



	Coef.ruiss. %	Ruiss.max mm/h	Infiltration mm
9	51	39,5	61
10	9,6	9,9	112
11	2,2	3	121
12	0	0	124

Source : Roose (1984)

Figure 8 : Evolution du ruissellement en fonction des traitements sous une averse simulée de 62 mm/h pendant 2 heures, sous ananas

Le paillage artificiel

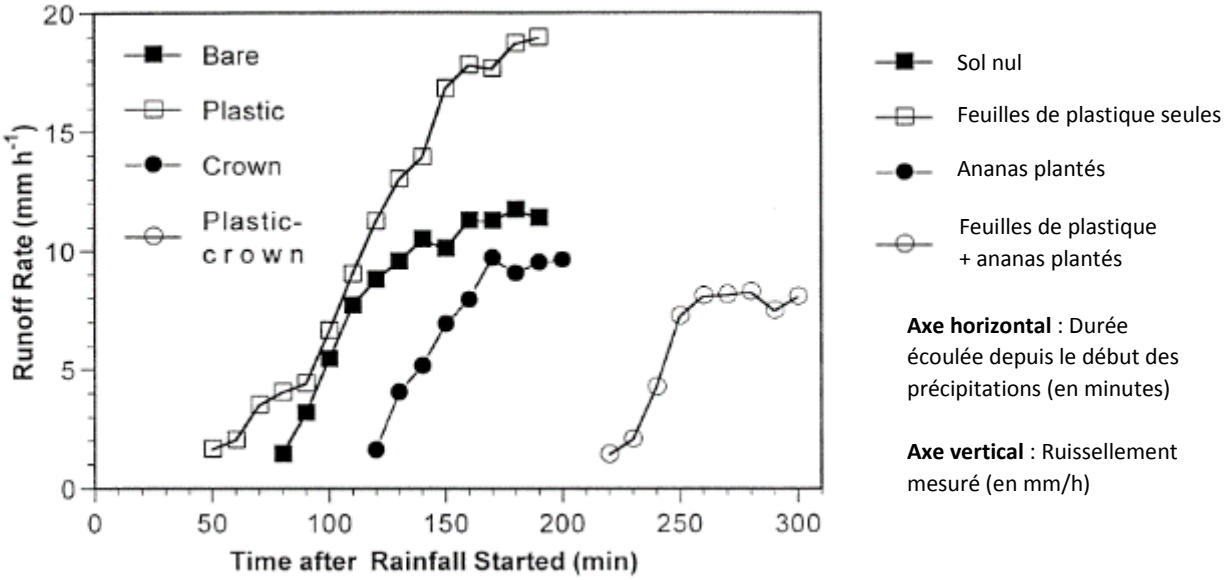
Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Paillage artificiel	Parcelle	Efficace	Important	Non	Oui

Lorsque le paillage naturel n'est pas possible, par exemple si les contraintes techniques (risques phytosanitaires, risques de prolifération de maladies, d'insectes ou d'adventices) ou économiques (collecte du paillage difficile) sont importantes, un paillage artificiel peut être utilisé pour couvrir le sol sans altérer le développement des cultures (Rebolledo-Martinez et al., 2005).

Le paillage artificiel peut prendre différentes formes, mais il est en général coûteux :

- Des feuilles de plastique posées sur le sol avant de planter, transpercées au niveau des couronnes d'ananas ;
- Des produits à pulvériser après plantation qui forment une croute souple sur le sol après séchage, comme par exemple l'acétate de polyvinyl (Curasol).

Ces deux types de paillage artificiel n'ont pas les mêmes effets sur le ruissellement et l'érosion. Les feuilles de plastiques seules augmentent le ruissellement par rapport à un sol nu, mais en combinaison avec des plants d'ananas, le ruissellement est significativement réduit et n'apparait qu'après plusieurs heures de précipitations, comme le montre la Fig. 9. Les pertes en terre sont également réduites de 35 % à 50 % par la combinaison plastique-ananas par rapport au sol nu (Wan et El-Swaify, 1999). Ces résultats ont toutefois été obtenus à Hawaï sur des pentes faibles.



Source : Wan et El-Swaify (1999)

Figure 9 : Intensité du ruissellement en fonction de la durée des précipitations et des techniques culturales choisies sous ananas (pour une pluie simulée de 35 mm/h sur pente douce)

Le Curasol a, lui, démontré ses capacités de réduire grandement les pertes en terre sur pente forte (réduction de 40 % à 75 %) et le ruissellement dans une moindre mesure (réduction de 10 % à 60 %), mais son action protectrice diminue après plusieurs mois de pluie violente. La protection n'étant pas uniforme et continue, les eaux ruisselantes peuvent s'engouffrer au niveau des zones de fragilité et endommager le plastique, et donc son pouvoir antiérosif. Le Curasol nécessite également de grandes quantités d'eau pour son épandage (il doit être dilué), empêche tout travail du sol et ne résiste pas au passage des machines agricoles (Roose, 1994).

Les plantes de couverture

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Plantes de couverture	Parcelle	Efficace*	Moyen	Non	Avec précaution

* : extrapolation à partir d'études réalisées sur des pentes plus faibles

Une difficulté du paillage naturel peut être de produire et transporter la biomasse nécessaire à la constitution du « mulch » sur la parcelle. Le recours à des plantes de couverture permet de s'affranchir de ces opérations en faisant pousser un couvert végétal directement sur la parcelle. En choisissant des légumineuses par exemple, il est possible d'atteindre une couverture du sol proche de 100 %, tout en enrichissant la terre par l'action « piège à azote » des racines de légumineuses. En principe, la culture principale se développe et exploite les couches superficielles du sol, ralentissant ainsi la croissance de la légumineuse qui envoie ses racines en profondeur pour compenser. Après la récolte, la plante de couverture se développe en assurant une bonne couverture du sol, et donc une protection contre l'érosion (Roose, 1994).

Concrètement, les plantes de couverture sont plus adaptées aux cultures arborées avec lesquelles les légumineuses ne risquent pas d'entrer en concurrence. Pour les ananas, qui sont des cultures basses, la technique des plantes de couverture est plus difficile à mettre en œuvre, il faut veiller à ce qu'elles ne gênent pas la croissance normale des plants. Toutefois, le recours à certaines plantes de couverture (par exemple *Crotalaria juncea)* entre les cycles peut avoir un action positive contre les nématodes qui infectent souvent les cultures d'ananas (Wang et al., 2002).

Les plantes de couverture lors du renouvellement des plantations et aussi dans l'inter-rang sont actuellement étudiées au lycée agricole, dans le cadre du développement et de l'expérimentation de la production d'ananas en agriculture biologique. Les résultats des expérimentations devraient être disponibles dans les mois à venir.

La culture en bandes de cycles différents

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Culture en bandes de cycles différents	Parcelle	Relativement efficace	Moyen	Non	Oui

Cette technique consiste à planter de manière alternée des rangées de cycles différents. Le renouvellement se fera donc alternativement sur chaque groupe de rangées, ce qui aurait pour avantage d'éviter la mise à nu complète du terrain et limiter la forte érosion durant cette période (Fig. 10). Cependant cette pratique peut poser des problèmes logistiques : dans le cas du recours à un bulldozer pour le renouvellement des parcelles, ce dernier peut manquer d'espace pour manœuvrer entre les rangées (il ne peut pas passer sur des bandes alternées comme un tracteur le ferait). Cette pratique est d'avantage compatible avec l'utilisation d'un tracteur chenille et broyeur des résidus de culture (Gonnot et Binet, 2004). Pour les tracteurs également, le passage d'un rang sur deux en devers sur de fortes pentes n'est pas possible : ils ne peuvent travailler que dans le sens de la pente pour ne pas se renverser.

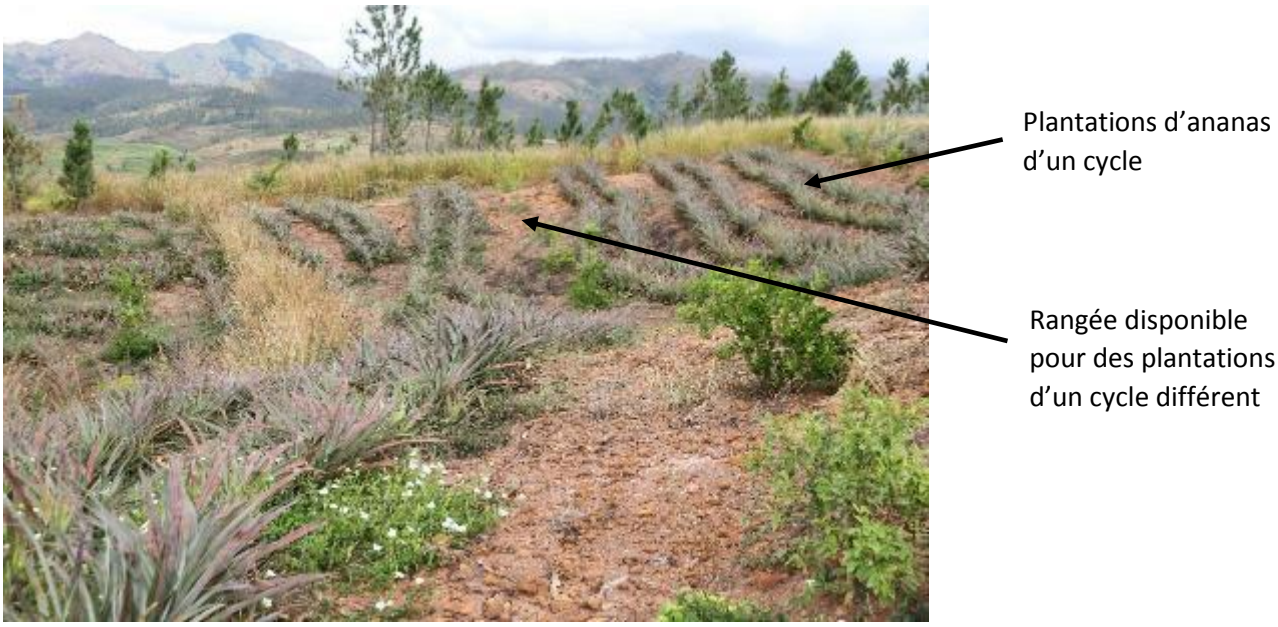


Figure 10 : Culture en bandes de cycles différents pratiquée aux Iles Fidji

Cette technique a été observée lors de la visite d'échange aux Iles Fidji organisée du 27 juin au 2 juillet 2016 dans le cadre des projets INTEGRE et RESCCUE avec des agriculteurs du domaine d'Opunohu.

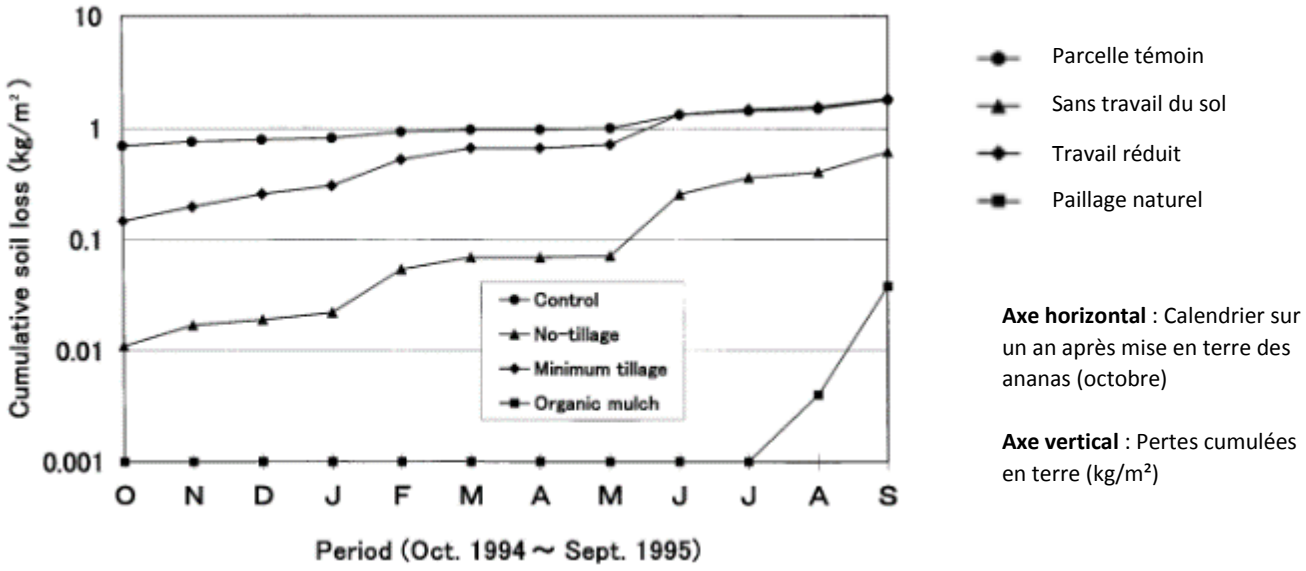
Le non labour et le travail réduit du sol

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Non labour / Travail réduit	Parcelle	Relativement efficace*	Faible	Non	Oui

* : extrapolation à partir d'études réalisées sur des pentes plus faibles

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 des 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.

Sugahara et al. (2001) ont démontré les capacités antiérosives du non travail du sol pour des cultures d'ananas en pente faible à moyenne (réduction d'un facteur 14 des pertes de terre). Toutefois, son efficacité est inférieure à la technique du paillage naturel (Fig. 11), et peut conduire à réduire très légèrement la taille des fruits (mais l'effet n'est pas statistiquement significatif). Comme pour le paillage naturel, le non labour peut augmenter la présence de rongeurs, escargots, etc. sur les parcelles qui nécessite une attention particulière.



Source : Sugahara et al. (2001)

Figure 11 : Impact du non-labour et du labour réduit sur les pertes de sol par érosion sur des parcelles sous ananas

Les baissières

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Baissières	Parcelle	Efficace*	Faible	Non	Oui

** : extrapolation à partir d'études réalisées sur des pentes plus faibles

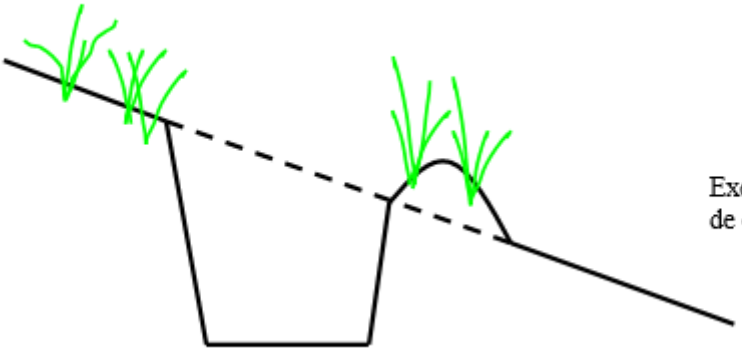
Une baissière, ou noue (« *swale* » en anglais), correspond à un terrassement formant une rigole flanquée d'un talus et éventuellement d'arbustes, le long d'une courbe de niveau (Fig. 12). Paillée et enherbée, elle permet de limiter grandement le ruissellement et d'augmenter l'infiltration de l'eau dans 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.

Figure 12 : Baissière aménagée pour limiter le ruissellement et augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol

Les caniveaux de diversion des eaux pluviales

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Caniveaux de diversion des eaux pluviales	Parcelle	Efficace	Important	Non	Oui

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 canaux (Fig. 13) peut être nécessaire pour prévenir les parcelles du ruissellement. Ces canaux diminuent ainsi la quantité d'eau entrant sur la parcelle et réduit ainsi les risques d'érosion liés au ruissellement. Les pistes, elles aussi, seront moins touchées par ce ruissellement et seront ainsi mieux préservées.



Exemple d'un aménagement de canal de diversion

Figure 13 : Exemple d'aménagement de canal de diversion des eaux pluviales

La création de tels aménagements est onéreuse et nécessite un entretien important.

Les techniques antiérosives au niveau des pistes

L'orientation des pistes

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Orientation des pistes	Piste	Relativement efficace	Moyen	Oui, localement	/

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 (impossible avec le passage régulier des véhicules). L'inclinaison de la piste a des conséquences importantes sur les trois composantes de l'érosion des pistes : la hauteur de la piste, les traces d'érosion linéaires (rigoles, ravines) et les plants d'ananas tombés sur la piste (témoins de l'élargissement de la piste par ruissellement). Les pistes ne

devraient ainsi jamais dépasser les 18 % à 20 % de pente, dans le cas contraire des aménagements supplémentaires sont indispensables (Alt et al., 2009).

Le meilleur moyen de diminuer l'inclinaison de la piste est de placer celle-ci en travers de la pente principale (Fig. 14). 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 de ruissellement et donc la quantité de particules transportées (Gonnot and Binet, 2004). Cette technique est souvent un préalable à l'efficacité des techniques décrites dans les paragraphes suivants, qui nécessitent des inclinaisons plus modérées pour fonctionner de façon optimale.

Figure 14 : Piste en lacet pour limiter le ruissellement et l'érosion aux Iles Fidji

Cette technique a été observée lors de la visite d'échange aux Iles Fidji organisée du 27 juin au 2 juillet 2016 dans le cadre des projets INTEGRE et RESCCUE avec des agriculteurs du domaine d'Opunohu.

Les bordures enherbées

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Bordures végétales	Piste	Efficace	Faible	Oui, localement	/

Le maintien d'une couverture végétale le long des pistes permet d'infiltrer l'eau et de prévenir une partie du ruissellement, de la même façon que les bandes enherbées pour les parcelles (Fig. 15). L'utilisation du vétiver est recommandée pour les mêmes raisons (non envahissante, non hôte d'espèces nuisibles, pérenne, etc.), ses racines profondes permettant également de stabiliser la voie et d'empêcher son élargissement par effondrement des bords.

Figure 15 : Piste avec bordures végétales sur le domaine d'Opunohu

Les bordures arbustives

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Bordures arbustives	Piste	Efficace**	Moyen	Non	/

** : incertitude sur l'efficacité

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. Le recours à des légumineuses apparait particulièrement adapté grâce à leurs racines pivotantes qui permettent une bonne infiltration de l'eau (par exemple le pois doux, Tephrosia, etc.) (Lisan, 2014).

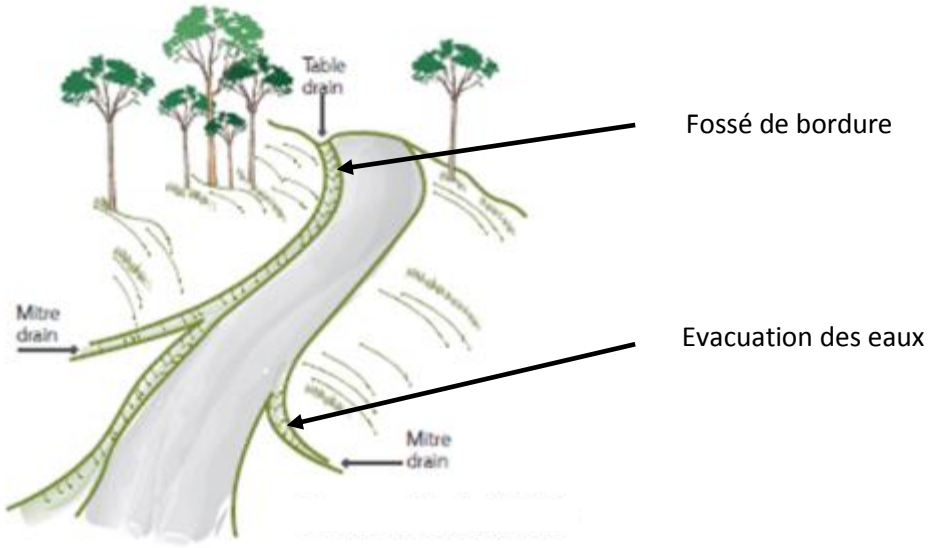
Les fossés de bordure

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Fossés de bordure	Piste	Efficace	Important	Non	/

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 (Fig. 16). Ils devront être placés en amont par rapport à la piste pour éviter que l'eau de pluie ne la traverse avant de gagner le fossé, engendrant ainsi des formes d'érosion linéaire (rigoles, ravines).

L'entretien de ces fossés est indispensable et peut être coûteux, sans quoi leur création n'aura d'effet qu'à très court terme. Un curage est à prévoir une à deux fois par an, avant et après la saison des pluies.

En plus des fossés, la mise en place de traversées de pistes sous forme de grilles est très utile. 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)

Figure 16 : Schéma d'aménagement possible des fossés de bordure le long des pistes principales

L'empierrement et l'enherbement des pistes

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Empierrement / Enherbement	Piste	Efficace	Moyen	Oui, localement	/

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. Gonnot et Binet (2004) recommandent l'utilisation de tout venant 0/30 anguleux, après nivellement de l'emprise des pistes à 4,5 mètres sur ligne droite et 5 mètres en virage. Selon la disponibilité des pierres et la surface des pistes à couvrir, le coût peut être relativement élevé. Les pistes empierrées doivent être entretenues notamment par l'ajout de pierres supplémentaires quand elles ne couvrent plus toute la surface de la voie (Fig. 17).

L'enherbement peut également être utilisé sur les pistes secondaires peu fréquentées (la végétation ne résiste pas au passage répété des véhicules).

Figure 17 : Piste empierrée (à gauche) et non empierrée (à droite) sur le domaine d'Opunohu

La couverture artificielle des pistes

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Couverture artificielle des pistes	Piste	Efficace	Important	Non	/

Des grilles artificielles en plastique couvrant les pistes peuvent être utilisées pour limiter l'érosion dans les zones particulièrement à risque (elles peuvent également être enterrées à faible profondeur). Elles permettent d'augmenter grandement la perméabilité des sols en les protégeant du tassement provoqué par le passage des machines agricoles. Ces dispositifs sont notamment produits par l'entreprise australienne GeoHex (Fig. 18).

Figure 18 : Grilles antiérosives en plastique pour pistes et routes proposées par GeoHex

Bancs de diversion

Technique	Piste ou parcelle ?	Efficacité pour limiter l'érosion sur des pentes > 20 %	Coût de mise en œuvre	Mise en œuvre à Opunohu	Compatible avec ananas
Bancs de diversion	Piste	Efficace (si bonne orientation des pistes)	Moyen	Non	/

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 % (Fig. 19, Tab. 5). Cet aménagement peut être réalisé sur des pistes pour lesquelles la réorientation en travers de la pente n'est pas possible (Alt et al., 2009).

Figure 19 : Piste aménagée avec des bancs de diversion

Tableau 5 : 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)

Plan d'expérimentation des pratiques antiérosives sur une zone pilote

La mise en place des pratiques antiérosives sur des parcelles pilotes doit permettre de confirmer leur faisabilité technico-économique et de mesurer leur efficacité dans le contexte précis du domaine d'Opunohu. Un relevé topographique de la zone expérimentale est donné en Fig. 20.

Remarque : le livret joint en fin de document (après les annexes) détaille les principales techniques antiérosives possibles à mettre en œuvre sur le domaine sous la forme de fiches techniques.

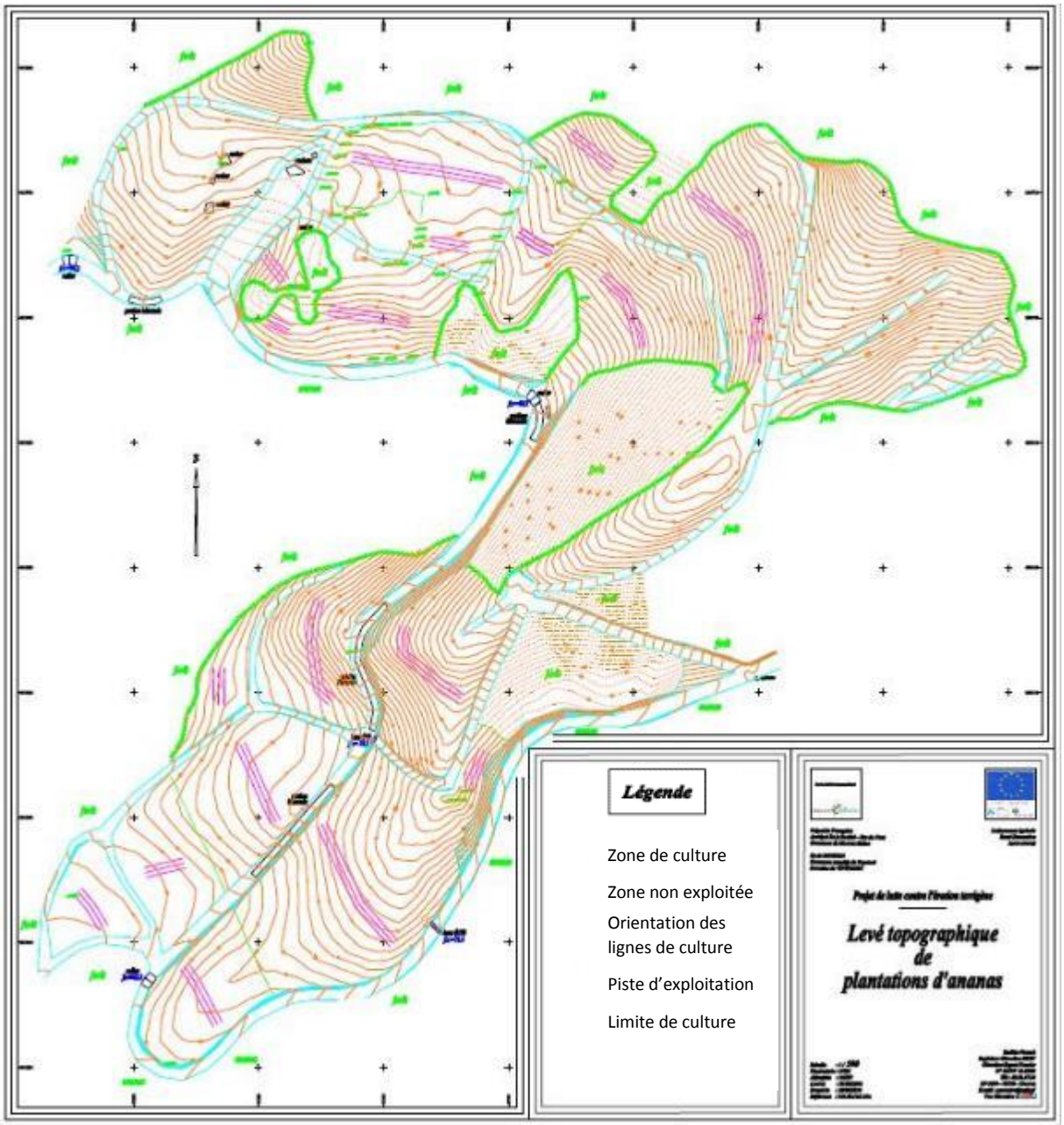


Figure 20 : Relevé topographique de la zone expérimentale en août 2016 avant mise en œuvre des pratiques antiérosives recommandées

Plusieurs observations sont possibles à partir de ce relevé :

- La plantation des ananas en courbe de niveau n'est pas respectée partout (les lignes de culture roses ne sont pas parallèles aux lignes de niveau orange) ;
- Les pistes sont souvent orientées directement dans le sens de pente (les lignes bleues croisent les lignes de niveau orange) ;
- Des massifs forestiers sont présents sur certaines des zones les plus pentues, ce qui est très positif pour protéger les sols fortement vulnérables dans ces configurations.

Pour chaque parcelle de la zone d'étude, le niveau d'ambition pour l'expérimentation devra être choisi en concertation avec les agriculteurs. Le choix d'un programme de mesures parmi les trois présentés dans la partie précédente peut structurer le déploiement de pratiques vertueuses sur les différentes

parcelles. Le suivi des opérations mises en œuvre et de l'état général des parcelles et des pistes est indispensable pour capitaliser sur l'expérimentation. Pour l'observation de l'état général des parcelles et des pistes, il convient de choisir des points de repère pour comparer l'évolution d'une même portion de parcelle ou de piste, et ainsi pouvoir mesurer les conséquences des mesures prises toutes choses égales par ailleurs.

Suivre les opérations de travail du sol réalisées

Il est indispensable de référencer les pratiques culturales utilisées pour pouvoir évaluer leur capacité à réduire l'érosion. L'Annexe 2 fournit une fiche de suivi pour recenser les travaux effectués sur les parcelles :

- Date : date de mise en conduite de l'opération ;
- Opération : nom de l'opération conduite *(ex : labour de 10 cm de profondeur)* ;
- Détails : tout détails complémentaires pour préciser en quoi consiste l'opération ;
- Surface : surface de parcelle concernée par l'opération (en hectares) ;
- Machines et outils : machines et outils utilisés pour conduire l'opération ;
- Temps nécessaire : temps nécessaire pour l'opération (en jours-homme) ;
- Dépenses associées : dépenses autres que le coût du travail *(ex : carburant nécessaire)* ;
- Commentaires : tout détail complémentaire pouvant être utile.

Suivre l'utilisation de produits phytosanitaires et engrais

De la même façon, les produits sanitaires utilisés doivent être suivis. Ils permettront notamment d'évaluer le degré de développement des adventices et les moyens nécessaires pour lutter contre. Les engrais utilisés doivent également être consignés pour ne pas fausser les résultats en termes de rendements agronomiques induits par les pratiques expérimentées (Annexe 3) :

- Date : date d'application du produit ;
- Produit utilisé : nom du produit utilisé ;
- Type de produit : dire s'il s'agit d'un herbicides, insecticide, engrais azoté, etc. ;
- Quantité : quantité de produit utilisée ;
- Surface traitée : surface effectivement traitée (en hectares ou en nombre de plants) ;
- Temps nécessaire : temps nécessaire pour l'application du produit (en jours-homme) ;
- Dépenses associées : dépenses autres que le coût du travail *(ex : coût des produits)* ;
- Commentaires : tout détail complémentaire pouvant être utile.

Suivre l'état général des parcelles

L'état général des parcelles doit être relevé régulièrement, il donne une indication utile sur l'efficacité des pratiques mises en œuvre et leurs éventuels effets secondaires. La présence et l'abondance d'adventices, de ravageurs, de maladies, de marques d'érosion (notamment après de fortes précipitations), etc. sont à suivre avec attention (Annexe 4). Le taux de couverture du sol peut être estimé à partir de l'Annexe 1 et constitue une information clé dans la lutte contre l'érosion :

- Date : date d'observation de l'état de la parcelle ;
- Etat général des plants : état des plants d'ananas par rapport à leur état habituel au même moment du cycle *(ex : feuilles moins développées)* ;
- Couverture du sol : estimation du taux de couverture du sol avec l'Annexe 1 ;
- Adventices : présence et abondance d'adventices (si possible donner les espèces) ;
- Ravageurs : présence et abondance de ravageurs ou de symptômes associés (si possible identifier les espèces) ;
- Maladies : présence de symptômes caractéristiques de maladies (si possible identifier la maladie, le parasite, etc.) ;
- Marques d'érosion / de ruissellement : présence de marques caractéristiques de phénomènes érosifs ou de ruissellement *(ex : rigoles de ruissellement de 5 cm de profondeur)* ;
- Commentaires : tout détail complémentaire pouvant être utile.

Suivre l'état général des pistes et les travaux d'entretien réalisés

L'état et les travaux d'entretien réalisés sur les pistes d'exploitation doivent également être relevés régulièrement, puisque les pistes sont des voies privilégiées pour le ruissellement, et l'érosion associée (Annexe 5) :

- Date : date d'observation de l'état des pistes ou des travaux d'entretien réalisé ;
- Etat général des pistes : niveau de conservation de la piste par rapport à son aménagement *(ex : bon)* ;
- Couverture du sol : estimation du taux de couverture du sol avec l'Annexe 1 (mesure la qualité de l'empierrement ou de l'enherbement le cas échéant) ;
- Maques de ruissellement : présence de marques caractéristiques de phénomènes de ruissellement *(ex : rigoles de ruissellement de 5 cm de profondeur)* ;
- Plants basculés : présence de plants d'ananas basculés sur la piste, signe d'un élargissement des pistes par érosion ;
- Affaissement du niveau : différence de niveau entre la piste et les parcelles adjacentes ;
- Etat des aménagements antiérosifs : si des aménagements ont été mis en place (canaux, bordures végétales, etc.), leur état doit être relevé ;
- Travaux d'entretien réalisés : le cas échéant, indiquer les travaux réalisés à la date d'observation ;
- Commentaires : tout détail complémentaire pouvant être utile.

Réorganiser le réseau des pistes d'exploitation

Les pistes doivent suivre le mieux possible des courbes de niveau pour limiter leur transformation en « couloir de ruissellement ». Plus la pente est importante, plus les pistes doivent être dessinées en lacet. La Fig. 21 propose un plan d'aménagement possible. La piste principale, partiellement bétonisée, ne peut pas être modifiée facilement et n'as pas été redessinée. De même, les massifs forestiers sont laissés intacts.

Figure 21 : Proposition d'organisation des pistes (en bleu) pour mieux respecter les lignes de niveau

Planter les ananas en courbes de niveau

La plantation des ananas doit respecter les courbes de niveau sur toute la zone expérimentale. Les lignes violettes sur la Fig. 22 montrent les corrections à apporter par rapport à la situation actuelle. Quatre zones en particulier nécessitent une vigilance particulière au regard des pratiques actuelles.

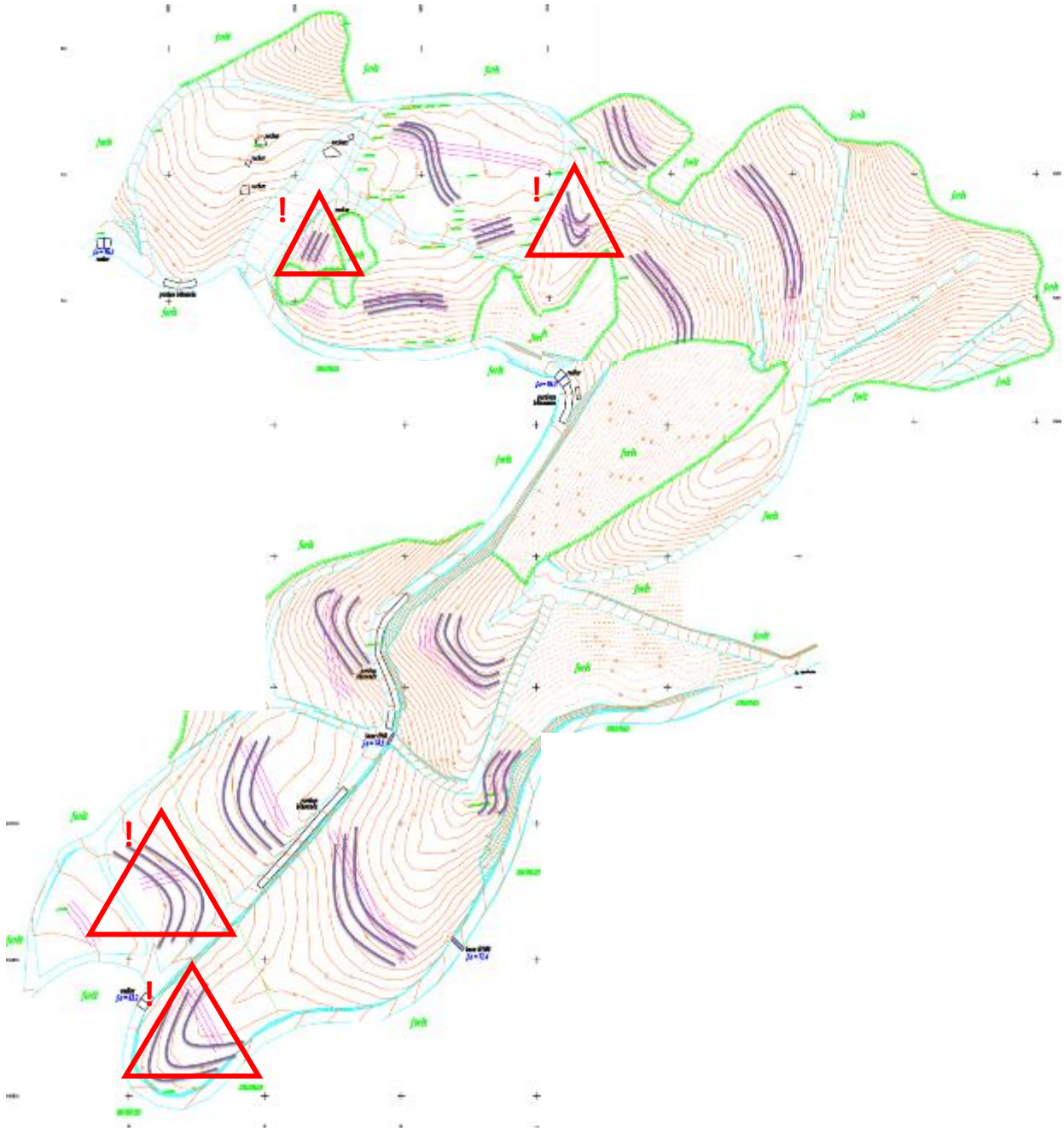


Figure 22 : Orientation des courbes de culture à mettre en œuvre (en violet) respectant les lignes de niveau

Aménager des bandes enherbées de vétiver

Dans les zones de plus forte pente, des bandes enherbées de vétiver peuvent permettre de limiter le ruissellement et l'érosion, tant pour les parcelles que pour les pistes. La Fig. 23 propose des emplacements à minima pour placer des lignes de vétiver sur les parcelles. Pour les pistes, l'observation des marques de ruissellement peut permettre de choisir les endroits où installer des plants de vétiver.

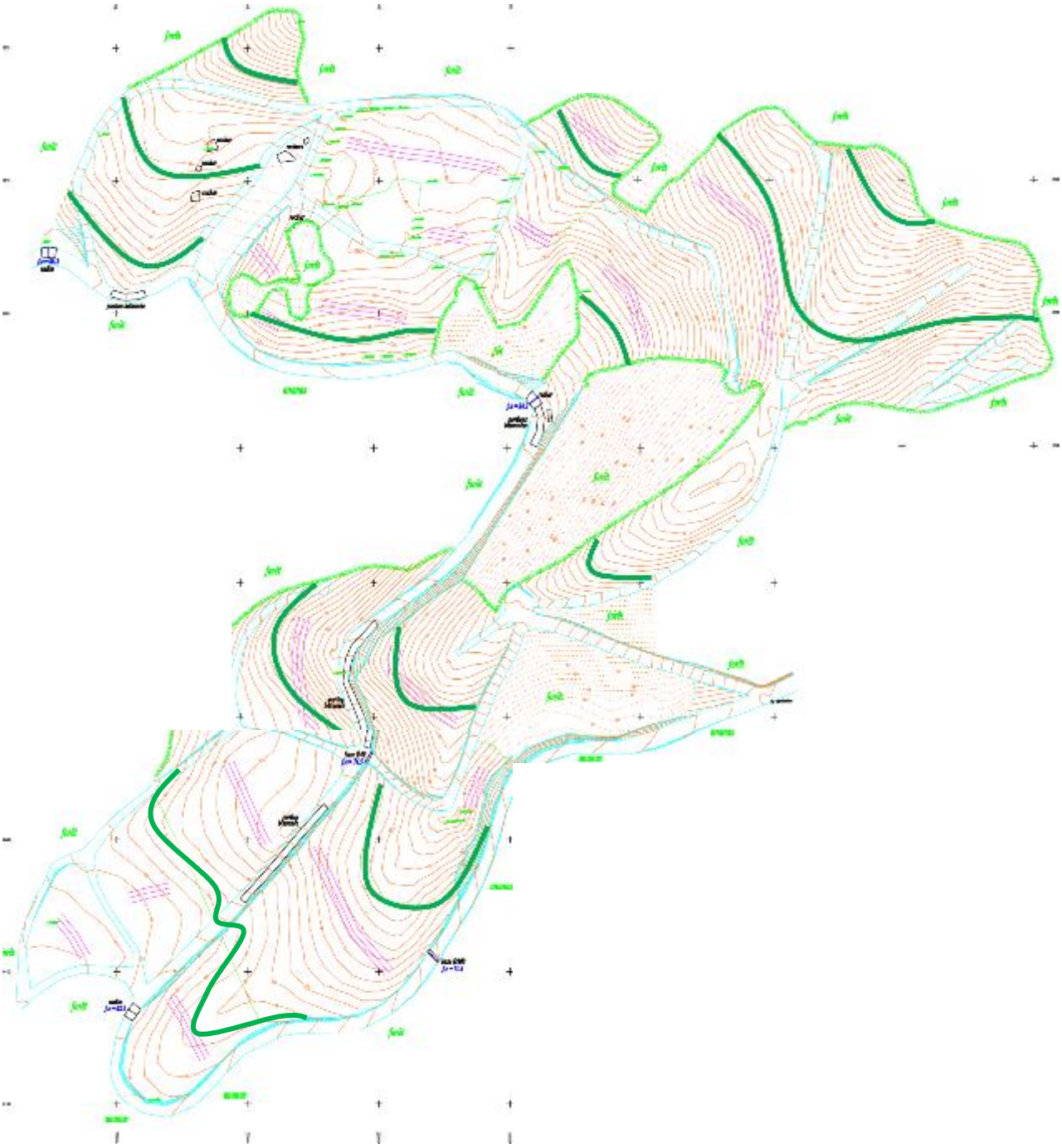


Figure 23 : Proposition d'emplacements pour les lignes de vétiver (en vert) pour couper le ruissellement et limiter l'érosion

Mettre en place d'autres techniques antiérosives

D'autres techniques peuvent être mises en place. Le suivi de l'ensemble des techniques mises en place sur chaque parcelle et piste de la zone expérimentale peut être réalisé grâce à l'Annexe 6 :

- Date : date de mise en œuvre de la pratique (début et/ou durée) ;
- Pratique : nom de la pratique utilisée ;
- Détails : description des opérations conduites (le plus détaillé possible).

Conclusion

Une revue approfondie de la littérature permet de mettre en évidence la myriade de pratiques antiérosives existantes, même si leur efficacité dans des contextes comparables au domaine d'Opunohu n'est pas toujours expérimentée. Il ressort de ce panorama qu'il n'est pas possible d'annuler totalement le ruissellement et l'érosion sur les parcelles fortement inclinées (plus de 20 % de pente), même si une réduction très significative peut être atteinte par la mise en œuvre combinée de pratiques comme le paillage naturel, la culture en courbes de niveau, l'aménagement de canaux, la réorganisation des pistes, etc.

La cohérence dans l'application de ces mesures à une échelle supra-parcellaire, idéalement à l'échelle du bassin versant, est la clé pour une gestion efficace des phénomènes érosifs sur le domaine et des impacts agronomiques et environnementaux associés (perte de rendements à long terme, augmentation de la turbidité des eaux, dégradation des récifs coralliens, etc.)[1]. Tout plan de gestion intégrée des zones côtières de la baie d'Opunohu devra prendre en compte cette problématique essentielle.

L'expérimentation de ces pratiques sur des parcelles expérimentales et le suivi des résultats permettra de recommander la généralisation des techniques antiérosives les plus efficaces, en fonction de leur faisabilité technico-économique. Toutefois, les effets à long terme de la réduction de l'érosion (maintien du potentiel productif des sols, de la qualité des écosystèmes récifaux et des services écosystémiques associés) ne pourront certainement pas être quantifiés dans le cadre de cette expérimentation, et constituent un argument supplémentaire en faveur de la diffusion de pratiques agricoles durables.

[1] Voir à ce sujet le rapport réalisé dans le cadre du projet RESCCUE en Polynésie française présentant l'impact des pratiques agricoles sur les écosystèmes de la baie d'Opunohu.

Références

Aalbersberg, B., 2009. Vetiver: The proven soil conservation technique. A training manual for communities and field workers. The University of the South Pacific, Fiji.

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.

Bhuiyan, A.A., 2007. Benefits of contour cultivation of pineapple (Policy Brief No. 9). MACH, Dhaka, Bangladesh.

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.

Ingwersen, W.W., 2012. Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Rica. Journal of Cleaner Production 35, 152–163. doi:10.1016/j.jclepro.2012.05.035

Khamsouk, B.B., Roose, E., Blanchart, E., Dorel, M., Rangon, L., Banidol, J.-J., 2012. Effets des systèmes de cultures bananières sur un sol brun tropical volcanique sous des simulations de pluies cycloniques en Martinique., in: Lutte Antiérosive, Réhabilitation Des Sols Tropicaux et Protection Contre Les Pluies Exceptionnelles. IRD, Marseille.

Lisan, B., 2014. Légumineuses et graminées couvre-sol et fourragères tropicales.

Nakalevu, T., Ratukalou, I., Waradi, J., Elder, M., Dowling, A.J., 2000. Vetiver and cash crop erosion control systems for sustainable sloping land farming in Fiji. Presented at the Proceedings Second International Conference on Vetiver, Bangkok, Thailand, pp. 239–247.

Oku, E.E., Aiyelari, E.O.A., 2014. Green technology for keeping soil-water-nutrient fluxes on cultivated steep land and for mitigating the consequences of climate change. Journal of Agriculture and Environment for International Development 108, 17–27. doi:10.12895/jaeid.20141.151

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.

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., 1984. Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical. Conséquences sur les méthodes antiérosives. Machinisme Agricole Tropical 87.

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.

Sedan, O., Mathon, C., Nachbaur, A., Jacq, F.A., Butaud, J.F., 2013. Programme ARAI 3 : Rôle de la végétation vis-à-vis des mouvements de terrain en Polynésie française. Rapport final. BRGM/RP- 62203-FR.

Sugahara, K., Ohwaki, Y., Banzai, K., 2001. Erosion control in pineapple fields on the island of Ishigaki. JARQ 35, 91–96.

Truong, P.N.V., Gawander, J.S., 1996. Back From The Future: Do's and Don'ts After 50 years of Vetiver Utilization in Fiji. Presented at the Proceedings of the First International Conference on Vetiver, Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, pp. 12–18.

Wan, Y., El-Swaify, S.A., 1999. Runoff and soil erosion as affected by plastic mulch in a Hawaiian pineapple field. Soil & Tillage Research 52, 29–35.

Wang, K.H., Sipes, B.S., Schmitt, D.P., 2002. Management of Rotylenchulus reniformis in pineapple, Ananas comosus, by intercycle cover crops. Journal of Nematology 34, 106–114.

Wischmeier, W., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning, Agricultural Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture.

Annexe 1 : Estimation de la couverture du sol

Terry and Chilingar (1955) ont développé un outil d'estimation visuelle du taux de couverture du sol. La comparaison des parcelles avec les diagrammes présentés en Fig. 24 permet de donner une valeur approchée du taux de couverture.

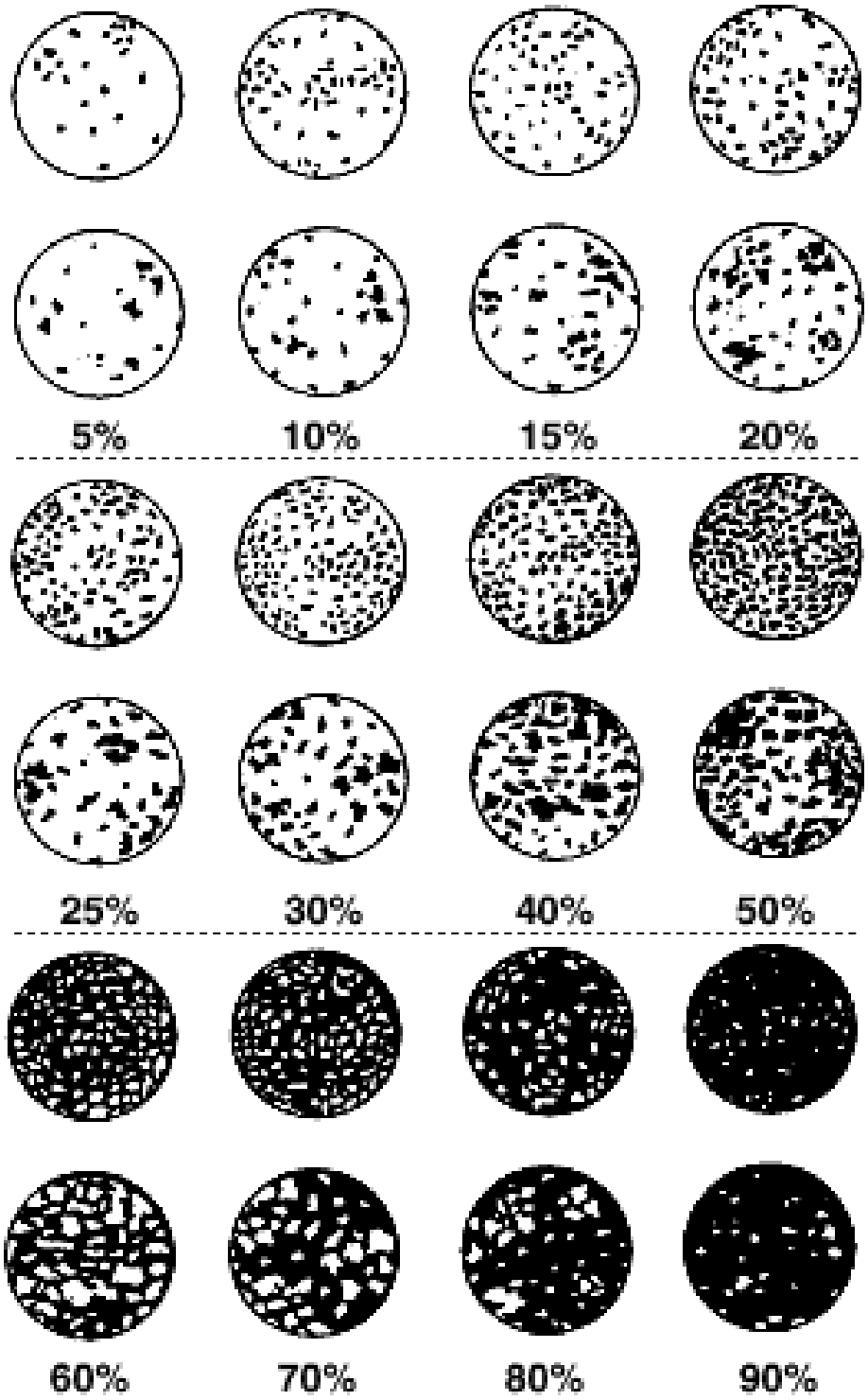


Figure 24 : Diagrammes pour l'estimation visuelle du taux de couverture du sol développés par Terry et Chilingar (1955)

Annexe 2 : fiche de suivi « pratiques cutlurales »

Cette fiche de suivi des pratiques culturales permet de collecter des informations nécessaires à l'évaluation technico-économique et en termes d'efficacité pour les pratiques durables expérimentées. Elle doit être tenue à jour par les agriculteurs partenaires.

Parcelle :	
Agriculteur :	

Date	Opération	Détails	Surface concernée	Machines et outils	Temps nécessaire	Dépenses associées	Commentaires

Annexe 3 : fiche de suivi « produits phytosanitaires et engrais »

Cette fiche de suivi des produits phytosanitaires et engrais permet de collecter des informations nécessaires à l'évaluation technico-économique et en termes d'efficacité pour les pratiques durables expérimentées. Elle doit être tenue à jour par les agriculteurs partenaires.

Parcelle :	
Agriculteur :	

Date	Produit utilisé	Type de produit	Quantité	Surface traitée	Temps nécessaire	Dépenses associées	Commentaires

Annexe 4 : fiche de suivi « état général de la parcelle »

Cette fiche de suivi de l'état général des parcelles permet de collecter des informations nécessaires à l'évaluation technico-économique et en termes d'efficacité pour les pratiques durables expérimentées. Elle doit être tenue à jour par les agriculteurs partenaires.

Parcelle :	
Agriculteur :	

Date	Etat général des plants	Couverture du sol (%)	Adventices	Ravageurs	Maladies	Marques d'érosion / de ruissellement	Commentaires

Annexe 5 : fiche de suivi « pistes »

Cette fiche de suivi des pistes d'exploitation permet de collecter des informations nécessaires à l'évaluation technico-économique et en termes d'efficacité pour les pratiques durables expérimentées. Elle doit être tenue à jour par les agriculteurs partenaires.

Parcelle, piste :	
Agriculteur :	

Date	Etat général des pistes	Couverture du sol (%)	Marques de ruissellement	Plants basculés	Affaissement du niveau	Etat des aménagements antiérosifs	Travaux d'entretien réalisés	Commentaires

Annexe 6 : fiche de suivi « pratiques antiérosives »

Cette fiche de suivi des pratiques antiérosives permet de collecter des informations nécessaires à l'évaluation technico-économique et en termes d'efficacité pour les pratiques durables expérimentées. Elle doit être tenue à jour par les agriculteurs partenaires.

Parcelle, piste :	
Agriculteur :	

Date	Pratique	Détails

Cultures en courbes de niveau

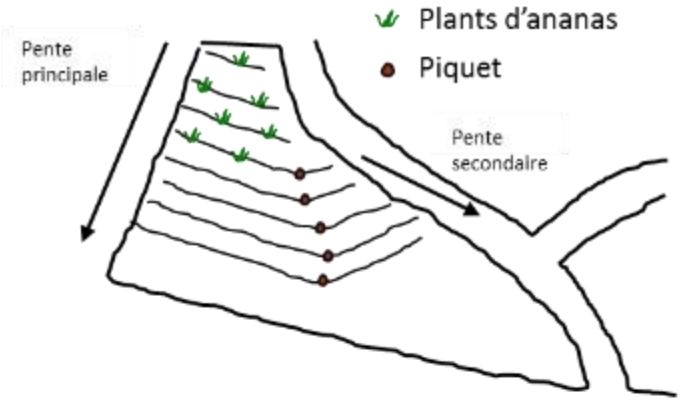
● Parcelles ● Pistes

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

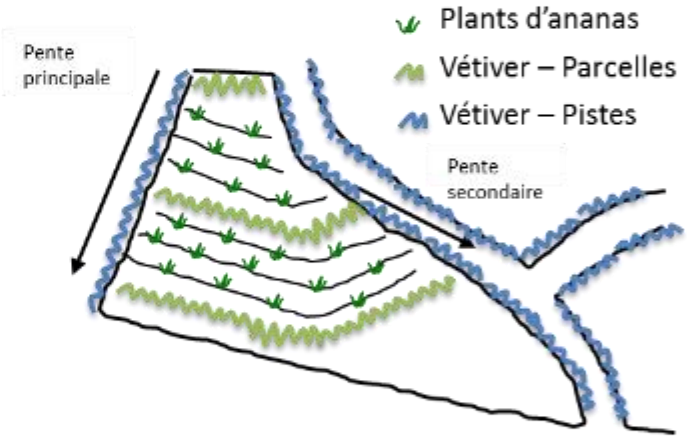
Description

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

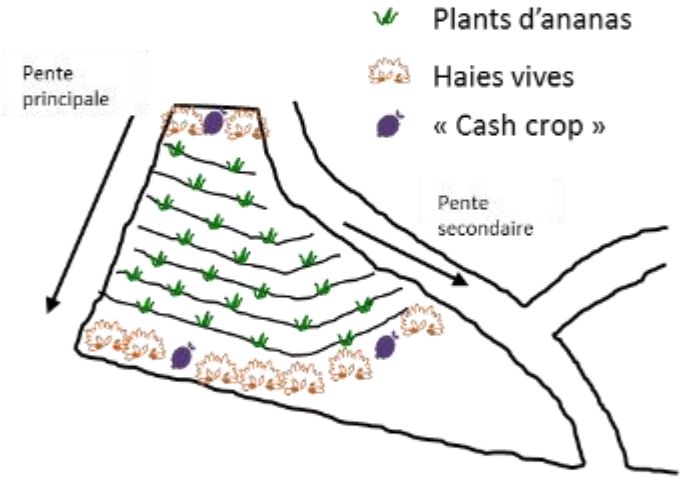
VERTIGOLAB

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

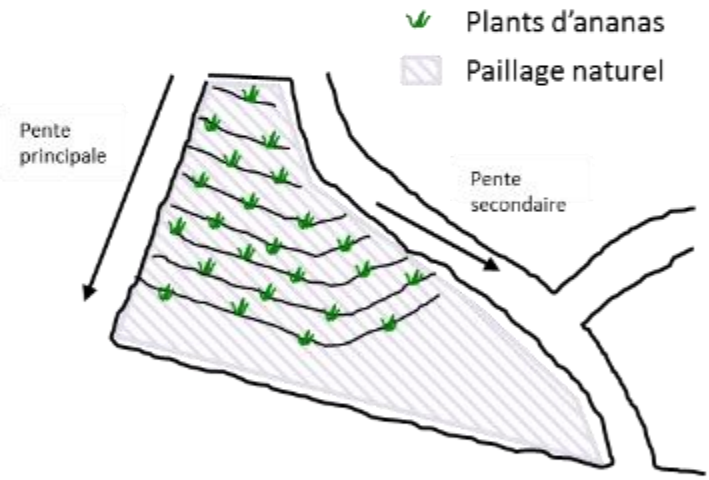
Description

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

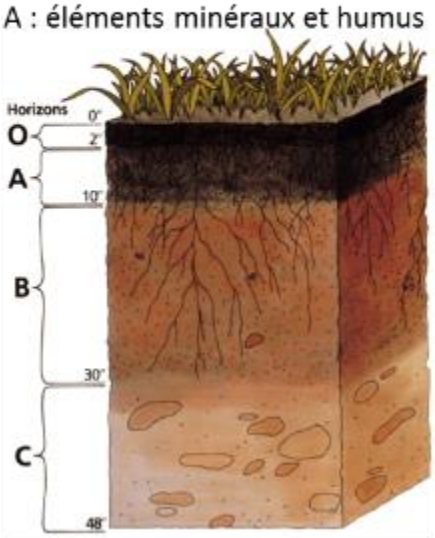
● Parcelles ● Pistes

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

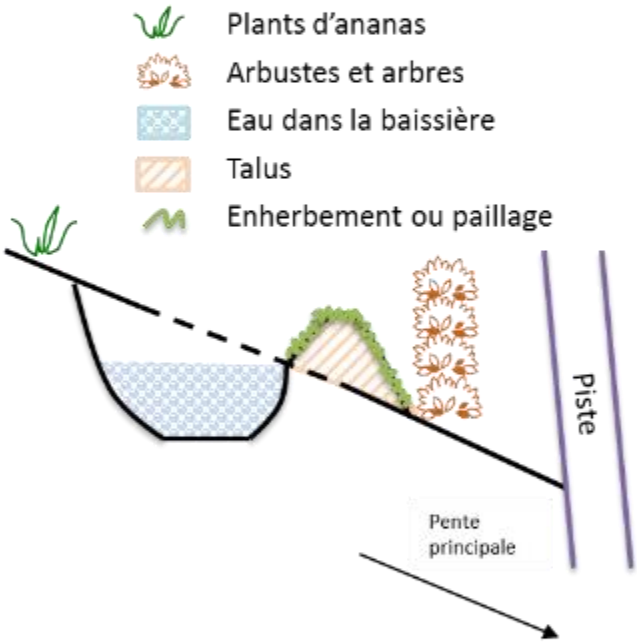
Description

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

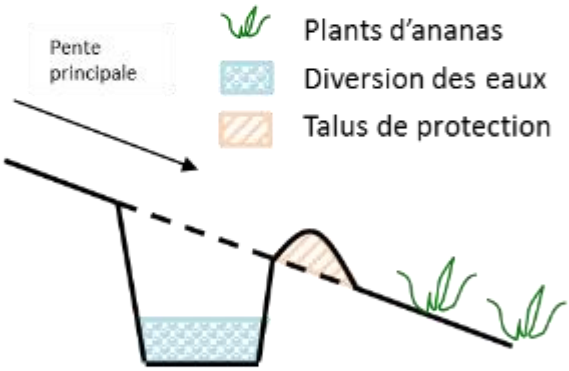
● Parcelles ● Pistes

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

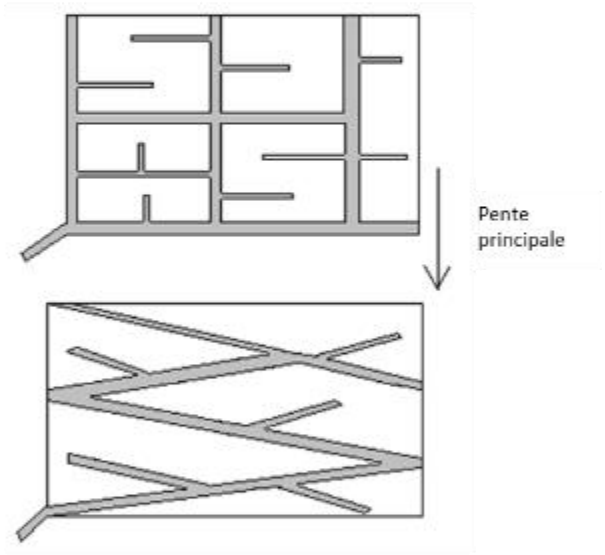
Orientation des pistes

● 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**

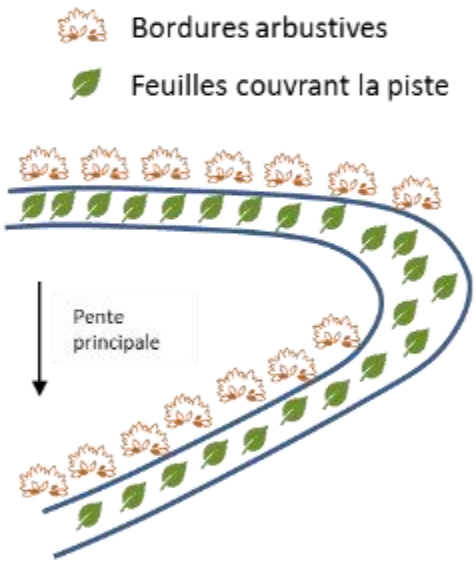
Description

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

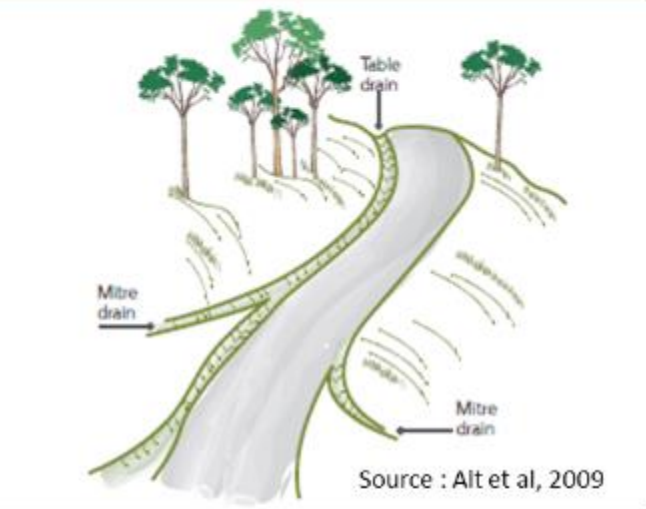
Fossés de bordure des pistes

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.

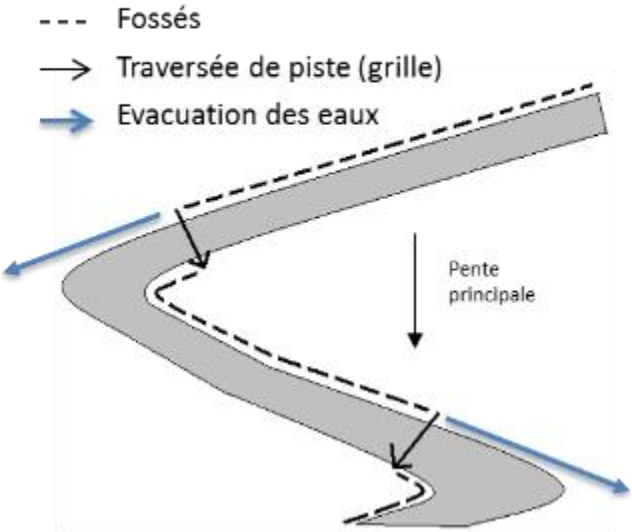


Source : Alt et al, 2009

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**

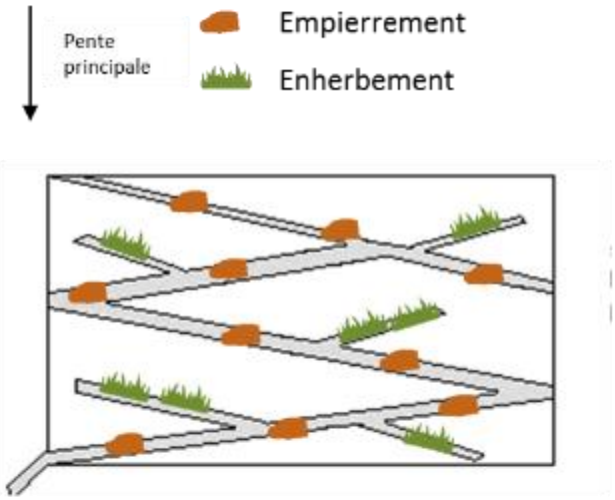
Description

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

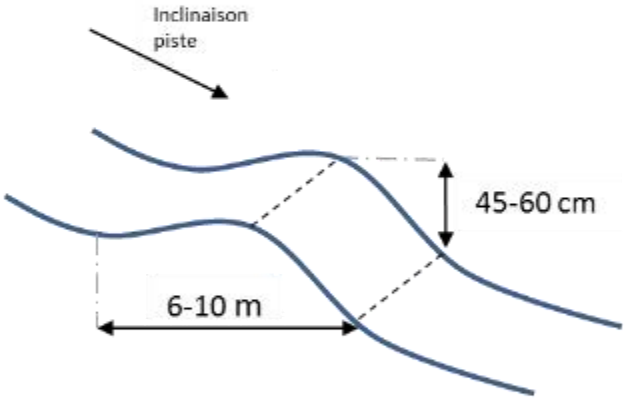
Parcelles **Pistes**

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