



Programme ARAI 3 : Rôle de la végétation vis-à-vis des mouvements de terrain en Polynésie française

Rapport final

BRGM/RP-62203-FR Juin 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 10RIS2503

O. Sedan, C. Mathon, A. Nachbaur, F.A. Jacq, J.F. Butaud

Vérificateur:

Nom: Vanoudheusden Emilie

Date: 26/06/2013

Signature

Approbateur:

Nom : Foerster Evelyne

Date: 26/06/2013

Signature:

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots clés : Végétation, mouvement de terrain, glissement de terrain, érosion, chute de blocs, Société, Marquises, Australes, Gambier, Polynésie française.
En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Sedan, O., Mathon M., Nachbaur A., Jacq F.A., Butaud J.F. (2013). Rôle de la végétation vis-àvis des mouvements de terrain en Polynésie française. Rapport final. BRGM/RP- 62203-FR., 119 p., 48 illustrations, 8 annexes.
© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Chaque année, les îles hautes de Polynésie sont affectées par des mouvements de terrain qui peuvent occasionner des dégâts matériels importants voire des pertes humaines. Si ces mouvements de terrain dépendent essentiellement de la nature géologique des sols, des facteurs externes comme le couvert végétal peuvent participer à aggraver ou à stabiliser un versant.

Le BRGM intervient en tant qu'appui technique auprès du Service de l'Urbanisme de la Polynésie française dans le domaine des risques naturels dans le cadre du programme ARAI 3. L'objectif d'un des volets de ce programme est d'étudier l'influence de la végétation sur la stabilité des terrains en Polynésie française ou du moins, d'éclaircir au mieux les points clés de cette problématique complexe et peu résolue. Les résultats visés sont des propositions opérationnelles pour les gestionnaires du territoire (reboisement, éradication ...).

Les retours d'expérience où le rôle de la végétation est explicitement mis en évidence sont très limités. La végétation est systématiquement un facteur parmi d'autres, il est toujours délicat de quantifier sa part de responsabilité. Sur de tels sujets naturalistes, l'appréciation de l'expert prend nécessairement une place déterminante.

Parmi l'ensemble des mouvements de terrain redoutés en Polynésie française, il a été montré que la végétation était capable d'intervenir essentiellement sur les glissements superficiels, les chutes de bloc et l'érosion/reptation des sols. L'influence de la végétation sur les glissements profonds reste, quant à elle, très difficile à appréhender. Le phénomène d'érosion n'a pas été traité spécifiquement, puisqu'il n'entraîne pas de dommages sur les biens ou les personnes, mais il a été considéré comme un facteur parmi d'autres pouvant entraîner d'autres instabilités.

À cheval sur deux domaines de compétences particuliers, l'étude a donc consisté en un échange étroit entre spécialistes géotechniciens d'une part et spécialistes forestiers d'autre part, pour aboutir à une réponse opérationnelle.

Pour conduire cette étude, trois étapes se sont succédées :

- l'inventaire des formations végétales et écosystèmes végétaux peuplant les îles de Polynésie française. Cette étude a été confiée à des spécialistes forestiers. Le principe de l'inventaire est présenté au chapitre 2;
- une analyse théorique pour mieux apprécier les interactions entre la végétation et les mouvements de terrain. Les constats sont synthétisés au chapitre 3 ;
- à partir de l'appréciation qualitative issue des observations de terrain des experts associées aux caractéristiques géotechniques théoriques, le BRGM a proposé une classification qualitative de chaque formation végétale recensée vis-à-vis de chaque phénomène redouté (glissement superficiel et chute de bloc). Cette réflexion est décrite au chapitre 4 et aboutit aux résultats et préconisations des chapitres 5 et 7.

<u>L'inventaire des « unités de végétation » peuplant les îles de Polynésie française (cf. chapitre 3)</u>

La demande du Service de l'Urbanisme concerne les instabilités à l'échelle des versants polynésiens. Pour répondre à cette problématique, l'unité de travail est l'unité de végétation (UV). En effet, c'est l'ensemble des espèces en équilibre qui caractérise le peuplement d'un versant et qui est, de ce fait, déterminant en termes d'impact sur la stabilité, et non la seule essence forestière dominante.

Ainsi, ces UV ont été inventoriées, renseignées et associées dans la mesure du possible aux types de versant qu'elles occupent. Cet inventaire a été réalisé sur chaque île où des mouvements de terrain de versant sont redoutés, soit les îles hautes (habitées et non habitées) de Polynésie française qui constituent un total de 28 îles ou îlots. Pour ce faire, une synthèse exhaustive de la bibliographie a été faite et complétée, dans la mesure du possible, par d'autres observations de terrain (encore non publiées issues d'observations antérieures).

190 UV ont ainsi été répertoriées. Les caractéristiques renseignées sont notamment celles susceptibles d'intervenir dans le déclenchement d'un mouvement de terrain, comme la densité de l'essence forestière dominante, la présence d'un sous-bois, la nature du système racinaire dominant...

<u>Une classification de chaque unité de végétation vis-à-vis de chaque phénomène redouté (cf. chapitre 5)</u>

Concernant l'influence de la végétation sur le déclenchement des glissements superficiels, on peut actuellement s'en tenir surtout aux retours d'expérience et aux constats de terrain. Ainsi, les critères sélectionnés finalement dans le cadre de cette étude, notamment la présence d'un système de racine pivotant et la densité du peuplement, sont ceux qui font l'objet d'un large consensus dans la communauté scientifique, conforté par l'expertise de terrain en Polynésie. Les autres facteurs ne sont pas moins discriminants mais plus délicats et subjectifs à prendre en compte à cette échelle de travail.

A contrario, la végétation joue un rôle plus net sur les chutes de blocs, que cela soit en intervenant sur le départ des blocs ou en intervenant sur leur distance de propagation, une fois que le bloc s'est détaché.

En effet, la végétation peut accentuer le départ des blocs en déchaussant un bloc déjà isolé ou en participant à fragmenter/déstructurer une roche et à produire ainsi de nouveaux blocs. En falaise, la présence d'un système racinaire quel qu'il soit, est systématiquement déstabilisante puisqu'il aura toujours tendance à favoriser autant la fragmentation que le déchaussement. Il a ainsi été considéré qu'aucun type de végétation ne peut empêcher le départ d'un bloc en falaise. En versant, les blocs sont essentiellement isolés. Le départ de ces blocs est favorisé dans des sols décapés, où le ruissellement des eaux incise les terrains. La propension des UV à être sujets à

l'érosion ou à développer un sous-bois protecteur a été le principal critère de hiérarchisation.

Comme l'ont montré les simulations de trajectographie, la présence d'un couvert forestier limite systématiquement la distance de propagation. La végétation dès qu'elle constitue un obstacle physique, ne peut donc avoir qu'une influence favorable pour l'arrêt des blocs. Parmi l'ensemble des UV de type Forêt, certaines ont été jugées comme étant plus efficaces que d'autres pour limiter la propagation des blocs. Ce jugement, délicat à établir à cette échelle, s'est basé sur une appréciation de terrain d'une part et sur la densité du couvert végétal.

Résultats (cf. chapitre 6)

Les résultats obtenus sont disponibles dans les différentes annexes sous forme de tableau, classant l'intégralité des UV vis-à-vis de chaque mouvement de terrain, tout en précisant celles qui menacent la biodiversité.

Sur les 190 UV recensées, 44 sont considérées comme limitant plutôt les glissements de terrain et 42 sont considérées comme limitant plutôt le départ des blocs dans les versants. A l'inverse, seulement 17 UV sont considérées comme aggravant plutôt les glissements superficiels (d'après les retours d'expérience sur tous les archipels) et 26 UV sont considérées comme favorisant le départ des blocs en versant.

Ainsi, au total, 15 UV (sur les 190 existantes) sont plutôt stabilisatrices vis-à-vis de tous les phénomènes redoutés. Il est intéressant de noter que, parmi celles-là, aucune n'est considérée comme menaçant la biodiversité (i.e. composée majoritairement d'espèces classées comme menaçant la biodiversité) en Polynésie française. A l'inverse, 10 UV sont défavorables à tout type de mouvement de terrain. Parmi celles-là, plus de la moitié est classée comme menaçant la biodiversité.

Sur ce sujet délicat qu'est l'influence de la végétation sur les mouvements de terrain, cette étude a l'avantage de faire un point et de mettre à disposition de la communauté polynésienne une expertise précieuse et un inventaire très opérationnel. Cet exercice permet de distinguer les espèces favorables des espèces nuisibles et donne une vision d'ensemble aux acteurs du développement du territoire pour apprécier et choisir les espèces à favoriser en toute connaissance de cause. D'autres critères doivent ensuite être pris en compte, indépendamment de la prévention des risques naturels, comme la valeur patrimoniale, économique, écologique...

Cependant, la végétation n'est pas pérenne et ne peut pas justifier de prise de décision à long terme. Ainsi, la présence d'un couvert végétal adapté ne peut jamais justifier d'une modification systématique du niveau de l'aléa, d'autant plus que les niveaux d'aléa mouvement de terrain ne sont jamais associés à une grandeur quantitative, ne permettant pas de justifier la légitimité d'un déclassement.

En termes de propagation, pour les chutes de blocs surtout, le dimensionnement d'ouvrage ne peut tenir compte explicitement de la présence d'un couvert végétal adapté, mais elle se traduira par l'augmentation de la durée de vie de l'ouvrage de protection, qui sera moins fréquemment sollicité.

Cette collaboration entre experts a permis de dégager des axes de recherche et d'applications opérationnelles. Notamment, la nécessité d'accroître absolument la capitalisation et la valorisation des retours d'expérience sur le rôle de la forêt. Cette étude permet de cibler plus précisément les points sur lesquels se focaliser.

Plus théoriquement, il serait très intéressant de renforcer la connaissance sur le lien entre arbres et glissement de terrain. Peut-on considérer le système racinaire pivot comme un bon indicateur de stabilité, comme ce qui a été proposé ici ?

L'étape suivante est de préconiser, pour un versant donné, les unités de végétation capables de limiter tel type de mouvement de terrain, en tenant compte des conditions d'acclimatation ainsi que de la dynamique d'évolution des espèces.

Sur une grande partie du territoire, le besoin principal reste sans doute de lutter contre les espèces envahissantes. Cette étude, et l'inventaire constitué, permettent de proposer les espèces capables de s'adapter aux conditions du versant tout en étant les moins pénalisantes en termes de mouvements de terrain redoutés à cet endroit. Pour ce faire, il pourrait être intéressant de détailler l'inventaire en explicitant, pour chaque unité de végétation, les types de versant auxquels ils sont capables de s'adapter.

Sommaire

1.	Contexte et organisation de l'étude	. 13
	1.1. INTRODUCTION	. 13
	1.2. PRINCIPE DE L'ÉTUDE	. 13
	1.2.1. Un échange technique entre experts géotechniciens et forestiers	. 13
	1.2.2.Trois étapes successives	
	1.2.3. Collaboration des acteurs compétents sur la problématique forestière	
	1.3. DÉLIVRABLE	. 15
	1.3.1.Un rapport autoporteur	. 15
	1.3.2. Trois rapports spécifiques pour décrire les unités de végétation de chaque archipel : Jacq et Butaud (2013a, b et c)	. 15
	1.3.3. Une base de données descriptive des Unités de Végétation (Jacq et Butaud, 2013a, b et c)	. 15
	1.3.4. Une fiche détaillée par UV (Jacq et Butaud, 2013a, b et c)	. 16
2.	Présentation de l'inventaire des Unités de Végétations réalisé dans cette étude	. 17
	2.1. ÉTAT SUR L'EXISTANT EN TERMES D'INVENTAIRE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	. 17
	2.2. CARACTÉRISTIQUE DE L'INVENTAIRE RÉALISÉ	. 17
	2.2.1.L'unité de végétation (UV) comme unité de travail	. 17
	2.2.2. Inventaire ciblé sur les îles hautes où les instabilités de versants sont	
	redoutées	
	2.2.3. Type de morphologie concerné	. 18
	2.3. PRÉSENTATION DE L'INVENTAIRE RÉALISÉ ET DE LA BASE DE DONNÉES ASSOCIÉE	. 19
	2.3.1.190 Unités de végétation (UV)	. 19
	2.3.2.Des informations sur le type de versant	. 22
	2.3.3. Parmi les UV recensées, principalement des forêts	. 23
	2.3.4. Certaines UV considérées comme nuisibles	. 23
	2.3.5. Caractérisation de chacune des UV	. 25
	2.3.6. Appréciation de chacune des UV vis à vis de la tenue des sols	. 25
3.	L'influence de la végétation sur les mouvements de terrain : le contexte en Polynésie française	. 27

	3.1. DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN EXISTANTS EN POLYNÉSIE	27
	3.1.1.Mouvements en masse	
	3.1.2. Mouvements rapides à l'état remanié	
	3.1.3. Mouvements de terrain influencés par la végétation	
	3.1.4. Des horizons instables spécifiques à chaque mouvement de terrain	. 35
	3.2. LES FACTEURS DE PRÉDISPOSITION ASSOCIÉS	. 36
	3.2.1. Facteurs généralement identifiés en Polynésie française	. 37
	3.2.2. Facteurs spécifiques aux mouvements de terrain retenus	. 38
	3.3. INFLUENCE DU COUVERT VÉGÉTAL SUR CHAQUE FACTEUR INTERVENANT DANS LE DÉCLENCHEMENT D'UN MOUVEMENT DE TERRAIN	. 40
	3.4. SYNTHÈSE SUR L'INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION SUR LE DÉCLENCHEMENT DES MOUVEMENTS DE TERRAIN	40
	3.4.1. Concernant les glissements	
	3.4.2. Concernant les chutes de blocs	
	3.4.2. Odricemant les chates de blocs	. 50
4.	Hiéarchisation des Unités de végétation (UV) vis à vis de leur influence sur les glissements de terrain et les chutes de blocs	. 51
	4.1. LIEN ENTRE LES CARACTÉRISTQUES DES UNITÉS DE VÉGÉTATION ET LES MOUVEMENTS DE TERRAIN	. 51
	4.2. GLISSEMENT DE TERRAIN	. 52
	4.2. GLISSEMENT DE TERRAIN	
		. 52
	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain	. 52 . 53
	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain 4.3. CHUTE DE BLOCS	. 52 . 53 . 55
	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain	. 52 . 53 . 55 . 55
	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain 4.3. CHUTE DE BLOCS 4.3.1.Test paramétrique avec Rockyfor 3D. 4.3.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation	. 52 . 53 . 55 . 55
5.	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain 4.3. CHUTE DE BLOCS 4.3.1.Test paramétrique avec Rockyfor 3D. 4.3.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur le départ des blocs 4.3.3.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation	. 52 . 53 . 55 . 55 . 59
5.	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain 4.3. CHUTE DE BLOCS 4.3.1.Test paramétrique avec Rockyfor 3D. 4.3.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur le départ des blocs 4.3.3.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur la propagation des blocs (configuration C de l'Illustration 37) Présentation des résultats	. 52 . 53 . 55 . 55 . 59 . 62
5.	4.2.1.Le rôle de l'expertise	. 52 . 53 . 55 . 55 . 59 . 62 . 65
5.	4.2.1.Le rôle de l'expertise 4.2.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain 4.3. CHUTE DE BLOCS 4.3.1.Test paramétrique avec Rockyfor 3D. 4.3.2.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur le départ des blocs 4.3.3.Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur la propagation des blocs (configuration C de l'Illustration 37) Présentation des résultats 5.1. HIÉRARCHISATION DES UV. 5.1.1.Parmi les 190 UV, sélection des UV concernées par les mouvements de terrain.	. 52 . 53 . 55 . 55 . 59 . 62 . 65
5.	4.2.1.Le rôle de l'expertise	. 52 . 53 . 55 . 55 . 69 . 65 . 65

	5.2. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	67
	5.3. LIMITE DE L'APPROCHE	69
6.	Conclusions et perspectives	71
7.	Bibliographie	73
	into dos illocatuations	
L	iste des illustrations	
IIΙι	ustration 1 : Organisation de l'étude	14
	ustration 2 : Liste des îles hautes de Polynésie française concernées par l'étude P : Aire Protégée)	18
	ustration 3 : Répartition des UV par archipel. Exemple des Australes. Base de onnées extraite de Jacq et Butaud (2013a, b et c)	20
	ustration 4 : Description des UV. Extrait de la base de données de Jacq et Butaud 013a, b et c)	21
	ustration 5 : Répartition des UV par unités écologiques selon les archipels d'après icq et Butaud (2013a, b et c)	23
	ustration 6 : Nombre d'UV menaçant la biodiversité par Archipels d'après Jacq et utaud (2013a, b et c)	24
	ustration 7 : UV considérée comme menaçant la biodiversité et répartition par archipel après Jacq et Butaud (2013a, b et c)	24
IIIu Ia	ustration 8 : Exemple de description écologique et dendrométrique des UV. Extrait de base de données d'après Jacq et Butaud (2013a, b et c)	26
IIIu	ustration 9 : Fluage / reptation – Tubuai – (Arbres incliné)	28
IIIu	ustration 10 : Chute de blocs –Titioro – Tahiti	29
III	ustration 11 : Exemple d'éboulements sur Tahiti et Nuku Hiva	30
III	ustration 12 : Vallée affectée par une lave torrentielle – Tahiti Centre	31
IIIu	ustration 13 : Coulée de boue sur l'île de Tahaa en avril 1998 (source LTPP)	32
III	ustration 14 : Sélection des mouvements de terrain, d'après la classification existante	34
III	ustration 15 : Caractéristiques lithologiques des mouvements de terrain retenus	36
III	ustration 16 : Schéma simplifié du contexte géologique polynésien	36
	ustration 17 : Facteurs de prédisposition du déclenchement de chacun des ouvements de terrain retenus.	38
	ustration 18 : Schéma des écoulements régissant l'équilibre d'une pente. Source : afeland 2010, modifié.	40

Illustration 19 : Caracteristiques de la vegetation (en vert) susceptibles d'influencer la désagrégation de blocsdésagrégation de blocs	41
Illustration 20 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer les caractéristiques de cisaillement de l'horizon instable	42
Illustration 21 : Les trois différents systèmes racinaires. Source : Kokutse et al. (2006) [modifié]	43
Illustration 22 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer les caractéristiques de cisaillement à l'interface	44
Illustration 23 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la teneur en eau dans l'horizon instable	45
Illustration 24 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la sensibilité du sol au détachement de particules	46
Illustration 25 : Caractéristique de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la sensibilité de la surface aux agents érosifs	47
Illustration 26 : Caractéristique de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer le poids de l'horizon instable.	49
Illustration 27 : Synthèse des effets de la végétation sur les paramètres régissant la stabilité	49
Illustration 28 : Principaux liens théoriques mis en évidence, entre les caractéristiques de l'Unité de Végétation et les mouvements de terrain redoutés	51
Illustration 29 : Critères pris en compte pour évaluer l'influence d'une UV sur les glissements de terrain	53
Illustration 30 : Fourré dense à Leucaena (AG23)	54
Illustration 31 : L'exemple du Pinus	54
Illustration 32 : Bambouseraie à Schizostachyum (M35).	55
Illustration 33 : Types de caractéristiques relevées sur le terrain (450 m²)	56
Illustration 34 : Investigation de terrain sur le site test dans la Fautaua	56
Illustration 35 : Localisation du versant modélisé dans le logiciel Rockfor ^{NET}	57
Illustration 36 : Résultat des simulations pour des blocs d'une tonne	58
Illustration 37 : Rôle de la vagétation vis-à-vis d'une chute de blocs - Trois configurations type	59
Illustration 38 : Critères pris en compte pour évaluer l'infuence d'une UV sur le départ de blocs en falaise	60
Illustration 39 : Critères pris en compte pour évaluer l'infuence sur le départ de blocs en versant	61
Illustration 40 : Forêt de Miconia (S64)	61
Illustration 41 : Pied isolé de Falcata (M36)	62
Illustration 42 : Critères pris en compte pour évaluer l'influence d'une UV sur l'arrêt des blocs	63

Illustration 43 : Forêt de Syzygium cumini (AG30) qualifié d'efficace à l'arrêt des blocs. Notons le diamètre limité apparent d'après la photo	63
Illustration 44 : Répartition des UV selon leur influence vis à vis du déclenchement des glissements de terrain	66
Illustration 45 : Répartition des UV selon leur influence vis à vis du départ de blocs	67
Illustration 46 : Répartition des UV selon leur influence vis à vis de la propagation des blocs.	67
Illustration 47 : Unités de végétation stabilisatrices vis và vis de tous les phénomènes redoutés (glissement de terrain, départ de bloc, arrêt de blocs)	68
Illustration 48 : Unités de végétation défavorables vis-à-vis de tous les phénomènes redoutés (glissement de terrain, départ de bloc, arrêt de blocs). *Les espèces qui menacent la biodiversité	69
Liste des annexes Annexe 1 Définition des termes liés à la végétation	77
Annexe 1 Définition des termes liés à la végétation	
Annexe 3 Extrait de la base de données des UV recensées et hiérarchisation vis-à-vis des mouvements de terrain redoutés	
Annexe 4 Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis des glissements de terrain	97
Annexe 5 Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis des départs de blocs en falaise	103
Annexe 6 Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis des départs de blocs en versant	107
Annexe 7 Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis de l'arrêt des blocs	113
Annexe 8 (recueil séparé) Fiches détaillées des principales UV Source : Jacq et	110

1. Contexte et organisation de l'étude

1.1. INTRODUCTION

Chaque année, les îles hautes de Polynésie sont affectées par des mouvements de terrain qui peuvent occasionner des dégâts matériels importants, voire des pertes humaines. Le contexte polynésien est particulièrement défavorable (reliefs escarpés et présence d'altérites sur des épaisseurs importantes, fortes précipitations cycloniques ou saisonnières favorisant le déclenchement d'instabilités), et l'exposition au risque très prononcé.

Si ces mouvements de terrain sont naturels, des facteurs externes, comme le couvert végétal, peuvent agir comme facteurs aggravant ou stabilisateur de ces phénomènes.

Le BRGM intervient en tant qu'appui technique auprès du Service de l'Urbanisme de la Polynésie française dans le domaine des risques naturels dans le cadre du programme ARAI 3. L'objectif d'un des volets de ce programme est d'étudier l'influence de la végétation sur la stabilité des terrains en Polynésie française ou du moins, d'éclaircir au mieux les points clés de cette problématique complexe et peu résolue. Les résultats visés sont des propositions opérationnelles pour les gestionnaires du territoire.

1.2. PRINCIPE DE L'ÉTUDE

1.2.1. Un échange technique entre experts géotechniciens et forestiers

À cheval sur deux domaines de compétences particuliers, l'étude a donc consisté en un échange étroit entre spécialistes géotechniciens d'une part et spécialistes du milieu forestier d'autre part, pour aboutir à une réponse opérationnelle.

Concrètement, cela a consisté en plusieurs entretiens et confrontations des deux champs de compétence. Les premiers entretiens ont eu lieu sur site, en octobre 2011. Pendant la durée de l'étude, les réflexions se sont poursuivies en continue par échanges numériques. Plusieurs réunions de travail ont ensuite eu lieu en mai 2012, visant notamment à finaliser le calage méthodologique. Une investigation de terrain commune a permis de concrétiser l'approche choisie.

1.2.2. Trois étapes successives

Pour conduire cette étude, plusieurs étapes se sont succédées (cf. Illustration 1):

- l'inventaire des formations végétales et des écosystèmes végétaux peuplant les îles de Polynésie française. Cette étude a été confiée à des spécialistes forestiers. Une synthèse de l'inventaire est présenté au chapitre 2 et constitue la base du présent rapport;
- une analyse théorique, réalisée par le BRGM, pour mieux apprécier les

- interactions entre la végétation et les mouvements de terrain. Les constats sont synthétisés au chapitre 3 ;
- à partir de l'appréciation qualitative des spécialistes de terrain associée à d'autres paramètres géotechniques, le BRGM a proposé une classification qualitative pour chaque formation végétale recensée, vis-à-vis de chaque phénomène redouté (glissement superficiel et chute de bloc). Cette réflexion est décrite au chapitre 4 et aboutit à des préconisations au chapitre 5.

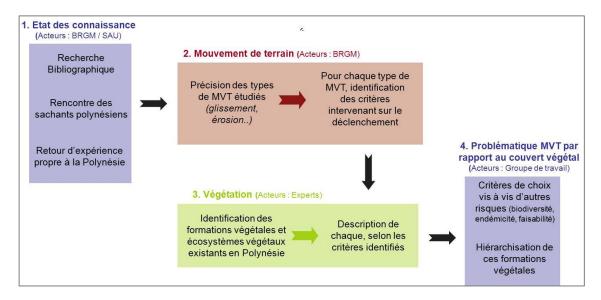


Illustration 1 : Organisation de l'étude.

1.2.3. Collaboration des acteurs compétents sur la problématique forestière

Afin d'apprécier au mieux la problématique, les acteurs compétents sur la thématique forestière en Polynésie ont été consultés, dont notamment le Service du développement rural (SDR) et la Délégation à la Recherche. La thématique forestière étant au cœur de l'étude, cette expertise particulière a été confiée à F. Jacq (consultant, ingénieur écologue) et J-F. Butaud (ingénieur forestier et spécialiste de la flore polynésienne).

L'objectif de l'étude confiée à ces spécialistes a été de dresser une liste exhaustive des formations végétales et des écosystèmes végétaux existants par île haute habitée associés aux types de versant qu'ils occupent. Cette étude n'a pas demandé de déplacement systématique sur le terrain. Pour ce faire, une synthèse exhaustive de la bibliographie (articles scientifiques, rapports d'études et de mission...) a été faite à l'échelle de chaque île haute (habitée et inhabitée). Les informations et inventaires existants ont été, dans la mesure du possible, complétés par des observations de terrains encore non publiées issues de missions ou d'observations antérieures (réalisées par les auteurs de cette étude et d'autres contributeurs).

1.3. DÉLIVRABLE

1.3.1. Un rapport autoporteur

Le présent rapport, autoporteur, synthétise le déroulement de l'étude et présente les résultats obtenus.

Les chapitres sont organisés comme suit :

- chapitre 3 : présentation de l'inventaire réalisé par les spécialistes forestiers ;
- chapitre 3 : présentation des mouvements de terrain redoutés en Polynésie française et analyse théorique des interactions possibles avec la végétation ;
- chapitre 5 : présentation du principe de classification des formations végétales visà-vis de chaque phénomène redouté (glissement superficie et chute de bloc) ;
- chapitre 6 et 7 : résultats et perspectives opérationnelles.

1.3.2. Trois rapports spécifiques pour décrire les unités de végétation de chaque archipel : Jacq et Butaud (2013a, b et c)

La synthèse des données visant à constituer l'inventaire est disponible pour chaque archipel, dans trois rapports indépendants : Marquises, Société, Australes / Gambier, rédigés par les spécialistes forestiers.

Pour chaque archipel, le rapport :

- recense et décrit les formations végétales polynésiennes ;
- complète ou met à jour le recensement des formations végétales :
- précise les sources de toutes les informations disponibles :
- analyse la dynamique des UV entre elles.

1.3.3. Une base de données descriptive des Unités de Végétation (Jacq et Butaud, 2013a, b et c)

L'intégralité des informations concernant les UV et rassemblées par Jacq et Butaud (2013a, b et c), a été présentée sous forme d'une base de données. La clé d'entrée descriptive de cette base est la « formation végétale » ou unité de végétation (UV).

Les informations détaillées pour chaque UV sont :

- la bibliographie;
- leur écologie et leur caractéristique dendrométrique (densité, intervalle altitudinale ...) ;
- leur répartition géographique par île et archipel ;
- leurs caractéristiques phyto-sociologiques (taxon dominant et co-dominant, autre taxons présents par type biologique...);
- les caractéristiques de leur taxon dominant (type, nom, dendrométrie, système racinaire ...);

- leurs caractéristiques vis à vis de la tenue des sols et des chutes de blocs, d'après les observations de terrain (à dire d'experts).

Le contenu de la base de données est présenté au § 2.3. Sa structure est détaillée en Annexe 2.

1.3.4. Une fiche détaillée par UV (Jacq et Butaud, 2013a, b et c)

La quasi-totalité des Unités de Végétation (UV) ont bénéficié d'une fiche détaillée. Celle-ci synthétise l'intégralité des informations les concernant, en terme écologique (condition d'acclimatation), intérêt patrimonial (floristique, faunistique, paysager, économique, culturel...), dynamique ou en terme de caractéristiques vis à vis de la tenue des sols d'après les observations de terrain.

Les fiches détaillées sont rapportées en Annexe 8, qui fait l'objet d'un recueil séparé.

2. Présentation de l'inventaire des Unités de Végétations réalisé dans cette étude

2.1. ÉTAT SUR L'EXISTANT EN TERMES D'INVENTAIRE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

La Polynésie compte plus de 200 espèces forestières. Parmi celles-là, 98 ont été décrites en détails par Butaud *et al.* (2008). Mais les données sur la végétation sont encore largement éparses et incomplètes sur l'ensemble du territoire polynésien. Celles-ci ne couvrent pas toutes les îles hautes et seules quelques-unes ont fait l'objet d'une carte de végétation, même partielle. Si les plantations forestières sont relativement bien connues, aucun inventaire forestier global n'a jamais été lancé en Polynésie française (seulement sur quelques domaines forestiers souvent disparates), limitant notamment la connaissance concernant les forêts primaires et secondaires (Defranoux., 2010).

Il ne s'est donc pas agit ici, de pallier ce manque de données significatif qui correspond à un travail de terrain d'une autre ampleur, mais de donner un aperçu général qualitatif des espèces existantes en Polynésie et de mettre en évidence les spécificités éventuelles des îles les unes par rapport aux autres.

2.2. CARACTÉRISTIQUE DE L'INVENTAIRE RÉALISÉ

2.2.1. L'unité de végétation (UV) comme unité de travail

La demande du Service de l'Urbanisme concerne les instabilités à l'échelle des versants polynésiens. Pour répondre à cette problématique, <u>l'unité de travail est l'unité de végétation (UV)</u>. Elle est définie par un ou deux taxons dominants associés à plusieurs autres taxons de diverses strates écologiques (arborescente, arbustive, herbacée..). En effet, c'est l'ensemble des espèces en équilibre qui caractérise le peuplement d'un versant et qui est, de ce fait, déterminant en termes d'impact sur la stabilité, et non la seule essence forestière dominante.

Ainsi, les Unités de Végétation existantes ont été inventoriées et associées, dans la mesure du possible, aux types de versant qu'ils occupent.

2.2.2. Inventaire ciblé sur les îles hautes où les instabilités de versants sont redoutées

Cet inventaire a été réalisé sur chaque île où des mouvements de terrain de versant sont redoutés, soit les îles hautes (habitées et non habitées) de Polynésie française, totalisant 28 îles ou îlots (cf. Illustration 2). Ainsi, l'archipel des Tuamotu, qui ne présente aucun risque de mouvement de terrain, n'a pas été étudié (seul Makatea,

atoll soulevé, présente une altitude non négligeable mais ses caractéristiques géologiques en font une île plutôt stable).

Il est important de balayer l'ensemble des îles car les écosystèmes sont très variables pour plusieurs raisons, liées :

- aux conditions climatiques spécifiques à chaque archipels voire à chaque île : climat plus sec et chaud aux Marquises, plus humides et frais aux Australes ;
- aux caractéristiques géologiques et lithologiques (épaisseur des altérites, présence de substrat corallien, fertilité des sols...);
- à des paramètres anthropiques comme la pression foncière, le peuplement historique ou les politiques de reboisement.

Archipel (km²)	sous archipel (km²) lles hautes habitées	Habitée	Aire km²
Marquises	Marquises Nord	Hatutaa (Hatutu)	NON (AP)	7
1 047	573	Eiao	NON (AP)	39
		Nuku Hiva	oui	339
		Ua Pou	oui	105
		Ua Huka	oui	83
	Marquises Sud	Hiva Oa	oui	315
		Mohotani	NON (AP)	13
		Fatu 'uku	NON	1
	474	Tahuata	oui	61
		Fatu Hiva / Fatu iva	oui	85
Gambier		Mangareva	oui	13
34		Taravai	oui	6
		Akamanu	oui	2
		Aukena	oui	13
Société	lles du Vent	Tahiti	oui	1 045
1 576	1 197	Moorea	oui	142
		Maiao	oui	8
		Meetia (Mehetia)	NON	2
	lles sous le vent	Huahine	oui	75
	379	Raiatea	oui	171
		Tahaa	oui	90
		Bora Bora	oui	29
		Maupiti	oui	14
Australes	Australes Nord	Rurutu	oui	32
146		Tubuai	oui	45
	Australes Sud	Rimatara	oui	9
		Raivavae	oui	20
	Rapa	Rapa	oui	40

Illustration 2 : Liste des îles hautes de Polynésie française concernées par l'étude (AP : Aire Protégée).

2.2.3. Type de morphologie concerné

L'objectif de l'étude est de mesurer l'influence de la végétation sur le déclenchement ou la propagation de mouvements de terrain à l'échelle du versant. Ceci concerne donc les planèzes et les versants. Sont exclus de l'étude la plaine littorale, les plateaux et les vallées. Néanmoins, par souci d'exhaustivité, dans les îles hautes concernées, tous les types de végétation ont été recensés, qu'ils se développent sur terrains plats ou pentus.

2.3. PRÉSENTATION DE L'INVENTAIRE RÉALISÉ ET DE LA BASE DE DONNÉES ASSOCIÉE

Les termes employés dans la littérature pour décrire la végétation n'étant pas homogènes, une synonymie a été mise en place par Jacq et Butaud (2013a, b et c). Le système de classification utilisé rejoint celui de l'école anglo-américaine AAPE : Anglo-American Plant Ecology (Bouzillé, 2007). Il permet de combiner deux critères : physionomique et floristique. Cette classification a l'avantage d'être dominante dans le Pacifique et d'avoir déjà été utilisée en Polynésie française.

La définition des termes marqués d'un astérisque * est précisée en Annexe 1.

La structure de la base de données est détaillée en Annexe 2.

2.3.1. 190 Unités de végétation (UV)

La clé d'entrée descriptive est la « formation végétale » ou l'Unité de Végétation (UV). Une UV est définie par un ou deux taxons dominants associés à plusieurs autres taxons d'autres strates écologiques (arborescente, arbustive, herbacée...).

Grâce à ce travail d'inventaire, 190 unités de végétation ont ainsi été répertoriées, réparties sur les 4 archipels étudiés :

- 80 sur l'archipel de la Société ;
- 55 sur l'archipel des Marquises ;
- 55 sur l'archipel des Australes-Gambier.

L'archipel de la Société apparaît être le plus fournit en nombre d'UV, mais l'archipel Australes-Gambier est de loin le plus diversifié, au prorata de la surface (0,3 UV/km² contre 0,03 et 0,05 pour les deux autres archipels).

Leur répartition sur chacune des îles est précisée (cf. extrait en Illustration 3).

_

¹ Seules deux grandes écoles se distinguent (CEPS et AAPE).

	UV - Formations végétales	Rimatara	Rurutu	Tubuai	Raivavae	Marotiri	Rapa	Gambier
AGI 1	AGI Végétation herbacée de plage à Ipomoea-Canavalia	X	X	X	X		X	X
AG2 F	AG2 Fourré arbustif à Pemphis sur roche calcaire en place	X	X	traces	X			X
AG3 F	AG3 Fourré arbustif littoral sur substrat corallien plus ou moins grossier	X	X	X	X			X
I	Fruticées littorales très ouvertes à Scaevola et diverses herbacées sur							
AG4 s	AG4 substrat volcanique rocheux			traces	traces	X	X	X
AG5 F	AGS Fruticées littorales très ouvertes sur falaises de mato	traces	X					
AG6 I	AG6 Fourré arbustif ouvert sur mato	X	X					
1	Forêt littorale à Barringtonia-Hibiscus sur plaine littorale et basses							
AG7 pentes	centes			X	X			X
AG8 I	AG8 Forêt littorale à Barringtonia sur mato	X	X					
AG9 I	AG9 Forêt littorale à Pandanus-Guettarda sur substrat sableux corallien	X	reliques	X	X			X
AG10 F	AG10 Forêt littorale à Pandanus-Hibiscus						X	
AG11	AG11 Forêt à Pandanus-Guettarda sur mato	X	X		traces			
AG12 F	AG12 Forêt de <i>Casuarina</i> sur substrat sableux littoral	X	X	X	X			X
AG13 F	AG13 Forêt de <i>Casuarina</i> sur mato	X	X					
AG14 F	AG14 Forêt supralittorale à Pandanus-Myoporum						X	
AG15 N	AG15 Marécage à Acrostichum-Cladium	X		X	X			
AG16 1	AG16 Marécage à Schoenoplectus-Cyclosorus	X		X			X	
AG17 I	AG17 Forêt marécageuse à Hibiscus-Acrostichum	X		X	X			

Illustration 3 : Répartition des UV par archipel. Exemple des Australes. Base de données extraite de Jacq et Butaud (2013a, b et c).

		р.	SI		a), le ta
Faciës		(2) zone calcaire nue de Motu Hiva (Eiao)	(1) Portulaca, (2) Leptochloa- Bidens (300-400 m) / littoral versus intérieur	Littoral strict à Sesuvium portulaeastrum	(1) normale, (2) Forêt à Thespesia populnea et Celtis pacifica (Mohotani), (3) faciés dégradé à Acacia et Annona (Eiao)	(1) forte pente-falaises (0-200 m), (2) faciës plateau à forêt cathédrale (200-400 m), (3) faciès à Guettarda speciosa (UH)
Autres taxons (cf faciès)	Paspalum vaginatum, Cyperus javanicus	Boerhavia acutifolia, Chamaesyce sachetiana	Fimbristylis juncea, Cyperus marquisensis, Ipomoea violacea	Bidens spp., Chamaesyce sachetiana, Oxalis gagneorum, Fimbristylis juncea, Heliotropium marchionicum, Cyperus javanicus, Plakothira	Waltheria tomentosa, Lebronnecia kokioides, Sapindus et Ficus, Abutlon sachetanum, Jossinia, Psydrax, Cordia lutea, Maytenus, Hibiscus tiliaceus, Pisonia grandis et Sapindus saponaria	(2) Sapindus, Thespesia, Cordia subcordata, Terminalia glabrata, Pandanus tectorius et Ficus prolixa, Isora, Jossina, Pysdrax, Premma ou Colubrina (2) facies plateau à forêt cathédrale et Morinda citrifolia - (1) Microsarum grossum, (200-400 m), (3) faciès à Guettarda Nephrolepis in:sutula, Collubrina et Morinda citrifolia, speciosa (UH) (3) Guettarda speciosa, Jossina reinwardtana
Taxon co-dominant (cf faciès)	Canavalia rosea	Fimbristylis cymosa	Portulaca lutea	Nicotiana fatuhivensis	Thespesia populnea	(l) Microsorum grossum, (2) Cordia subcordata
Taxon dominant	Ipomoea pes-caprae subsp. brasiliensis	Paspalum vaginatum	Leptochloa xerophila	Leptochloa xerophila	Cordia subcordata	Pisonia grandis
Formations végétales (UV)	Végétation herbacée de plage	Pelouse littorale sur substrat calcaire	Lande herbacée à Leptochloa - Portulaca	Fruticée (xérophile) à Leptochloa (et Nicotiana)	Forêt littorale de <i>Cordia</i> et <i>Thespesia</i>	Forêt para-littorale de <i>Pisonia</i>
Unité écologique	Herbacée	Herbacée	Lande	Fruticée - végétation éparse	Forêt	Forêt
Type de formation	Naturelle	Naturelle	Naturelle	Naturelle	Naturelle	Naturelle
Séries écologiques	Littorale à para- littorale	Littorale à para- littorale	Littorale à para- littorale	Littorale à para- littorale	M05 Littorale à para- littorale	Littorale à para- littorale
Q	M01	M02 1	M03 1	M04	M05	M06

Illustration 4 : Description des UV. Extrait de la base de données de Jacq et Butaud (2013a, b et c).

Chacune de ces unités de végétation (UV) est détaillée (extrait en Illustration 4) en précisant les catégories auxquelles elles appartiennent :

- la série écologique (SE), qui se réfère notamment aux conditions climatiques d'un milieu et qui précise ainsi les conditions d'acclimatation de chaque UV :
 - Littorale à para-littorale
 - Xérophile
 - Mésophile*
 - Hygrophile*
 - Ombrophile*
- l'unité écologique (UE), liée à la catégorie morphologique des plantes dominantes, représentée principalement par leur type biologique (arborescente, arbustive, herbacée...) :
 - Forêt
 - Herbacée
 - Cocoteraie
 - Fourré*
 - Maquis
 - Bambouseraie
 - Fruticée*
 - Lande*
 - Savane
- le type de formation :
 - naturelle*: dont les espèces indigènes ou natives dominent,
 - anthropique ou secondaire*: dont les espèces dominantes sont liées à l'homme soit intentionnellement comme les plantations (cocoteraies, pinus), soit accidentellement comme les espèces rudérales, qui se développent naturellement dans les milieux dégradés par les implantations humaine (défrichement, village, piste...).

2.3.2. Des informations sur le type de versant

La description du type de versant colonisé par l'UV permet d'apprécier les conditions d'acclimatation et de développement possible de l'UV et par ailleurs, de préciser les mouvements de terrain redoutés.

Dans la mesure du possible, il a été renseigné :

- la pente et la morphologie, sachant qu'en Polynésie, on peut regrouper ces versants en différents types :
 - les planèzes qui correspondent aux pentes originelles, généralement faibles, des anciens volcans des îles. Elles correspondent à des portions planes faiblement inclinées vers la mer (pentes de 5 à 10°), d'au moins quelques kilomètres, au-dessus d'un empilement de coulées de lave métriques,

- Les versants à pente modérée (de 15 à 25° en moyenne). Ils se développent de part et d'autre d'axes d'écoulement au sein des planèzes. Dans la mesure du possible, on distinguera les versants rocheux, des versants « mamutisés »,
- Les versants à pentes modérées à fortes (35 à 45° en moyenne). Dans la mesure du possible, on distinguera les versants rocheux, des versants « mamutisés »,
- les grands versants de plusieurs centaines de mètres de hauteur et de pentes très fortes (supérieure à 50°), de toute nature ;
- l'altitude (caractérisant les conditions de température, de vent et également de pluviométrie) ;
- l'exposition du versant, notamment en distinguant les versants au vent (plus arrosés) de ceux sous le vent (plus sec). Les précipitations peuvent atteindre deux à trois fois la valeur moyenne régionale sur les versants au vent (Lemesle, 1999).

2.3.3. Parmi les UV recensées, principalement des forêts

Les Unités de végétation (UV) appartiennent chacune à un type d'unité écologique. Sur la Polynésie française, il s'avère que ce sont essentiellement des forêts (46 % des UV, cf. Illustration 5).

Unité Ecologique (UE) ▼	Australes-Gambier	Marquises	Société	Total général
Bambouseraie	1	1	1	3
Cocoteraie	2	1	2	5
Forêt	26	22	39	87
Fourré	8	12	12	32
Fruticée	4	2	4	10
Herbacée	6	5	5	16
Jardins	1	2	1	4
Lande	3	6	8	17
Maquis	1	1	1	3
Marécage	2		4	6
Savane	1	1	1	3
Zone érodée		2	2	4
Total général	55	55	80	190

Illustration 5 : Répartition des UV par unités écologiques selon les archipels d'après Jacq et Butaud (2013a, b et c).

2.3.4. Certaines UV considérées comme nuisibles

Parmi les 190 UV recensées, 25 sont considérées comme « nuisibles ». Cette dénomination se base sur les arrêtés qui déterminent les espèces « menaçant la biodiversité en Polynésie française » (arr. n° 1301 du 15/11/2006²). Les espèces nuisibles les plus connus sont le Faux Pistachier (*Syzygium cumini*), le Miconia (*Miconia calvescens*), le Pisse-pisse ou Tulipier du Gabon (*Spathodea campunulata*).

_

² Arrêté n° 1301 CM du 15 novembre 2006 modifiant diverses dispositions du code de l'environnement relatives aux espèces menaçant la biodiversité en Polynésie française

À partir de ce classement concernant les espèces individuellement, la liste des UV considérées comme nuisibles est reprise en Illustration 7 ci-dessous. La quasi-totalité colonise déjà l'archipel de la Société. Les Marquises et les Australes-Gambier semblent plus épargnés. Leur répartition par archipel est synthétisée en Illustration 6.

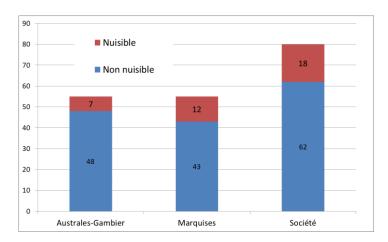


Illustration 6 : Nombre d'UV menaçant la biodiversité par Archipels d'après Jacq et Butaud (2013a, b et c).

	P	Archipel	
Formations végétales (UV)	Australes-Gambier	Marquises	Société
Forêt de Falcataria	1	1	1
Forêt à Spathodea-Miconia			1
Forêt à Spathodea-Pandanus			1
Forêt de Cecropia peltata			1
Forêt de Miconia			1
Forêt de Syzygium cumini	1	1	1
Forêt de Syzygium jambos	1	1	1
Forêt mésophile à Adenanthera			1
Forêt mésophile de Spathodea			1
Fourré à Ardisia elliptica			1
Fourré à Chrysobalanus icaco			1
Fourré à Desmanthus pernambucanus		1	
Fourré à Eugenia-Waterhousea			1
Fourré à Jatropha gossypifolia		1	
Fourré à Psidium cattleianum	1		1
Fourré à Rhodomyrtus tomentosa			1
Fourré à Tecoma sur pentes fortes et falaises			1
Fourré de Eugenia uniflora	1	1	
Fourré dense à Acacia farnesiana		1	
Fourré dense à Leucaena leucocephala	1	1	1
Fourré dense à Tecoma stans		1	
Fruticée à Lantana			1
Lande à Ocimum gratissimum		1	
Lande à Sidastrum paniculatum		1	
Lande herbeuse à Melinis minutiflora	1	1	1
Total	7	12	18

Illustration 7 : UV considérée comme menaçant la biodiversité et répartition par archipel d'après Jacq et Butaud (2013a, b et c).

2.3.5. Caractérisation de chacune des UV

Les caractéristiques renseignées par UV sont celles susceptibles d'intervenir dans le déclenchement d'un mouvement de terrain.

Les informations principales compilées à partir des informations disponibles dans la littérature sont :

- la densité des arbres (en nombre par hectare d'arbre de dhp³ >10 cm),
- la description du sous-bois,
- la hauteur dominante Ho (m),
- la surface terrière (G en m²/ha),
- le diamètre moyen à hauteur de poitrine (Dhpmoy).

Le système racinaire du taxon dominant est également renseigné (pivotant/traçant/fasciculé), à partir des informations disponibles dans la littérature ; la référence bibliographique est précisée systématiquement. On se référera au § 3.3.c. pour avoir des précisions sur ces systèmes racinaires.

L'Illustration 8 présente un exemple des caractéristiques renseignées.

2.3.6. Appréciation de chacune des UV vis à vis de la tenue des sols

L'influence de chaque UV par rapport à la tenue des sols peut être appréciée par une forte connaissance de terrain. Cette appréciation a donc été renseignée pour chaque UV avec une justification.

³ Dhp : diamètre à hauteur de poitrine

Archipel	9	Formations végétales (UV)	Densité sous-bois	Biodiversité	Nb taxon	Nb taxon N/ha dhp>10cm Dhpmoy (cm.) Densité couvert	Dhpmoy (cm)		Но (ш)	G (m²/ha)	Exposition
Marquises	M24	Forêt (xéro- à) mésophile de Casuarina	aucune à riche (fougères) Dicranopteris linearis	Moyen à riche	(24-28)	226	26	claire	20 m		Toutes, plus sous le vent, versant O et NO
Société	S34	Forêt mésophile à Hibiscus	sous-bois arbustif et herbacé moyen dense à peu diversifié	Paucispécifique à moyen		400-800	16-20		15-17 m	13-18	quart nord-ouest plus sec de Tahiti
Société	S35	Forêt mésophile à <i>Serianthes-Hibiscus</i>	arbustif et herbacée moyen	Moyen ?							flancs Ouest
Société	S36	Forêt mésophile à Adenanthera	Sous-bois sa propre régénération	Paucispécifique		355-486	19-20		19	14-20	
Société	S37	Forêt mésophile à <i>Metrosideros-</i> Fagraea	Etage arbustif très diversifié, tapis herbacée à fougères très diversifiées	Moyen à riche	(24-27 +/- 5)	340-360	16-17	peu dense en arbre	(5) 11-15 m	8-10	
Société	838	Forêt mésophile de Spathodea	peu ou pas de sous-bois	Mono-paucispécifique	(61)	200-778	23-27		10-18	9-18 (66)	
Société	839	Forêt de Syzygium cumini	sous-bois est généralement très pauvre du fait de l'ombrage	Paucispécifique à moyen	(24 +/-2)	536	22		19	25	
Société	S40	Forêt méso- à hygrophile à Hernandia moerenhoutiana	arbustif et herbacée moyen	Moyen							

Illustration 8 : Exemple de description écologique et dendrométrique des UV. Extrait de la base de données d'après Jacq et Butaud (2013a, b et c).

3. L'influence de la végétation sur les mouvements de terrain : le contexte en Polynésie française

3.1. DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN EXISTANTS EN POLYNÉSIE

Plusieurs classifications des mouvements de terrain existent. Elles reposent sur des critères variés tels que le type de mécanisme de déformation, de rupture et de déplacement des matériaux, le type de matériaux mobilisé, le volume déplacé, la vitesse de déplacement, les mécanismes initiateurs, etc..

Nous utiliserons la typologie issue de Mompelat *et al.* (2003), élaborée à partir de celle utilisée en métropole pour les PPR, mais déclinée aux réalités polynésiennes. Elle permet d'avoir une vue d'ensemble exhaustive des mouvements de terrain attendus en Polynésie. Elle s'appuie plus précisément, sur la classification proposée dans le guide sur les PPR « Mouvements de terrain » publié à la Documentation française (1999) et découle de l'analyse des données disponibles et des investigations effectuées dans quelques îles *a priori* représentatives des archipels polynésiens : Tahiti, Moorea, Raiatea et Tahaa (lles de la Société), Tubuai et Rurutu aux Australes et Nuku Hiva aux Marquises.

Deux types de mouvements de terrain se distinguent suivant leur mode de propagation : en masse ou sous forme remaniée (nous ne prenons pas en compte ici la vitesse des déplacements). Les mouvements en masse comprennent les chutes de pierres ou de blocs, les éboulements ou écroulements et certains glissements. Les mouvements à l'état remanié visent les laves torrentielles, les coulées boueuses, les glissements-coulées et le phénomène d'érosion.

3.1.1. Mouvements en masse

Les glissements de terrain (à évolution lente ou rapide : GL ou GR)

Un glissement est le déplacement d'une masse de terrain cohérente, le long d'une ou plusieurs surfaces de rupture de géométrie variable (plan de glissement préexistant, ou induite). Suivant la géométrie, on distingue généralement les glissements plans et les glissements circulaires.

Ils affectent principalement le mamu (altérites) très altéré mais également des matériaux remaniés, en particulier les produits d'érosion accumulés en bas de pente. Le glissement survenu en 2000 dans la vallée de Tipaerui, à Papeete, en est l'illustration (de l'ordre de 100 000 à 150 000 m³ de matériaux mobilisés).

Plusieurs glissements à évolution lente se sont manifestés à Raiatea et Tahaa en 1998, causant peu de dégâts. Des déformations et des fissures sont visibles en surface mais la géométrie de leurs surfaces de rupture n'est pas connue.

L'évolution des glissements peut être plus rapide, provoqué notamment, par des sollicitations pluvieuses exceptionnelles ou des actions anthropiques, comme ceux observés à Raiatea et Tahaa en 1998. En raison de leurs fortes teneurs en eau, les masses déplacées ont évolué en coulées de boue ou de débris (cf. type CL ci-après). Ils sont d'ampleur décamétrique (GRd) à hectométrique (GRh). Certains de ces glissements sont superficiels (quelques mètres d'épaisseur) et se produisent sur des pentes faibles à modérées (GRds ou GRhs). Un phénomène de ce type a été répertorié à l'ouest de l'île de Raiatea, sur un versant à 20 degrés de pente. La niche d'arrachement mesure environ 300 m de large, pour 1 à 2 m d'épaisseur et 100 m de haut. Les masses glissées se sont propagées sur 200 m en aval.

D'autres configurations particulières (GRdt et GRht) méritent d'être soulignées puisqu'elles mettent en cause des colluvions et des trachytes reposant sur un mamu argileux. La rupture a lieu au sein du mamu et entraîne les formations rocheuses susjacentes, parfois sur quelques dizaines de mètres d'épaisseur. Un glissement spectaculaire d'ampleur est recensé au nord de Raiatea, à proximité du Mont Tapioi (environ 35 000 m³ pour une taille de l'arrachement de 90 mètres de large sur 80 m de long).

Les phénomènes de fluage / reptation (FL)

Ce type de mouvement lent n'est pas délimité par une surface de rupture clairement identifiée. Il se caractérise par la présence d'arbres inclinés et/ou d'une végétation moutonnée et/ou d'une surface topographique irrégulière (cf. ; Illustration 9). Dans certains cas, les zones affectées peuvent être le siège de glissements superficiels d'ampleur modérée, en particulier lors de fortes pluies. Ils peuvent affecter la frange superficielle du « mamu » ou se produire dans des zones sèches (Tubuai, Nuku Hiva, Ouest de Tahiti) dans des sols peu épais (< 1m) sur substrat peu altéré. Dans les deux cas, de fortes pluies peuvent conduire à des glissements ou à des ravinements.



Illustration 9: Fluage / reptation - Tubuai - (Arbres incliné).

Chute de pierres, de blocs ou de gros blocs (CB)

Les chutes de blocs sont rapides et soudaines et se produisent à partir d'escarpements rocheux ou par remobilisation de blocs présents dans la pente (cf. Illustration 10).

Ce sont des blocs isolés, inférieur à 100 m³. En Polynésie, il s'agit le plus souvent d'instabilités affectant des parements rocheux naturels et sont observés dans toutes les îles hautes. Les instabilités se produisent également au sein de versants à forte pente mobilisant des formations en place ou des éboulis.



Illustration 10: Chute de blocs - Titioro - Tahiti.

Éboulement ou écroulement (EB)

Comme précédemment, il s'agit de mouvements à composante de déplacement vertical prépondérant, mais avec des volumes mobilisés plus importants (supérieurs à 100 m³). Les matériaux mobilisés sont généralement rocheux et plus ou moins altérés et requièrent des discontinuités préexistantes.

D'après les données disponibles, le type le plus fréquent en Polynésie concerne des parements rocheux naturels et est observé dans toutes les îles visitées (cf. Illustration 11). Les éboulements affectent également des talus constitués de mamu plus ou moins altéré (argiles et blocs), naturels et anthropiques.

Deux cas particuliers méritent d'être soulignés. Il s'agit premièrement des éboulements en grande masse (volume supérieur au million de m³). Un phénomène de ce type s'est produit à Fatu Hiva aux Marquises en septembre 1999. Il a provoqué un tsunami ayant causé des dégâts dans l'île. La niche d'arrachement résultant de l'éboulement mesure environ 300 m de large et de haut. Des phénomènes équivalents affectent la zone montagneuse centrale de l'île de Tahiti. Celui qui s'est produit fin mars 2003 a généré une niche d'arrachement de 700 m de haut et 300 m de large. Les masses éboulées se sont propagées ensuite sur une dizaine de kilomètres de long sous forme de lave torrentielle.



Écroulement pk 14.5 Tahiti - Punaauia

Écroulement de falaise - Nuku Hiva



Éboulement en grande masse – Tahiti Centre



Éboulement de grande ampleur – Tahiti Centre

Illustration 11 : Exemple d'éboulements sur Tahiti et Nuku Hiva.

Il s'agit en second lieu, d'éboulements, d'ampleur modérée le plus souvent, qui affectent des formations rocheuses trachytiques après sous-cavage du mamu altéré sur lequel elles reposent. Un cas de ce type, mais de grande ampleur, est supposé au Mont Muake à Nuku Hiva. Ces exemples correspondent à une configuration relativement fréquente. En effet, les îles volcaniques voient souvent la mise en place

tardive de dômes ou de coulées de lave de trachytes qui arment les crêtes sur des épaisseurs de quelques dizaines de mètres, au-dessus d'un mamu plus ou moins argilisé. C'est le cas à Nuku Hiva et Raiatea.

3.1.2. Mouvements rapides à l'état remanié

Les laves torrentielles (LT)

Elles résultent du transport de matériaux sous forme de coulées visqueuses (laves au sens strict) ou fluides (écoulement hyper concentré), dans le lit des torrents. À Raiatea en 1998, quelques coulées ont été considérées comme des laves torrentielles. Elles résultent de la mobilisation de masses glissées au sein de cours d'eau, sans qu'il y ait nécessairement eu formation d'un barrage naturel. Fin mars 2003, un éboulement en grande masse s'est produit au centre de l'île de Tahiti, à la source de la rivière Punaruu (cf. Illustration 12). Le volume mobilisé est au moins de l'ordre de 2 millions de m³. La lave torrentielle engendrée s'est propagée sur une dizaine de kilomètres. À proximité de l'éboulement, les versants du cours d'eau ont été "décapés" sur 20 à 30 m de haut.

En décembre 1998, un éboulement s'est produit dans la commune de Papara à Tahiti et a provoqué un embâcle (barrage naturel). La rupture de ce barrage quelques heures après l'éboulement a entraîné la propagation d'une lave torrentielle qui a endommagé quelques habitations en aval.



Illustration 12 : Vallée affectée par une lave torrentielle – Tahiti Centre.

Les coulées de boue (CL)

Les coulées boueuses concernent la mobilisation des matériaux issus de glissements ou d'éboulements. De nombreux phénomènes de ce type se sont produits à Raiatea et Tahaa en 1988 (cf. Illustration 13). Les matériaux mobilisés sont souvent remaniés, de type colluvions, sur une faible épaisseur (1 à 2 m d'épaisseur).

Dans certains cas, les matériaux mobilisés englobent des éléments lithiques grossiers et / ou des éléments végétaux. On parle alors de coulées de débris (CLd). Il convient de citer pour terminer le cas de coulées de débris résultant de phénomènes d'érosion consécutifs à des écoulements anthropiques d'eau pluviale (à l'exutoire de caniveaux routiers par exemple). Une coulée supposée de ce type a entraîné la destruction d'une habitation à Raiatea en 1998.

Ce type de phénomène pourrait se produire également par la fluidisation et l'écoulement rapide d'une formation argileuse en place en raison d'une importante teneur en eau, mais des coulées de ce type ne sont pas connues (pour le moment) en Polynésie.



Illustration 13 : Coulée de boue sur l'île de Tahaa en avril 1998 (source LTPP).

Les glissements – coulées sur fortes pentes (GC)

Ils sont fréquents à l'intérieur des îles hautes aux reliefs escarpés et affectent des versants à très forte pente. Ils se produisent en général lors de fortes précipitations. Ils résultent de glissements plans, superficiels (épaisseur métrique à infra métrique), mobilisant des matériaux altérés en place ou déjà mobilisés. Dans certains cas, l'instabilité d'origine peut être un éboulement. Les matériaux glissés, mêlés à des débris végétaux s'écoulent le long de la ligne de plus grande pente. La cicatrice morphologique du phénomène s'accroît ainsi vers l'aval et éventuellement vers l'amont par érosion régressive. Il en résulte des cicatrices beaucoup plus longues que larges. Elles peuvent atteindre quelques centaines de mètres de long pour quelques mètres à quelques dizaines de mètres de large. Le phénomène reste superficiel tant que la pente est élevée. Ensuite, il évolue le cas échéant en coulée de débris.

Érosion (Er)

En géomorphologie, l'érosion est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des roches, qui est causé par tout agent externe. Les facteurs d'érosion sont le climat, la pente, la physique (dureté) et la chimie (solubilité par ex.) de la roche, l'absence ou non de couverture végétale et la nature des végétaux, l'histoire tectonique (fracturation par exemple), l'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanisation). L'érosion agit à différents rythmes et peut, sur plusieurs dizaines de millions d'années, araser des montagnes, creuser des vallées, faire reculer des falaises.

L'érosion conduit à :

- la transformation chimique des sols ;
- la formation de ravine qui affaiblit la structure du sol ;
- la perte de sol, pouvant conduire à des arrachements superficiels. Ce type d'instabilité vise ici l'ablation superficielle de matériaux, liés aux écoulements pluviaux. Le phénomène d'érosion de berge le long des cours d'eau constitue un cas particulier (ERb).

Le lessivage conduit à initier une altération chimique du sol, en le privant des éléments minéraux solubles et des particules fines. Cette altération diminue la cohésion des sols et leur potentiel de fertilité (Rialland, 1999).

Le vecteur de l'érosion est variable : on parle d'érosion éolienne ou d'érosion hydrique.

3.1.3. Mouvements de terrain influencés par la végétation

L'Illustration 14 reprend l'inventaire et la classification des mouvements de terrains polynésiens, établis par Mompelat *et al.* (2003) et indique si la végétation peut avoir une influence sur le phénomène, en distinguant son déclenchement et sa propagation.

Plusieurs phénomènes ne seront pas retenus pour la suite de l'étude. Il s'agit notamment :

- des phénomènes en masse dont le déclenchement et/ou la propagation sont incontrôlables par la végétation de par leur violence ou leur ampleur : glissement d'ampleur, éboulement ou écroulement de falaise et d'escarpements rocheux, coulée de débris, laves torrentielles ;
- des phénomènes particuliers définis par leur spécificité géologique (comme la rupture des trachytes surmontés d'altérites) ;
- des phénomènes qui ne sont pas compatibles avec l'échelle de travail (en grisée dans le tableau en Illustration 14), soit les instabilités affectant les talus anthropiques, les berges ou les remblais.

Famille	Туре	Sigle	Description sous-type	Occurrence en Polynésie	Lithologie concernée	Mouvement exclus de l'étude par nature	Role de la véç l'échelle du dans le déclenchement	
		CBr	phénomène affectant les parements rocheux	observé dans toutes les îles visitées	parement rocheux		х	✓
	Chute de	Cbra	phénomène affectant des	souvent observé	talus anthropiques			
	pierres, blocs ou	CBv	talus anthropiques rocheux	un cas étudié dans la vallée de Titioro	formation en place ou			
	gros blocs	CBV	forte pente mobilisant des	- a priori fréquent	éboulis		/	1
			formations en place ou des éboulis				·	·
		Ebr	phénomène affectant les	observé dans toutes les îles visitées	parement rocheux naturels		Х	Х
		EBrf	parements rocheux phénomène affectant les	à Nuku Hiva et dans l'ensemble des	parement rocheux		^	^
			parements rocheux de type falaise	Marquises a priori			х	Х
	Eboulement	EBa	phénomène affectant des talus constitués de mamu plus ou moins altéré naturels	courant	mamu		x	x
	ou écroulement	EBaa	idem talus anthropiques	idem	talus anthropiques			
	30.00ioiiitiiti	EBg	éboulement en grande masse	à Fatu Hiva notamment	parement rocheux naturels		Х	X
		EBrt	éboulement d'ampleur modéré affectant les formations de trachyte	courant - observé à Raiatea, Tubuai, Nuku Hiva	trachytes surmontant des formations altérées		x	x
Mouvement en masse		Ebht	éboulement en grande masse affectant des formations de Trachyte	supposé au Muake (Nuku Hiva)	trachytes surmontant des formations altérées		х	х
nent		GRd (ou GLd)	glissement d'ampleur décamétrique	observé à Raiatea et Tahaa en 1998	Mamu alteré principalement, colluvions		Х	✓
Mouveir		GRh (ou GLh)	glissement de grande ampleur (hectométrique)	un cas supposé à Nuku Hiva	Mamu alteré principalement, colluvions		Х	х
		GRds GRhs	glissement superficiel d'ampleur décamétrique	À l'accept de l'ille de Deietre eur 200	Mamu alteré principalement, colluvions		✓	✓
	Glissement	GRIIS	glissement superficiel de grande ampleur (hectométrique)	à l'ouest de l'ile de Raiatea, sur 20° de pente.	Mamu alteré principalement, colluvions		✓	х
	de terrain	GRdt	glissement de trachytes d'ampleur décamétrique		Trachytes surmontant des formations altérées		х	✓
		GRht	glissement de trachytes de grande ampleur (hectométrique)	au nord de Raiatea, à proximité du Mont Tapioi (environ 35000 m³ pour une taille de l'arrachement de 90 mètres de large sur 80 m. de long).	Trachytes surmontant des formations altérées		х	x
		Glda	glissement de remblais (pour routes ou constructions) dans les zones en pente	nombreux	Remblais anthropiques			
	Fluage / reptation	FLa	glissement plus ou moins continu affectant sols et franges superficielles très altérées	observé à Raiatea et Tahiti. Potentiellement dans toutes les îles hautes	frange superficielle très altérée		✓	✓
		FLs	phénomène équivalent dans les zones sèches affectant les sols squelettiques	observé à Tubuai, Nuku Hiva, Tahiti ouest	sol sur substrat peu altéré, en zones sèches		✓	✓
Mouvements sous forme remaniée	Laves torrentielles	LT		deux cas récents connus à Tahiti	mis en mouvement d'un éboulement		х	х
	Coulée de boue	CL	cas général	fréquent lors de pluies exceptionnelles. Nombreux cas à Raiatea et Tahaa en 1998	mobilisation des matériaux issus de glissements ou d'éboulements		х	x
		CLd	coulée de débris	idem	mobilisation des matériaux issus de glissements ou d'éboulements, englobant des éléments lithiques grossiers et ou des éléments végétaux		х	х
	Glissement coulée sur forte pente	GC		très fréquent dans les secteurs montagneux escarpés	formations alterées en place ou déjà mobilisés		✓	x
Mou	Erosion /	ER	cas général	dans toutes îles a priori	formations alterées en place ou déjà mobilisés ?		✓	✓
	ravinement	ERb	cas particulier des érosions de berge	dans toutes îles a priori				

Illustration 14 : Sélection des mouvements de terrain, d'après la classification existante.

L'influence de la végétation sur les glissements profonds reste difficile à appréhender. Dans la littérature, il est communément admis que cette influence se limite à des tranches de sols superficielles, sans que cette démonstration ne soit jamais clairement établie. Les chapitres suivants présenteront des pistes permettant d'apprécier cette hypothèse, notamment en termes d'influence de la végétation avec la profondeur. En général, il est admis que 90 % des racines (biomasse) sont situés dans les 50 cm premiers centimètres du sol, limitant les effets en profondeur. Des limites d'influence, de l'ordre de 2 à 5 m sont évoquées dans la littérature. D'après le Guide des Sylvicultures de Montagne (CEMAGREF, ONF), cette valeur est plutôt de l'ordre de 2 m : « la forêt ne peut maitriser les glissements de terrain que s'ils sont superficiels, c'est-à-dire d'une profondeur inférieure à 2 m ».

Ainsi, les 4 types de mouvements de terrain dont le déclenchement et la propagation sont susceptibles d'être influencés par la présence de végétation, sont :

- glissement superficiel;
- érosion ;
- chute de blocs;
- reptation (ou fluage).

3.1.4. Des horizons instables spécifiques à chaque mouvement de terrain

Les 4 types de mouvements de terrain retenus sont décrits au § 3.1.1 et au § 3.1.2. Pour chacun, l'entité géologique concernée par l'instabilité est différente (cf. Illustration 15 et Illustration 16).

On distinguera « le sol » (entité superficielle) des « formations superficielles », constituées, quant à elle, des formations recouvrant plus largement le substratum, qu'elles soient en place et issues de l'altération du substratum (appelé dans ce cas, « mamu ») ou remaniées (« colluvions »). Le sol est une entité évolutive dans le temps, alors que la formation superficielle est bornée par une interface géologique (le front d'altération). Dans la suite du rapport, on appellera « horizon instable », l'horizon concerné par le mouvement de terrain (sol, formations altérées, ...).

Les glissements superficiels affectent donc principalement le mamu mais également des matériaux remaniés, en particulier les produits d'érosion accumulés en bas de pente. L'érosion et les phénomènes de reptation affectent une partie plus superficielle.

L'épaisseur du sol comme celle des formations altérées dépend essentiellement du climat. Elle est beaucoup plus épaisse en climat tropical humide (et peut atteindre jusqu'à 10 m pour le sol et plusieurs dizaines de mètres pour les profils d'altération), qu'en climat tempéré.

Mouvements de terrain retenus	Horizon instable concerné
GLISSEMENT SUPERFICIEL	Sol + mamu ou colluvions
ÉROSION	< Sol
RÉPTATION (ou fluage)	Sol
CHUTE DE BLOCS	Substratum

Illustration 15 : Caractéristiques lithologiques des mouvements de terrain retenus.

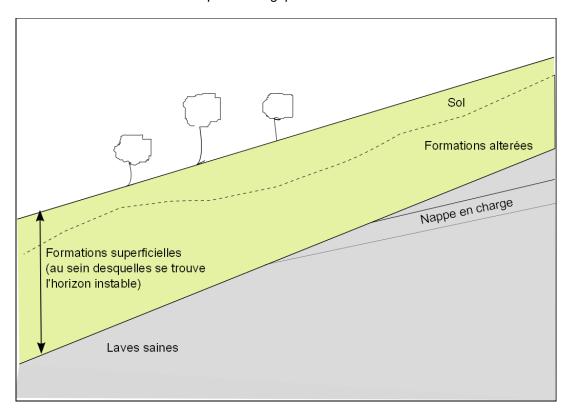


Illustration 16 : Schéma simplifié du contexte géologique polynésien.

3.2. LES FACTEURS DE PRÉDISPOSITION ASSOCIÉS

Les facteurs de prédisposition correspondent à des conditions nécessaires (mais non suffisantes) pour que se produisent des mouvements de terrain.

Un mouvement de terrain est la conséquence, à un moment donné, d'un certain nombre de facteurs qui vont induire une rupture. On distingue classiquement des facteurs dits « permanents » dont l'évolution est suffisamment lente pour les considérer

comme constants, et des facteurs dits « déclenchants » ou « aggravants ». L'ensemble de ces facteurs constituent des facteurs de prédisposition.

3.2.1. Facteurs généralement identifiés en Polynésie française

Facteurs permanents, fragilisant le milieu

Dans le cas général, les facteurs permanents sont essentiellement :

- pente topographique ;
- nature et caractéristiques des formations concernées par le mouvement de terrain (sol, mamu ou colluvions principalement) ;
- épaisseur de ces formations ;
- hétérogénéité géologique et contraste de perméabilité entre faciès favorisant les mises en charges locales sous les formations superficielles (niveaux scoriacés perméables, trachytes..).

Facteurs aggravants (déclenchant), provoquant la rupture de stabilité

L'analyse des sites affectés par les mouvements de terrains en Polynésie française a montré que si les causes naturelles sont déterminantes dans le déclenchement des instabilités de versants, des causes anthropiques contribuent largement à aggraver la situation. Ainsi, dans ses expertises sur Raiatea / Tahaa, Chassagneux (1999) conclue que la circulation des eaux de pluie au sein des différentes formations constitue le principal facteur déclenchant de ces mouvements de terrain.

En Polynésie française, les facteurs déclenchants des mouvements de terrain affectant des versants, sont donc :

- d'origine naturelle :
 - pluviométrie : les précipitations ont un rôle très important dans le déclenchement des mouvements de terrain, notamment via la modification de la teneur en eau des sols. Ce point sera détaillé dans le § 3.2.2.,
 - hydrogéologique : remontée de nappe dans les formations superficielles, mise en charge et écoulement à l'interface substratum / formations superficielles due à l'hétérogénéité de perméabilité dans les laves constituant le substratum et à la présence d'horizons aquifères (typiquement trachytes);
- d'origine anthropique :
 - surcharge mécanique en tête d'un versant ;
 - surcharge hydraulique en tête d'un versant (rejets d'eau non contrôlés, ...);
 - modification des caractéristiques géométriques (morphologie) des terrains, notamment suppression de la butée en pied de talus (terrassement notamment);
 - pratique culturale.

3.2.2. Facteurs spécifiques aux mouvements de terrain retenus

L'Illustration 17 synthétise les facteurs de prédisposition du déclenchement de chacun des quatre mouvements de terrain retenus. On appelle « horizon instable », l'horizon concerné par le mouvement de terrain (sol, formation altérée, ...).

L'érosion et la reptation, qui affectent la tranche superficielle du sol proprement dit, peuvent également ensuite être un facteur accentuant l'instabilité des formations superficielles.

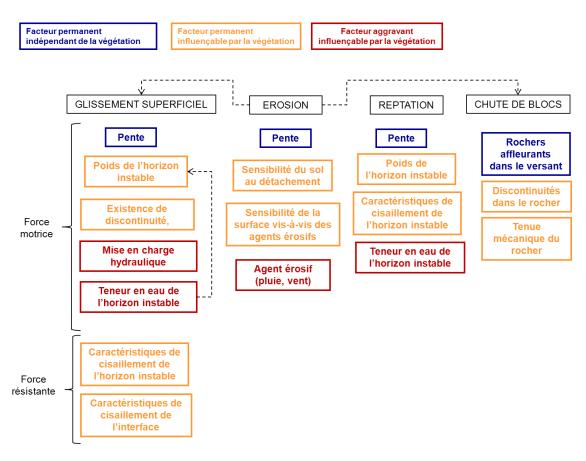


Illustration 17 : Facteurs de prédisposition du déclenchement de chacun des mouvements de terrain retenus.

Spécificité de l'érosion

Le phénomène d'érosion est composé de deux phases : l'ablation du substrat en amont, puis le transport/dépôts des sédiments érodés. On appelle l'érodibilité d'un sol, la résistance inhérente au détachement des particules et à leur transport.

Les principaux mécanismes de détachement sont d'une part la désagrégation - par éclatement (résulte de la pression de l'air piégé dans les agrégats secs brutalement humectés), par fissuration (gonflements et retraits différentiels lors de cycles d'humectation- dessiccation) ou par dispersion (diminution des forces de cohésion entre particules colloïdales humectées) - et d'autre part, l'arrachement par l'énergie cinétique des gouttes de pluie et celles des eaux de ruissellement (Barthès et Roose, 2002).

Spécificités du glissement

La stabilité d'un versant est contrôlée par l'équilibre entre les forces motrices et les forces résistantes. Le déséquilibre de ce rapport provoque le glissement. Hors contexte anthropisé, les forces motrices correspondent principalement au poids des terrains, tandis que les forces résistantes ne dépendent que des caractéristiques de cisaillement.

Un des principaux facteurs contrôlant la modification de cet équilibre est la teneur en eau dans le sol. En effet, cette caractéristique augmente à la fois le moment moteur (augmentation du poids volumique humide) tout en diminuant le moment résistant (réduction des caractéristiques de cisaillement du sol ou à l'interface entre formations).

En milieu saturé, la résistance au cisaillement τ est donné par le critère de rupture de Mohr -Coulomb :

$$\tau = c' + (\sigma - u_w) \cdot \tan \varphi'$$

Avec c' : cohésion interne, φ ' : angle de frottement interne, $u_{_{\scriptscriptstyle W}}$: pression d'eau

Ainsi, les facteurs participant à modifier cet équilibre sont de deux types : ceux modifiant l'état des contraintes et ceux modifiant les propriétés des sols, soit c' et φ' .

En milieu non saturé (ou l'effet de la végétation sera accentué comme discuté ciaprès), la contrainte effective est décrite par Bishop (1960) selon les termes suivants :

$$\sigma' = \sigma - u_a + (u_a - u_w) \cdot \chi$$

 u_a : pression de l'air, u_w : pression d'eau, $u_a - u_w$: succion, χ : paramètre qui dépend du degré de saturation du sol.

Donc, en milieu non saturé, la résistance au cisaillement au est donné par :

$$\tau = c' + (u_a - u_w) \cdot \chi \tan \varphi' + (\sigma - u_a) \cdot \tan \varphi'$$

$$\tau = c' + c_{app} + (\sigma - u_a) \cdot \tan \varphi'$$

Ainsi, l'influence de la succion peut être perçue comme une cohésion apparente raffermissant la résistance au cisaillement des sols (Safeland, 2010). L'Illustration 18 schématise les équilibres de pression dans les pentes.

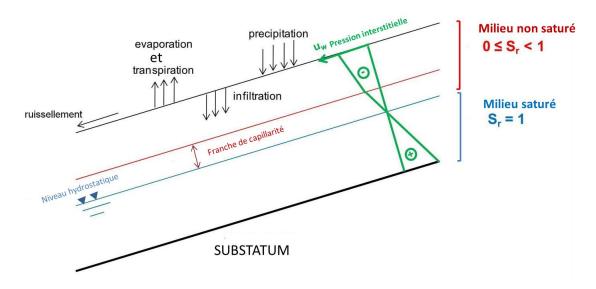


Illustration 18 : Schéma des écoulements régissant l'équilibre d'une pente. Source : Safeland 2010, modifié.

3.3. INFLUENCE DU COUVERT VÉGÉTAL SUR CHAQUE FACTEUR INTERVENANT DANS LE DÉCLENCHEMENT D'UN MOUVEMENT DE TERRAIN

Ci-dessous, ont été identifiés pour chaque facteur indépendant intervenant dans le déclenchement du mouvement de terrain et identifié dans l'illustration 17, le type d'influence que pouvait avoir le couvert végétal. Dans cette analyse, il n'y a pas de quantification de cette influence et sur de nombreux points, l'effet bénéfique ou négatif reste incertain et en attente de validation expérimentale. Cette réflexion est indépendante du type de mouvement de terrain, puisque certains facteurs (teneur en eau, caractéristique mécanique...) peuvent intervenir dans plusieurs d'entre eux.

L'objectif de cette réflexion théorique est d'identifier, de manière exhaustive, les liens que peut avoir la végétation avec chacun des facteurs intervenant dans le déclenchement du mouvement de terrain.

a). Déchaussage, désagrégation de blocs (Illustration 19)

La végétation peut accentuer le départ des blocs en déchaussant un bloc déjà isolé dans un versant ou en participant à fragmenter/déstructurer une roche par son système racinaire, et ainsi à produire de nouveaux blocs. En Polynésie, ce phénomène

est particulièrement observable sur les talus, en bordure de piste notamment (Riallant, 1999). Notons que le système racinaire peut retenir, à court terme, des blocs, sans que cela ne puisse être considéré comme pérenne à long terme.

La végétation peut aussi jouer un rôle de régulation thermique en atténuant les écarts quotidiens de températures (Rey et al., 2004) mais l'influence de ces écarts thermiques est très limitée en Polynésie.

Les facteurs permanents indépendants de la végétation (en orange dans l'Illustration 17) seront notamment la densité des discontinuités ainsi que la structure du massif rocheux.

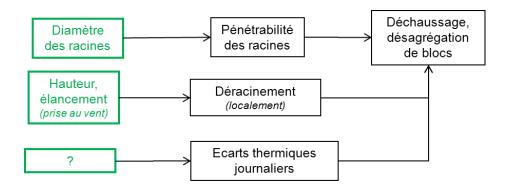


Illustration 19 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la désagrégation de blocs.

b). Caractéristiques de cisaillement de l'horizon instable (Illustration 20)

Il est communément admis que la présence de racines augmente la résistance au cisaillement des sols mais les moyens d'en tenir compte sont discutés. De nombreux auteurs introduisent une cohésion artificielle supplémentaire dans le critère de rupture de Coulomb, qui a cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte de l'hétérogénéité des systèmes racinaires à l'échelle d'un versant. 2 kPa à 20 kPa est une plage de valeur possible pour cette cohésion supplémentaire (O'Loughlon and Ziemer (1982).

Si de nombreux facteurs interviennent sur ce renforcement mécanique, la résistance à la traction des racines est largement sollicitée : de façon simplifiée, en supposant que les racines sont perpendiculaires à la surface de glissement, les racines sont principalement mobilisées en traction. Cependant, Genet *et al.* (2010) suggère que la distribution des racines dans le sol a plus d'influence sur le facteur de sécurité que sur la résistance à la traction.

Une des premières relations quantitatives a été introduite par Wu et al. (1979), permettant d'obtenir une estimation de cette cohésion additionnelle, à partir de la résistance à la traction des racines et de leur répartition dans le sol. Une amélioration de ce modèle, qui surestimait l'effet stabilisant de la végétation, a été proposée

récemment par Pollen and Simon (2005). Cependant, ces approches ne s'appliquent finalement qu'aux racines les plus fines, peu rigides en flexion et ne tiennent pas spécifiquement compte des racines structurantes, qui apportent également une meilleure résistance au cisaillement.

Une liste de valeur de résistance à la traction de plus de 67 espèces est donnée par Stokes *et al.* (2008) tandis que Genet *et al.* (2008) propose une équation qui relie la résistance à la traction inversement au diamètre des racines (relation de puissance). Cette valeur peut varier entre 20 et 730 MPa pour des racines dont le diamètre varie de 0.15–4.5 mm (Bischetti *et al.* 2005). Pour une même quantité de biomasse, plusieurs racines fines améliorent plus la résistance au cisaillement que moins de racines plus épaisses. Les racines fines jouent un rôle déterminant dans le renforcement.

Pour plus de détail sur l'influence de ces paramètres sur la stabilité des sols, se reporter à Stokes *et al.* (2009).

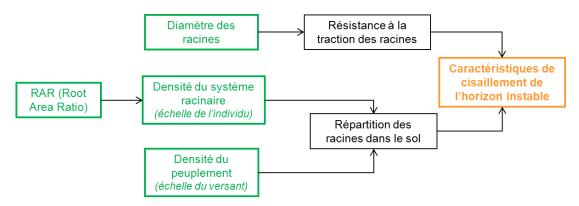


Illustration 20 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer les caractéristiques de cisaillement de l'horizon instable.

c). Caractéristiques mécaniques de l'interface : ancrage ou fragilisation ? (Illustration 22)

En parallèle du renforcement latéral, il est souvent évoqué que les racines augmentent l'ancrage mécanique des terrains. La profondeur des racines déterminera alors l'épaisseur sur laquelle le terrain pourra être renforcé.

À ce sujet, Schenk and Jackson (2002) ont constitué une base de données renseignant la profondeur des racines de 1300 espèces, dans des climats arides à semi-humide. La nature des sols s'avère jouer un rôle déterminant sur la profondeur des racines. Pour un ordre de grandeur, il a été mis en évidence que certaines racines se limitent à une profondeur de 2 m environ dans des sols épais tandis qu'elles peuvent s'approfondir jusqu'à 8 m dans des sols peu épais. Une des explications avancée est qu'en absence de sol, les racines vont se développer dans le substratum à la faveur de la fracturation. Notons que la profondeur de certaines espèces comme

l'eucalyptus, peut atteindre jusqu'à 60 m dans certaines formations spécifiques (Stone et Kalisz, 1991).

Cependant, cette intrusion mécanique peut également fragiliser une interface existante. Cette configuration est particulièrement vérifiée quand les racines se développent latéralement, qu'elles soient naturellement traçantes ou pivotantes mais contraintes par la compacité du terrain à se diriger latéralement, le long d'une surface stratigraphique par exemple (Danjon *et al.*, 2005). Riallant (1999) avait évoqué en Polynésie, des racines pivotantes qui, ne pouvant pénétrer le mamu, se développaient latéralement, dans l'interface entre les altérites et le sol arable, créant ainsi une surface de faiblesse. La même chose est susceptible d'arriver à chaque contraste de compacité.

C'est surtout le diamètre de la racine qui détermine cette faculté à s'ancrer. Plus une racine est épaisse, plus elle est rigide en flexion, plus elle pourra pénétrer et jouer le rôle d'un « clou » renforçant le sol à l'image d'un ancrage (Clark et al., 2008).

Une des typologies usuelles de l'architecture racinaire est donnée par Köstler et al (1968) et schématisée en Illustration 21 :

- pivotant (taproot) : prédominance du pivot primaire ;
- traçant (creeping, running) : dominance des racines charpentières (racines ligneuses horizontales ou légèrement obliques) ;
- fasciculé (fasciculate): bouquet de racines obliques issues du colet, racines nombreuses, de longueurs plus ou moins égales, partant d'un même point et formant une touffe.

À ces racines s'ajoutent les racines aériennes (racines axillaires).

Tenant compte de cette typologie classique, les systèmes pivotants semblent ainsi plus adaptés à jouer ce rôle d'ancrage.

Les facteurs permanents spécifiques au versant qui interviendront ensuite sur la capacité de la végétation à s'ancrer ou pas dans le substratum, sont typiquement la compacité/pénétrabilité du substratum traversé.

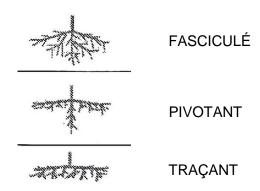


Illustration 21 : Les trois différents systèmes racinaires. Source : Kokutse et al. (2006) [modifié].

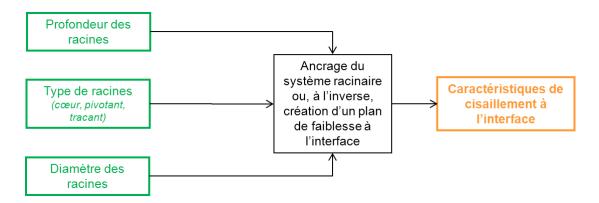


Illustration 22 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer les caractéristiques de cisaillement à l'interface.

d). Augmentation de la succion (Illustration 23)

En terrain non saturé, l'évaporation naturelle, accentuée par l'action des racines qui soutirent l'eau du sol, se traduit par l'apparition de pressions interstitielles négatives, appelée phénomène de succion.

La succion est une grandeur négative qui exprime la pression de l'eau par rapport à la pression atmosphérique, mesurée en hauteur d'eau. Elle est le paramètre le plus important du comportement hydraulique et mécanique des sols non saturés.

La distance latérale et verticale de l'influence d'un réseau racinaire dépend de chaque essence. Dans l'évaluation de l'aléa retrait-gonflement, on considère que l'influence d'un arbre adulte se fait sentir jusqu'à une distance égale à sa hauteur à maturité. Dans la littérature, pour de nombreuses espèces, l'influence maximale observée est considéré comprise entre 1 et 1,5 fois la hauteur de l'arbre. Contrairement au processus d'évaporation du sol nu, qui affecte surtout la tranche superficielle (deux premier mètres), les racines d'arbres ont une influence jusqu'à 4 à 5 m de profondeur, voire davantage (Vincent M *et al.*, 2006).

Ce phénomène de succion augmente ainsi les contraintes effectives dans la tranche de sol non saturée et raffermit ainsi les pentes vis à vis des glissements superficiels. Cette quantité d'eau soutirée peut être quantifiée par la longueur de racines existantes par unité de volume ou de surface (ratio appelé Root length density- RLD) (Stokes *et al.*, 2009).

L'influence de la végétation, via cette modification de succion, est donc variable dans l'année et dépend de l'état de saturation des sols. Dans les régions tempérées, les glissements superficiels ont plutôt lieu dans des sols saturés quand l'évapotranspiration est faible et où la présence de végétation n'aura pas d'effet significatif. Cette influence devient plus significative dans des milieux tropicaux (Stokes et al., 2009), comme la Polynésie où l'évapotranspiration est importante toute l'année.

Des mesures de succion dans le sol réalisées en février 1971 par le BRGM ont montré qu'au voisinage des arbres, la dessiccation est significative jusqu'à plus de 3 m de profondeur : ainsi, à 2 m de profondeur, la succion mesurée est de l'ordre de -1 à -1,2 MPa au niveau des arbres tandis qu'elle n'est que de -0,3 MPa à une vingtaine de mètres de distance (Vincent *et al.* (2006)).

Pour avoir un autre ordre de grandeur, on peut se reporter à Richards *et al.* (1931), qui a comparé des profils de succion à proximité de végétation et en l'absence de végétation. Parmi les résultats obtenus, on peut noter les fortes succions enregistrées à proximité d'un eucalyptus : entre -2 et -3,5 MPa sur les deux premiers mètres de profondeur, et entre -1,5 et -2,5 MPa entre 2 et 5 m de profondeur, alors que les valeurs de succion en l'absence d'arbre et de sécheresse ne dépassent pas -0,5 MPa.

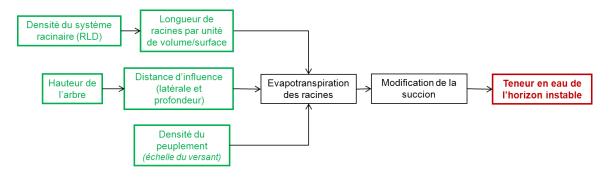


Illustration 23 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la teneur en eau dans l'horizon instable

Notons que peu d'études évaluent conjointement l'influence que peut avoir la végétation sur le renforcement mécanique d'une part et sur la teneur en eau des sols d'autre part. Citons cependant, *Schwartz et al.* (2010) qui ont montré que le renforcement de la stabilité était assurée majoritairement par la succion pour de faible déformation (de l'ordre de quelques millimètres), puis majoritairement par le renforcement mécanique racinaire (cohésion additionnelle) pour des déformations de l'ordre de quelques centimètres.

e). Sensibilité du sol au détachement de particules

Sous l'influence des facteurs climatiques et biotiques, le sol se crée d'une part par l'altération de la roche mère et d'autre part par l'action des végétaux et de la faune enfouie.

La stabilité structurale (ou stabilité des agrégats) est une propriété physique des sols, représentative de leur sensibilité au ruissellement et à l'érosion (Barthès and Roose,

2002). Cette propriété serait liée d'une part à la quantité de carbone organique du sol et d'autre part, au ratio RLD (Root lenght density)⁴ à la faveur des racines les plus fines (Fattet *et al.*, 2011). Ceci justifie que les couverts en sous-bois (herbacés notamment) puissent être plus bénéfiques vis-à-vis de l'érosion, que les couverts forestiers. L'importance de la présence d'une couverture de sous-bois (*understory species – sous-étage*) a bien été soulignée par Fattet *et al.* (2011).

Notons à cette occasion que cette sensibilité à l'érosion donnée par la stabilité structurale serait corrélée à la résistance au cisaillement des sols, via la cohésion de cette frange de sol (Fattet *et al.*, 2011).

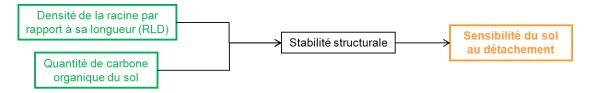


Illustration 24 : Caractéristiques de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la sensibilité du sol au détachement de particules.

f). Sensibilité de la surface vis-à-vis des agents érosifs (Illustration 25)

L'Illustration 25 schématise plusieurs des effets que peut avoir la végétation sur les agents érosifs.

_

⁴ densité de la racine par rapport à sa longueur

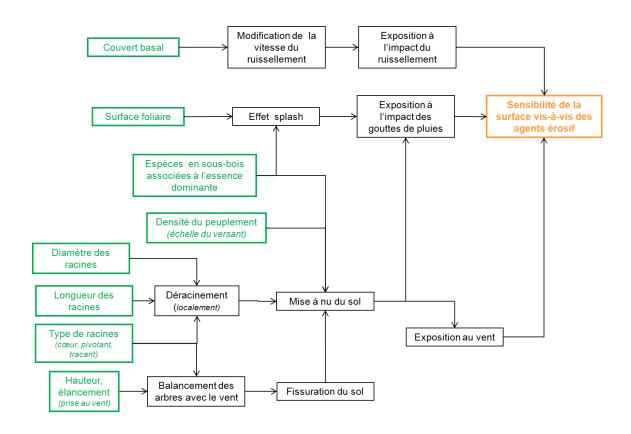


Illustration 25 : Caractéristique de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer la sensibilité de la surface aux agents érosifs.

Impact mécanique de la pluviométrie

Les feuilles et branches ralentissent l'impact des gouttes de pluies particulièrement violentes en milieu tropical (Riallant, 1999). En effet, en interceptant les gouttes de pluies, le couvert végétal permet de diminuer l'énergie cinétique des précipitations et de réduire l'effet splash (impact mécanique des gouttes sur l'érosion) (Geddes, 1999). Cette capacité est fonction notamment de la surface foliaire

Si cet effet positif est vérifié pour les couverts herbacés et arbustifs, les arbres pourraient avoir l'effet inverse, en concentrant les gouttes et augmentant ensuite leur impact au sol.

Modification de la vitesse de ruissellement

En faisant obstacle à l'écoulement, la végétation limite la vitesse des eaux et donc l'effet de l'écoulement des eaux comme agents érosifs. Cependant, dans des contextes de fortes pentes, on peut s'attendre également à l'effet inverse, une accélération des écoulements à proximité des obstacles, conduisant à un affouillement préférentiel.

La diminution de vitesse pourrait favoriser la quantité d'eau infiltrée au détriment de la part ruisselée, cependant cette hypothèse n'est pas vérifiée.

Mise à nu des sols

La mise à nu des sols expose directement la surface aux agents érosifs (eau, vent).

Chaque unité de végétation est caractérisée par une essence (généralement forestière) dominante, associée (ou pas) à des espèces en sous-bois. Ces dernières interviennent dans la protection du sol. L'existence de sous-bois dépend essentiellement de la densité et de la canopée de la strate arborée, qui peut entraîner un déficit de luminosité au sol par exemple, voire une couverture végétale défavorable (accumulation de feuille, épine acide...). L'Unité de végétation reconnue comme particulièrement sujette à cette érosion est le Miconia (*Miconia calvescens*), qui peut entraîner la création d'incisions jusqu'à 2 m de profondeur.

Localement, le déracinement des arbres et la fissuration des sols freinent le développement d'un couvert de protection. L'effet de levier est aggravé par la hauteur et l'élancement de l'arbre. La résistance au déracinement (glissement à l'interface solracine) est souvent reliée au diamètre de la racine et à sa longueur (Stokes et al., 2009), mais également à sa résistance en traction. Les systèmes racinaires à cœur et pivotant sont les plus résistants au déracinement, au détriment des systèmes traçants (Dupuy et al. 2005; Norris et al. 2008). Il est en effet connu que le Falcata (Falcataria moluccana), qui a un système de racine traçant, est particulièrement vulnérable lors des cyclones.

g). Augmentation de l'infiltration : une hypothèse difficilement confirmée à l'échelle du versant

La présence de végétation créée des drains préférentiels qui facilitent l'infiltration verticale et peuvent, lors de forte pluviométrie, participer à l'augmentation de pression interstitielle au contact sol/substratum ou dans les discontinuités existantes (Sidle and Ochiai, 2006). Localement, un arbre déraciné créé une dépression qui recueille préférentiellement les eaux de ruissellement, augmentant les infiltrations (Riallant, 1999).

Cependant, restons prudent à l'échelle d'un versant : il n'est pas prouvé que le couvert végétal augmente globalement l'apport d'eau vers la profondeur, ni qu'il ait un rôle sur les bilans d'infiltration/écoulement au niveau d'un bassin versant. Si en milieu rocheux, les modifications mécaniques et géométriques induites par les racines peuvent modifier la perméabilité de la formation rocheuse, comme en témoigne en carrière les infiltrations au droit de végétation, dans un sol la modification de la perméabilité est probablement plus localisée, diffuse et restreinte au système racinaire.

h). Poids des terrains sur la stabilité à l'échelle du versant

D'après le Guide des Sylvicultures de Montagne (CEMAGREF, ONF), « la masse végétale d'une forêt ne correspondrait cependant qu'à une épaisseur de litière de 5 cm

et serait donc négligeable ». Hormis cette affirmation, nous disposons de peu d'information quantitative sur le poids supplémentaire induit par la végétation à l'échelle d'un versant.

Peu d'auteurs testant l'effet de la végétation sur la stabilité des terrains, n'introduisent le poids de la végétation. Dans tous les cas, l'influence de ce poids ne peut être évaluée seule puisque l'influence stabilisatrice et compensatrice des racines est largement admise et ne peut être omise en parallèle.

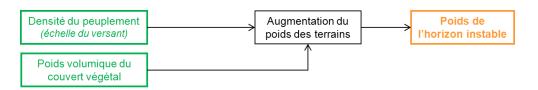


Illustration 26 : Caractéristique de la végétation (en vert) susceptibles d'influencer le poids de l'horizon instable.

3.4. SYNTHÈSE SUR L'INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION SUR LE DÉCLENCHEMENT DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

3.4.1. Concernant les glissements

L'influence de la végétation sur les glissements profonds reste très limitée. Cette influence existe pour les glissements superficiels mais reste difficile à appréhender.

En effet, la stabilité d'un versant est basée sur l'équilibre entre les forces motrices et les forces résistantes. En augmentant le poids des terrains, la végétation augmente le moment moteur d'un glissement et donc diminue le facteur de sécurité. Cependant, en parallèle, le système racinaire aura tendance à augmenter les caractéristiques de cisaillement et à augmenter le moment résistant.

Le tableau ci-dessous précise comment la végétation (système racinaire et aérien) agit sur les facteurs régissant la stabilité des pentes.

	Augmente la force résistante	Augmente la force motrice	Stade des connaissances
Cohésion effective	Х	-	Très documenté (ancrage mécanique, cohésion additionnelle, succion)
Angle de frottement	-	-	Pas de lien a priori
Poids		Х	Peu documenté

Illustration 27 : Synthèse des effets de la végétation sur les paramètres régissant la stabilité.

L'effet relatif de l'augmentation de la force résistante par rapport à celle de la force motrice est rarement explicitement évoqué. La plupart des études se focalisent sur l'effet renforçant du système racinaire sur la stabilité des pentes.

Quelques études permettent néanmoins de comparer ces deux effets antagonistes de la végétation.

À l'échelle d'un versant, tenant compte du poids de la végétation et du renforcement lié au système racinaire, la stabilité serait améliorée par la présence de la végétation quand celle-ci est localisée en pied de pente (Greenwood et al., (2004), Genet et al. (2010), Ji et al. (2012)) et aurait tendance à être amoindrie quand la végétation est située en tête de pente (Norris et al. (2008), Genet et al. (2010). L'effet déstabilisant du poids de la végétation prendrait le pas sur celui stabilisateur du système racinaire. Ceci correspondrait à la surcharge mécanique en tête de pente, qui augmente la prédisposition au mouvement de terrain.

Par ailleurs, l'effet bénéfique de la végétation serait significatif sur la stabilité des versants jusqu'à une certaine surface de glissement (1000 m²) (Schwartz et al. (2010), ce qui fixe un seuil au-delà duquel le moment moteur (poids des terrains et poids de la végétation) dépasse le moment résistant. La part du poids de la végétation sur celui des terrains dans la surcharge, reste à préciser.

3.4.2. Concernant les chutes de blocs

Contrairement au phénomène de glissement, pour lequel l'effet de la végétation est toujours discutable, la végétation joue un rôle plus net sur les chutes de blocs, que cela soit en intervenant sur le départ des blocs ou en intervenant sur leur distance de propagation, une fois que le bloc s'est détaché.

En effet, la végétation peut déclencher le départ des blocs en déchaussant un bloc déjà isolé ou en participant avec ces racines, à fragmenter/déstructurer une roche et à produire ainsi de nouveaux blocs.

Par ailleurs, une fois qu'un bloc s'est détaché, la présence d'un couvert forestier limite systématiquement la distance de propagation. La végétation dès qu'elle constitue un obstacle physique, ne peut donc avoir qu'une influence favorable pour l'arrêt des blocs.

4. Hiéarchisation des Unités de végétation (UV) vis à vis de leur influence sur les glissements de terrain et les chutes de blocs

4.1. LIEN ENTRE LES CARACTÉRISTQUES DES UNITÉS DE VÉGÉTATION ET LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les retours d'expérience où le rôle de la végétation est explicitement mis en évidence sont très limités. La végétation est systématiquement un facteur parmi d'autres, il est toujours délicat de quantifier sa part de responsabilité. Sur de tels sujets naturalistes, l'appréciation de l'expert prend nécessairement une place déterminante.

À partir de l'appréciation qualitative issue des observations de terrain des experts, associée aux caractéristiques géotechniques théoriques, le BRGM a proposé une classification qualitative de chaque unité de végétation recensée vis-à-vis de chaque phénomène redouté (glissement superficiel et chute de bloc). Les principales caractéristiques prises finalement en compte sont synthétisées dans l'Illustration 28. Cette réflexion est décrite dans le présent chapitre et aboutit aux résultats du chapitre 5.

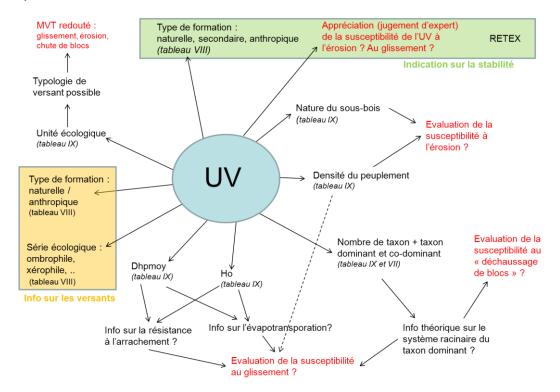


Illustration 28 : Principaux liens théoriques mis en évidence, entre les caractéristiques de l'Unité de Végétation et les mouvements de terrain redoutés.

4.2. GLISSEMENT DE TERRAIN

A partir de la synthèse bibliographique synthétisée dans le chapitre 3, l'influence d'une UV sur le déclenchement d'un glissement de terrain, peut s'apprécier à partir des interrogations suivantes :

- Cet UV augmente-t-il la force motrice : augmentation du poids ? accentuation des discontinuités ? augmentation de la teneur en eau ?
- Cet UV augmente-t-il la force résistante : résistance au cisaillement ? ancrage par les racines ?

4.2.1. Le rôle de l'expertise

L'illustration 17 qui synthétise les facteurs de prédisposition au déclenchement d'un glissement de terrain, témoigne du nombre important de paramètres impliqués. L'analyse bibliographique synthétisée dans le chapitre 3 a surtout mis en évidence la difficulté de trancher sur l'influence de chaque facteur et les effets antagonistes de nombreux facteurs. Citons par exemple :

- l'effet déstabilisant du poids de la végétation versus l'effet stabilisateur du système racinaire ;
- l'effet renforçant de la succion versus l'augmentation des infiltrations ;
- l'ancrage provoqué par l'enracinement pouvant également fragiliser une interface existante.

Ainsi, pour les glissements de terrain plus que pour les chutes de blocs, l'expertise est encore plus discriminante. D'après la connaissance de terrain des forestiers, des glissements de terrain auraient déjà été observés dans certaines unités de végétation :

- dans les forêts de Hibiscus (M32 / S34 / M41), les glissements de terrain observés sont justifiés par un « sol toujours humide et la densité du peuplement ». Le taxon dominant de ces UV est Hibiscus tiliaceus var. tiliaceus, constitué de racines traçantes, aériennes et de drageons;
- dans les forêts mésophiles de Spathodea (S38 / S57), les glissements de terrain observés seraient liés « à la masse importante du peuplement », avec un système racinaire traçant et la présence de drageons pour le taxon dominant Spathodea campanulata ;
- dans les Bambouseraie à Schizostachyum (M35/S47/AG32 cf. Illustration 32), les glissements de terrain observés seraient à relier « aux sols continuellement gorgés d'eau ». Le système racinaire est un rhizome. Les ouvertures de pistes, laissant les rhizomes excavés au bord des talus, ont permis de constater que le rhizome s'enfonce en moyenne de 60 à 80 cm. Ces bambous poussent en touffes compactes, les chaumes étant rapprochés les uns des autres.

Ces retours d'expérience, bien que peu fournis, permettent simplement de confirmer que le poids du peuplement interviendrait et que les UV favorables au glissement n'ont jamais de système racinaire pivotant. Citons cependant les plantations de Pinus (M54 / S71 / AG46, cf. Illustration 31), dont le taxon dominant est *Pinus caribaea var.*

hondurensis. Aucun glissement de terrain n'aurait été observé au sein de ces peuplements pourtant parfois « très denses car non éclaircis depuis leur plantation ». Le système racinaire est capable de s'adapter aux spécificités locales mais est le plus souvent pivotant (Lamb, 1973).

4.2.2. Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur les glissements de terrain

Les facteurs considérés comme discriminants dans cette étude sont ceux évoqués dans la synthèse bibliographique du chapitre 3 et dont l'influence a été confirmée par l'expertise de terrain des forestiers. Il s'agit ici de sélectionner seulement les critères qui font l'objet d'un consensus :

- un système racinaire pivotant augmente la résistance à l'interface et donc les forces résistantes qui s'opposent au déclenchement du glissement (cf. § 3.3.c). La présence d'un système racinaire stabilisateur a donc été prise en compte pour les UV de type Forêts mais également pour les Fourrés puisque la bibliographie a confirmé que leur système racinaire pouvait atteindre des profondeurs importantes compatibles avec le type de glissement considéré (élimination des glissements profonds). Citons l'exemple des taxons *Eugenia uniflora et Leucaena leucocephala* dont le système racinaire pivotant pourrait atteindre jusqu'à 5 m (cf. Illustration 30). L'information sur le système racinaire a l'avantage d'être largement renseignée et de faire l'objet d'un consensus ;
- le poids du peuplement (poids de l'arbre et densité) accentue les forces motrices du versant. Cependant, on ne dispose que rarement de l'information sur la densité du peuplement (sauf à dire d'expert pour la forêt de *Spathodea* (Tulipier S38, S57, S58), les forêts d'*Hibiscus* et les forêts de *Falcataria* (M36, S72, G47).

Les critères pris en compte dans le cadre de cette étude sont synthétisés dans Illustration 29. La crédibilité apportée à la classification proposée est jugée « moyenne ».

Les autres facteurs ne sont pas moins discriminants mais plus délicats et subjectifs à prendre en compte à cette échelle d'étude. L'impact de l'infiltration n'a jamais pu être prouvé et encore moins quantifié. L'érosion des sols n'a pas été considérée comme un facteur aggravant ou favorisant particulièrement les glissements de terrain.

-1 – plutôt déstabilisant	0 - neutre	1 – plutôt stabilisant
Forêts sujettes à glissement de	Autres dont landes	Forêts ou Fourrés dont le
terrain d'après les retours		taxon dominant a un système
d'expérience		racinaire pivotant
Forêts dont le système racinaire		
n'est pas pivotant et dont la masse		
du peuplement est importante		

Illustration 29 : Critères pris en compte pour évaluer l'influence d'une UV sur les glissements de terrain.



Illustration 30 : Fourré dense à Leucaena (AG23).



Illustration 31 : L'exemple du Pinus.



Illustration 32: Bambouseraie à Schizostachyum (M35).

4.3. CHUTE DE BLOCS

La végétation peut intervenir à deux niveaux vis à vis des chutes de blocs : le départ des blocs et la propagation des blocs (cf. schéma de l'Illustration 37).

4.3.1. Test paramétrique avec Rockyfor 3D

Des modélisations ont été lancées avec le logiciel Rockfor^{NET} de l'IRSTEA (ex Cemagref), pour tester l'influence de la végétation sur la propagation des blocs.

Le site test sélectionné est le versant rive gauche de la vallée de la Fautaua (cf. Illustration 35). Une investigation de terrain a été conduite en mai 2012 de manière à décrire le couvert végétal de ce versant. Des placettes d'échantillonnage de 450 m² ont été réalisées pour décrire la répartition et la densité du peuplement actuel (cf. Illustration 34). Sur chaque placette, les caractéristiques d'une quinzaine d'arbres ont ainsi été mesurées (circonférence, DBH Diameter at breast height...).

Altitude	175 m	130 m
Latitude	-17,560001°	-17,559716°
Longitude	-149,542379°	-149,541792°
Pente	48°	40°
Couvert végétal	70 % Adenanthera pavonina (Cardinale), 20 % Spathodea (Tulipier) 10 % Albizzia Lebbek + 1 Cecropia (bois canon)	15 % Adenanthera pavonina 80 % Spathodea (Tulipier), 5 % Cecropia (bois canon)
Surface terrière	18 m²/ha	29 m²/ha

Illustration 33 : Types de caractéristiques relevées sur le terrain (450 m²).



Illustration 34: Investigation de terrain sur le site test dans la Fautaua.

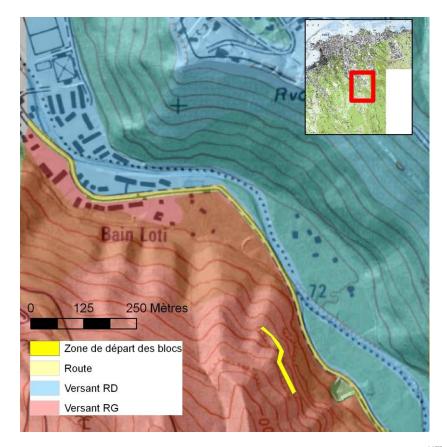


Illustration 35 : Localisation du versant modélisé dans le logiciel Rockfor^{NET}.

Les simulations ont donc été faites sur le versant de la Fautaua dont les caractéristiques topographiques sont décrites en Illustration 33. La zone de départ (en jaune dans l'Illustration 35) correspond à une barre rocheuse affleurante, située à mipente. Plusieurs couvertures au sol ont été distinguées (les versants naturels et l'asphalte de la route), chacune caractérisée par une densité d'arbres et par des paramètres spécifiques à la propagation (rugosité et coefficient de restitution).

Comme le logiciel est paramétré pour deux types d'arbres (feuillus et conifères), les résultats ont été extrapolés ensuite aux arbres « polynésiens ». En effet, contrairement aux conifères, les feuillus sont réputés pour être très efficace pour limiter la propagation. Or, d'après les données disponibles dans la littérature, l'Aito (Casuarina equisetifolia var. equisetifolia) serait encore plus efficace que les feuillus tandis que le tulipier (Spathodea campanulata) et le bois canon (Cecropia peltata) auraient des caractéristiques nettement inférieures aux conifères.

Deux types de blocs ont été testés : des blocs de 1 tonne (diamètre de 90 cm), lourds mais susceptibles de moins rebondir et des blocs de 120 kg (diamètre de 45 cm), beaucoup plus légers.

Une fois que tous les paramètres ont été rentrés, la chute de 456 000 blocs a été simulée.

Pour chaque simulation, les résultats cartographiques ont été mesurés en nombre de blocs arrêtés par pixels et ont systématiquement été comparés avec les résultats de la simulation sans végétation (cf. résultats en Illustration 36). On peut ainsi considérer ce nombre de blocs différentiel comme un aléa résiduel probable.

Pour les blocs de 125 kg, une forêt, quelle qu'elle soit, permet d'intercepter 46% de blocs supplémentaires par rapport au terrain nu. L'efficacité du couvert végétal est significative pour ces petits blocs puisqu'il arrête 1 bloc sur deux avant qu'il n'atteigne la route et réduit d'autant l'aléa.

Pour les blocs d'1 tonne, cette efficacité est réduite mais reste intéressante en terme de réduction des risques. Ainsi, une forêt de conifère permettra d'intercepter 18 % de blocs supplémentaires par rapport au terrain nu (cf. Illustration 36). Cette capacité est encore améliorée et portée à 29 % pour une forêt de feuillus, soit 1 bloc sur 3 arrêté par la végétation. La nature du couvert intervient significativement. Ainsi, en comparant les caractéristiques des arbres polynésiens, le rendement devrait être supérieur à 30 % pour le Aito et inférieur à 20 % pour des arbres comme le *Spathodea* (Tulipier) ou le bois canon. Il existe donc un rapport de 1 à 4 de la capacité d'arrêt des arbres selon leur nature.

	Sans végétation	Avec une forêt de conifère	Avec une forêt de feuillus
Dans le versant	38 000	76 400 + 38 000	124 000 + 38 000
En bas	418 000	341 600	294 000
Pourcentage de bloc supplémentaire arrêté par la végétation		18%	29%
Total	456 000	456 000	456 000

Illustration 36 : Résultat des simulations pour des blocs d'une tonne.

En résumé, ceci confirme qu'un couvert forestier diminue le risque de propagations des blocs en pied de versant, mais qu'en aucun cas, il n'élimine ce risque. L'influence du couvert est significative pour les blocs de petite taille, mais reste plus limité pour des blocs les plus volumineux. L'aléa peut être considéré comme réduit d'un tiers.

Par ailleurs, la nature du couvert végétal n'intervient pas pour les petits blocs : s'ils rencontrent un arbre, ils sont dans tous les cas arrêtés, alors que ceci dépend des caractéristiques de l'arbre, pour des blocs plus volumineux : il existerait un rapport de 1 à 4 de la capacité d'arrêt des arbres selon leur nature en Polynésie.

4.3.2. Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur le départ des blocs

L'Illustration 17 synthétise les facteurs de prédisposition au déclenchement d'une chute de blocs.

En résumé, la végétation peut accentuer le départ des blocs en déchaussant un bloc déjà isolé ou en participant à fragmenter/déstructurer la roche et ainsi à produire de nouveaux blocs. L'Illustration 19 synthétise les caractéristiques de la végétation susceptibles d'influencer sur la désagrégation de blocs.

Les questions à se poser sont donc :

- La végétation peut-elle fragmenter la roche ? Favoriser le déchaussement ?
- À l'inverse, la végétation peut-elle empêcher la fragmentation de la roche ? Peutelle empêcher le déchaussement ?

Cependant, les conditions de départ d'un bloc dépendent de la typologie du versant. Deux types de versant doivent être distingués : les falaises (rocheuses par définition) et les versants (non rocheux par opposition) avec la présence possible de blocs isolés (liés au démantèlement d'une barre rocheuse, à des colluvions,...).

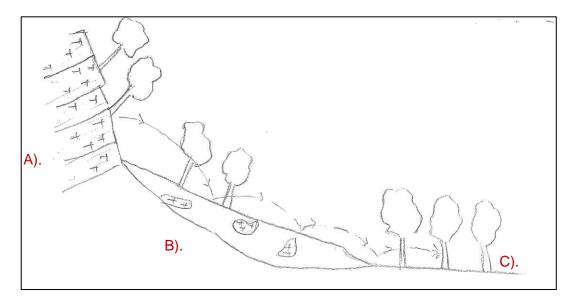


Illustration 37 : Rôle de la vagétation vis-à-vis d'une chute de blocs - Trois configurations type.

Si falaise, barre rocheuse massive (configuration A de l'Illustration 37)

Dans cette configuration topographique, aucune situation n'est favorable. On considère en effet, qu'aucun type de végétation ne peut empêcher le départ d'un bloc en falaise. À l'inverse, on considère que la présence d'un système racinaire quel qu'il soit, est systématiquement déstabilisante pour une falaise rocheuse puisque il aura toujours tendance à favoriser autant la fragmentation que le déchaussement.

L'information permettant de statuer ici est l'Unité Écologique. Nous nous référerons à l'information renseignée par Jacq et Butaud (2013a, b et c), pour identifier les UV concernés par cet habitat particulier : falaise, versant rocheux... Les critères pris en compte dans le cadre de cette étude sont donc synthétisés en Illustration 38.

La crédibilité apportée à cette classification est forte.

-1 – plutôt déstabilisant	0 - neutre	1 – plutôt stabilisant
Tous les arbres ou	Landes, Herbacé	-
arbustes (<i>Forêt, Fourré</i>),		
et certaines Fruticée,		
Bambouseraie (pas de		
racine mais rhizome		
potentiellement profond)		

Illustration 38 : Critères pris en compte pour évaluer l'infuence d'une UV sur le départ de blocs en falaise.

Si versant, essentiellement bloc isolé présent dans un versant non rocheux (configuration B de l'Illustration 37)

En versant, les blocs sont essentiellement isolés, en provenance de falaises éloignées ou de barres rocheuses plus proches.

La principale situation à redouter est donc le déchaussage de bloc. Celui-ci est favorisé dans des sols décapés, où le ruissellement des eaux incise les terrains.

Les sols sont décapés notamment quand ils ne sont pas protégés par un sous-bois. L'existence de sous-bois, caractéristique de chaque UV dépend essentiellement de la densité et de la canopée de la strate arborée, qui peut entraîner un déficit de luminosité au sol par exemple, voire une couverture végétale défavorable (accumulation de feuille, épine acide...). L'existence d'un sous-bois est souvent précisée par Jacq et Butaud (2013a, b et c). L'UV la plus connue et sujette à cette érosion est le Miconia (cf. Illustration 40), qui peut entraîner la création d'incisions jusqu'à 2 m de profondeur, qui peuvent aller jusqu'à entraîner le déchaussage du Miconia lui-même.

Les couverts de landes sont assimilés à un sous-bois, donc comme limitant l'érosion. Rappelons qu'une lande est définie comme une formation végétale dense, constituée principalement d'arbrisseaux.

Dans un versant non rocheux, contrairement à une falaise, un système racinaire pourrait être capable de piéger des blocs isolés et de les contenir, sous réserve que ces racines ne soient pas soumises à l'érosion et au déracinement. Cependant, l'effet de ces racines reste trop délicat pour être évalué et donc pris en compte ici.

Les systèmes de racine peu profonds ainsi que l'élancement des arbres les rendent vulnérables au déracinement sous l'effet du vent (cf. § 3.3.a), ce qui dénude les sols et accentue l'impact du ruissellement. Le Falcata (taxon *Falcataria molucana*) est connu pour y être particulièrement sensibles (cf. Illustration 41). Les chablis⁵ et les volis⁶ de Falcata et de Spathodea sont très fréquents. En effet, sa taille notamment (H0 = 15 à 25 m) lui confère une bonne prise au vent.

Les critères pris en compte finalement sont synthétisés en Illustration 39. La crédibilité apportée à cette classification est jugée « forte ».

-1 – plutôt favorisant le départ de blocs	0 - neutre	1 – plutôt stabilisant
Les UV sujets à l'érosion	Autres	Les UV dont le sous-bois
et les UV où le taxon		est développé surtout si le
dominant est sujet au		système racinaire du
déracinement		taxon dominant n'est pas
Exemple type Falcata		traçant
		Lande

Illustration 39 : Critères pris en compte pour évaluer l'infuence sur le départ de blocs en versant.



Illustration 40 : Forêt de Miconia (S64).

⁵ Chablis : arbre renversé par les vents.

⁶ Volis : partie d'un arbre cassé par le vent et tombée à terre



Illustration 41 : Pied isolé de Falcata (M36).

4.3.3. Les critères pris en compte pour évaluer l'influence de la végétation sur la propagation des blocs (configuration C de l'Illustration 37)

Pouvoir arrêter un bloc est indépendant de la typologie du versant.

Comme l'ont montré les simulations de trajectographie décrites au § 4.3.1, la présence d'un couvert forestier limite systématiquement la distance de propagation puisque elle constitue un obstacle au passage du bloc. <u>La végétation dès qu'elle constitue un obstacle physique, ne peut donc avoir qu'une influence favorable pour l'arrêt des blocs.</u> Ceci vaut donc pour tous les arbres, quel qu'ils soient (et quelques rares fourrés spécifiques). Évoquons cependant les rares cas où la trajectoire du bloc pourrait être déviée et accélérée par l'arbre.

Les simulations de trajectographie décrites au § 4.3.1 ont également confirmé que pour les blocs les plus volumineux, les couverts végétaux sont plus ou moins efficaces, notamment selon la densité du couvert végétal et le diamètre de l'étage dominant. Ainsi, il existerait un rapport de 1 à 4 de la capacité d'arrêt des arbres selon leur nature en Polynésie.

Parmi l'ensemble des Unités de végétation de type Forêt, certaines ont été jugées comme étant plus efficaces pour limiter la propagation des blocs. Ce jugement, délicat à établir à cette échelle, s'est basé sur la connaissance de terrain d'une part et sur la densité du couvert végétal (information souvent disponible dans la base de donnée) d'autre part. Cette information a été comparée au diamètre des arbres, quand cette information est disponible, voire à sa longévité, pour apprécier au mieux la probabilité

qu'un bloc atteigne un obstacle (en termes d'emprise surfacique de l'obstacle) et la probabilité que l'arbre soit suffisamment résistant pour l'arrêter.

Citons quelques exemples:

- l'Aito (Casuarina equisetifolia var. equisetifolia) est un arbre au bois « très durable et dense », présent sur tous les archipels, dont le diamètre Dhpmoy serait de 27 cm aux Marquises (M24) ;
- le Syzygium cumini est un arbre longévif qui se présente sous forme d'une strate arborescente très dense (cf. Illustration 43). Aux Marquises, le diamètre serait d'environ 27 cm ;
- en effet, la forêt méso- à hygrophile de *Hibiscus tiliaceus* var. *tiliaceus* est qualifiée de « très dense » mais le diamètre moyen Dhpmoy est limité à 16 cm.

Les critères pris en compte finalement sont synthétisés en Illustration 39. La crédibilité apportée à ces critères est jugée « moyenne », de par la subjectivité de l'interprétation.

0 – neutre	1 – plutôt efficace	2 – très efficace
Landes, herbacé	Toutes les Forêts	Certaines Forêts, dont la densité
	sauf celles classées en	du couvert est importante Exemple type Aito (Casuarina),
	« 2 – très efficace »	Syzygium cumini

Illustration 42 : Critères pris en compte pour évaluer l'influence d'une UV sur l'arrêt des blocs.



Illustration 43 : Forêt de Syzygium cumini (AG30) qualifié d'efficace à l'arrêt des blocs. Notons le diamètre limité apparent d'après la photo.

5. Présentation des résultats

5.1. HIÉRARCHISATION DES UV

Le résultat obtenu est disponible sous forme de tableau (Annexe 4 à Annexe 7), classant les UV vis-à-vis de chaque mouvement de terrain, tout en précisant celles qui menacent la biodiversité.

5.1.1. Parmi les 190 UV, sélection des UV concernées par les mouvements de terrain

Certaines UV colonisent des milieux non concernés par des mouvements de terrain, (exemple des UV de bordure littorale ou des plages sableuses). Elles n'ont donc pas été intégrées à l'étude. Cependant, sur ces milieux non sensibles aux mouvements de terrain, les forêts peuvent avoir un rôle de protection significatif vis-à-vis de la propagation des blocs. Ces UV spécifiques ont donc été conservées.

Ainsi, parmi les 190 UV existantes en Polynésie française, 50 ne sont pas du tout concernées par les mouvements de terrain et 21, colonisant les pieds de versant, ne sont concernées que par le phénomène de propagation de blocs.

5.1.2. Glissement de terrain

La hiérarchisation des UV quant à leur influence sur le déclenchement de glissements de terrain, est disponible en Annexe 4. L'Illustration 44 synthétise les résultats obtenus :

- seules 17 UV sont considérées comme plutôt déstabilisatrices, soit 14 % du total. Il s'agit surtout d'UV connues comme sujettes à glissements de terrain d'après les retours d'expérience, constat qui a été étendu à tous les archipels. Vu la complexité des interactions entre facteurs, il y a peu de critères théoriques qui permettent à eux-seuls de considérer des UV comme défavorables;
- les 58 UV neutres comprennent les UV qui n'influencent réellement pas la tenue des terrains (notamment les Landes, Herbacés..) mais cette catégorie regroupe également les UV pour lesquelles nous ne disposons pas d'information nous permettant de trancher;
- 44 UV, soit 37 % du total, sont considérées comme limitant plutôt les glissements de terrain. Rappelons qu'il s'agit des Forêts ou Fourrés dont le taxon dominant a un système de racines pivotantes, sous l'hypothèse que ces racines jouent le rôle d' ancrage.

Pour les glissements de terrain, rappelons que ce classement ne tient pas compte du type de versant. Le type de sol doit intervenir dans un second temps pour moduler la

classification proposée, puisque par exemple, il faut que les racines pivotantes puissent être assez longues pour atteindre le substratum.

	Bambouseraie	Cocoteraie	Forêt	Fourré	Autres	Total
plutôt déstabilisant (-1)	3		14			17
neutre (0)		4	19	12	23	58
					20	
plutôt stabilisant (1)			34	10		44
Total	3	4	67	22	23	119

Illustration 44 : Répartition des UV selon leur influence vis à vis du déclenchement des glissements de terrain.

5.1.3. Chute de blocs

Le départ et la propagation d'un bloc sont indépendants et doivent être traitées comme tel : c'est le type de versant qui détermine si l'on considère l'un ou l'autre de ces phénomène.

Départ des blocs

La classification des UV quant à leur influence sur le départ des blocs est disponible en Annexe 5 et Annexe 6. L'Illustration 44 synthétise les résultats obtenus :

- 26 UV sont considérées comme favorisant le départ des blocs en versant. Il s'agit surtout des UV sujets à l'érosion ou au déracinement ;
- 51 UV (43 % du total) n'ont pas d'effet sur le départ des blocs ou leurs effets ne sont pas connus ;
- 42 UV soit 35 % du total, sont considérées comme limitant plutôt le départ des blocs, dans les versants. Il s'agit essentiellement des UV dont le sous-bois est développé. Parmi celles-là, 5 peuvent cependant s'installer en falaise et à ce titre, favoriser le déchaussement de blocs dans ces configurations particulières.

Arrêt des blocs

La classification des UV quant à leur influence sur la propagation des blocs, est disponible en Annexe 7.

L'Illustration 46 présente les résultats obtenus quant à l'influence des UV sur la propagation des blocs, une fois que la chute a été amorcée. Le tableau distingue les UV en versant qui peuvent également être concernées par le départ des blocs, des UV en pied de versant ou en bordure littorale, seulement concerné par la propagation des blocs.

22 UV sont considérées comme plus favorables que les autres pour limiter la propagation des blocs. Cependant, un obstacle permet toujours de limiter la propagation ; aucune UV n'a de rôle négatif. Ce facteur reste moins discriminant que les autres à ce titre.

		En falaise		
		plutôt favorisant le départ des blocs	Non concerné	Total
sant	favorisant le départ des blocs (-1)	9	17	26
En versant	neutre (0)	9	42	51
Ш	plutôt stabilisant (1)	5	37	42
	Total	23	96	119

Illustration 45 : Répartition des UV selon leur influence vis à vis du départ de blocs.

	UV seulement concernée par la propagation	UV également concernée par le départ des blocs	Total
Neutre (0)	1	45	46
Plutôt efficace pour limiter la propagation (1)	17	55	72
Très efficace pour limiter la propagation (2)	3	19	22
Total	21	119	140

Illustration 46 : Répartition des UV selon leur influence vis à vis de la propagation des blocs.

5.2. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Agglomérer tous ces résultats n'a pas de sens. Les coefficients attribués n'ont pas de sens physique (excepté leur valeur positive ou négative) et ne respectent pas une hiérarchisation numérique. Ils servent juste à comprendre si l'influence est positive ou négative.

Dans tous les cas, l'information la plus précieuse réside dans détail de l'appréciation qui donne des précisions sur la qualité du couvert végétal, selon le phénomène redouté. La base de données rassemblant toutes ces informations, est disponible en Annexe 3. Cependant, certains résultats intéressants ressortent.

Ainsi, au total, 15 UV (sur les 190 existantes) sont plutôt stabilisatrices vis-à-vis de tous les phénomènes redoutés (cf. Illustration 47). Il est intéressant de noter que, parmi celles-là, aucune n'est considérée comme menaçant la biodiversité.

MARQUISES	SOCIÉTÉ	AUSTRALES-GAMBIER
M23 Forêt mésophile rivulaire de Thespesia	S15 Forêt supralittorale à Thespesia sur éboulis	AG40 Forêt hygrophile d'altitude à Metrosideros-Cyathea
M40 Forêt méso- à hygrophile de Metrosideros	S32 Forêt semi-xérophile à Sapindus (sur éboulis)	AG46 Plantation de Pinus caribaea
M53 Plantations d'essences d'ébénisterie	S35 Forêt mésophile à Serianthes-Hibiscus (sauf en falaise)	
M54 Plantations de Pinus	S37 Forêt mésophile à Metrosideros-Fagraea (sauf en falaise)	
	S41 Forêt méso- à hygrophile de Rhus-Hibiscus	
	S53 Forêt hygrophile à Neonauclea-Angiopteris	
	S60 Forêt hygrophile à Neonauclea-Crossostylis	
	S71 Plantation de Pinus caribaea	
	S74 Plantations d'essences d'ébénisterie	

Illustration 47 : Unités de végétation stabilisatrices vis và vis de tous les phénomènes redoutés (glissement de terrain, départ de bloc, arrêt de blocs).

À l'inverse, 10 UV sont déstabilisatrices vis-à-vis de tout type de mouvement de terrain (cf. Illustration 48). Parmi celles-là, plus de la moitié est classée comme menaçant la biodiversité.

MARQUISES	SOCIÉTÉ	AUSTRALES- GAMBIER
M32 Forêt méso- à hygrophile de Hibiscus tiliaceus	S38 Forêt mésophile de Spathodea*	AG32 Bambouseraie à Schizostachyum
M35 Bambouseraie à Schizostachyum	S47 Bambouseraie à Schizostachyum	AG47 Plantations et forêts de Falcataria*
M36 Forêt (ou bosquet) de Falcataria*	S57 Forêt à Spathodea- Pandanus*	
	S58 Forêt à Spathodea- Miconia*	
	S72 Plantations et forêts de Falcataria*	

Illustration 48 : Unités de végétation défavorables vis-à-vis de tous les phénomènes redoutés (glissement de terrain, départ de bloc, arrêt de blocs).

*Les espèces qui menacent la biodiversité

Notons également, que certaines UV ont une influence antagoniste entre le glissement de terrain et la chute de blocs. Les UV de type Forêt à *Hibiscus* favorisent les glissements de terrain d'après les retours d'expérience mais limitent le départ de blocs.

5.3. LIMITE DE L'APPROCHE

Les retours d'expérience où le rôle de la végétation est explicitement mis en évidence sont très limités. Il n'est donc pas possible de vérifier statistiquement ces raisonnements théoriques.

La végétation est systématiquement un facteur parmi d'autres, il est donc toujours délicat de quantifier sa part de responsabilité. Sur de tels sujets naturalistes, l'appréciation de l'expert prend nécessairement une place déterminante. Cela entraine une part significative de subjectivité dans les résultats. Par exemple, pour aboutir à cette hiérarchisation, des critères ont été sélectionnés (cf. chapitre 4). L'étude s'est focalisée sur les critères qui bénéficient d'un consensus, tant dans la littérature que d'après les experts, mais les nombreux autres facteurs sont également discriminants mais plus délicats à prendre en compte.

L'échelle de travail ne permet pas de prendre en compte davantage d'information pour apprécier les qualités de tel ou tel couvert végétal, alors que cette connaissance peut exister (notamment en termes de propension à arrêter les blocs).

Pour les glissements de terrain, rappelons que ce classement ne tient pas compte du type de versant. Le type de sol doit intervenir dans un second temps pour moduler la

classification proposée, puisque par exemple, il faut que les racines pivotantes puissent être assez longues pour atteindre le substratum.

Puisque nous ne disposons pas davantage d'information, il a été choisi d'extrapoler certaines caractéristiques d'UV ou constats à d'autres archipels. Ceci reste une hypothèse forte.

6. Conclusions et perspectives

L'objectif de cette étude est d'étudier l'influence de la végétation sur la stabilité des terrains en Polynésie française.

Sur ce sujet délicat, cette étude a eu l'avantage de faire le point et de mettre à la disposition de la communauté polynésienne, une expertise précieuse et un inventaire très opérationnel. Cet exercice permet de distinguer les espèces favorables des nuisibles et donne une vision d'ensemble aux acteurs du développement du territoire, pour apprécier et choisir les espèces à favoriser en toute connaissance de cause. D'autres critères doivent ensuite être pris en compte, indépendamment de la prévention des risques naturels, comme la valeur patrimoniale, économique, écologique...

L'influence de la végétation sur les glissements profonds reste très limitée. Cette influence existe mais n'a pas été prouvée concernant les glissements superficiels. On ne peut actuellement s'en tenir qu'à des retours d'expérience, les explications théoriques étant souvent antagonistes et donc difficilement convaincantes.

A contrario, la végétation joue un rôle certain sur les phénomènes de chutes de blocs, que cela soit en intervenant sur le départ des blocs ou sur la propagation, une fois que le bloc s'est détaché. De manière quantitative, les simulations de trajectographie ont montré que l'aléa pouvait être réduit de moitié pour les blocs de petites tailles mais que cette efficacité était plus réduite pour les blocs plus importants. La fréquence d'occurrence de l'événement peut être réduite, les événements les plus dommageables restent probables.

La végétation joue également un rôle sur les phénomènes d'érosion bien que celle-ci ne soit considérée ici que comme un facteur parmi d'autres, favorisant le déchaussement de bloc par exemple ; en effet, ce phénomène ne peut entraîner, à lui seul, de dommages sur les biens ou les personnes.

Cependant, la végétation n'est pas pérenne et ne peut pas justifier de prise de décision à long terme. Ainsi, la présence d'un couvert végétal adapté ne peut pas justifier d'une modification systématique du niveau de l'aléa, d'autant que les niveaux d'aléa mouvement de terrain ne sont jamais associés à une grandeur quantitative, ne permettant pas de justifier la légitimité d'un déclassement.

En termes de propagation pour les chutes de blocs surtout, le dimensionnement d'ouvrage ne peut tenir compte explicitement de la présence d'un couvert végétal adapté, mais elle se traduira par l'augmentation de la durée de vie de l'ouvrage de protection, qui sera moins fréquemment sollicité.

Cette collaboration entre experts a permis de dégager des axes de recherche et d'applications opérationnelles. Notamment, la nécessité d'accroître absolument la capitalisation et la valorisation des retours d'expérience sur le rôle de la forêt. Cette

étude permet de cibler plus précisément les points sur lesquels se focaliser. Notons également que les études phyto-sociologiques visant à mieux caractériser les forêts polynésiennes sont à encourager ainsi que les cartographies de la végétation sur de nombreuses îles.

Plus théoriquement, il serait très intéressant de renforcer la connaissance sur le lien entre arbres et glissement de terrain. Peut-on considérer le système racinaire pivot comme un bon indicateur de stabilité, comme ce qui a été proposé ici ?

L'étape suivante est de préconiser, pour un versant donné, les UV capables de limiter tel type de mouvement de terrain, en tenant compte des conditions d'acclimatation ainsi que de la dynamique d'évolution d'une espèce par une autre.

Sur une grande partie du territoire, le besoin principal reste sans doute de lutter contre les espèces envahissantes. Cette étude et l'inventaire constitué permettent de proposer les espèces capables de s'adapter aux conditions du versant tout en étant les moins pénalisantes en termes de mouvements de terrain redouté à cet endroit. Pour ce faire, il pourrait être intéressant de détailler l'inventaire en explicitant pour chaque UV les types de versant auxquels ils sont capables de s'adapter.

7. Bibliographie

• Bibliographie concernant la Polynésie

Arrêté n° 1301 CM du 15 novembre 2006 modifiant diverses dispositions du code de l'environnement relatives aux espèces menaçant la biodiversité en Polynésie française

Rapport de présentation des PPR. Document provisoire. Polynésie française

Butaud J.F., Gérard J. Guibal D. (2008) - Guide des arbres de Polynésie française. Bois et Utilisation, Au vent des Iles.

Chassagneux D. (1999) - La prévention des risques naturels en Polynésie française. Phase 2, tâche n° 2. Examen de 15 sites à risque résiduel mouvements de terrain fort à Raiatea et Tahaa : recommandations pour la mise en sécurité. Rapport BRGM R 40619, 2 vol. 94 p., 6 annexes.

Defranoux S. (2010) - Évaluation des ressources forestières de la Polynésie française : Évaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport national. Polynésie française. FRA 2010/072. 2010

Jacq F.A. et Butaud J.F. (2013a) - Inventaire et caractérisation des formations végétales des Marquises en relation aux mouvements de terrain, Polynésie française. Rapport final. BRGM/RP- 62466-FR. p XX, XX illustrations, XX annexes.

Jacq F.A. et Butaud J.F. (2013b) - Inventaire et caractérisation des formations végétales des îles de la Société en relation aux mouvements de terrain, Polynésie française. Rapport final. BRGM/RP- 62467-FR. p XX, XX illustrations, XX annexes.

Jacq F.A. & Butaud J.F. (2013c) - Inventaire et caractérisation des formations végétales des Australes et des Gambier en relation aux mouvements de terrain, Polynésie française. Rapport final. BRGM/RP- 62468-FR. p XX, XX illustrations, XX annexes.

Lemesle E. (1999) - Les mouvements de terrain en Polynésie française. Un aléa présent, des enjeux mal maitrisés. Stage de Master.

Mompelat J.M., Sedan O. et Lembezat C., (2003) - Revue Géologue n° 138, septembre 2003, « Contribution du BRGM à la mise en œuvre par le Territoire de la Polynésie française d'un programme de prévention des risques naturels »

Riallant D. (1999) - Stabilité des sols et gestion forestière : élément de bilan et proposition d'un SIG « Gestion Forestière ». Mémoire de fin d'études. Service du Développement Rural.

Bibliographie générale

Barthès B., Roose E. (2002) - Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several scales. Catena 47, 133-149.

Bischetti GB., Chiaradia EA., Simonato T., Speziali B., Vitali B., Vullo P., Zocco A. (2005) - Root strength and root area of forest species in Lombardy. Plant Soil 278:11–22.

Besson L., Durville J.L., Garry G. et al. (1999) - Les PPR Mouvement de terrain. Guide Méthodologique. Ed. La Documentation française, 67 p.

Bouzillé J.B. (2007) - Gestion des habitats naturels et biodiversité, concepts, méthodes et démarches. Éditions Tec & Doc, Lavoisier, 331 p.

Clark LJ., Price AH., Steele KA., Whalley WR. (2008) - Evidence from near-isogenic lines that root penetration increases with root diameter and bending stiffness in rice. Funct Plant Biol 35:1163–1171.

Danjon F., Fourcaud T., Bert D. (2005) - Root architecture and wind-firmness of mature Pinus pinaster. New Phytol 168:387–400.

Da Lage A. & Métailié F. (coord.). 2005 - Dictionnaire de Biogéographie végétale. CNRS éditions, Bayeux, 579p.

Dupuy L., Fourcaud T., Stokes A. (2005) - A numerical investigation into factors affecting the anchorage of roots in tension. Eur J Soil Sci 56:319–327.

Fattet, M., Fu, Y., Ghestem, M., Ma, W., Foulonneau, M., Nespoulous, J., Le Bissonnais, Y., Stokes, A. (2011) - Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. Catena, 87, 60-69.

Garczynski F. (1976) - Effets des coupes rases forestières sur la stabilité des pentes naturelles (compte-rendu) (1976).- R.F.F. XXVIII-3-1976.

Geddes N., Dunkerley D. (1999) - The influence of organic litter on the erosive effects of raindrops and of gravity drops released from desert shrubs, Catena 36 303–313.

Genet M., Kokutse N.K., Stokes A., Fourcaud T., Cai X., Ji J., Mickovski S.B. (2008) - Root reinforcement in plantations of Cryptomeria japonica D. Don: effect of tree age and stand structure on slope stability. For. Ecol. Manag., 256, pp. 1517–1526.

Genet M., Stokes A., Fourcaud T., Norris J.E. (2010) - The influence of plant diversity on slope stability in a moist evergreen deciduous forest Ecological engineering, 36 (3): 265-275.

Greenwood, **J.R.**, **Norris**, **J.E.**, **Wint**, **J.**, (2004) - Assessing the contribution of vegetation to slope stability. In: Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, vol. 157, pp. 199–208.

Guide des sylvicultures de montagne, Alpes du nord françaises. CEMAGREF, ONF

Ji J., Kokutse N.K., Genet M., Fourcaud T., Zhang Z.Q. (2012) - Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability. A case study on Black Locust (Robinia pseudoacacia) and Arborvitae (Platycladus orientalis) stands on the Loess Plateau, China. Catena, 92: 139-154.

Kostler J.N., Bruckner E., Bibelriehter H. (1968) - Die Wurzeln der Waldbaume, Verlag Paul Parey, Hamburg, 284 p.

Kokutse N, Fourcaud T, Kokou K, Neglo K and Lac P., (2006) - 3D Numerical modeling and analysis of the influence of forest structure on hill slopes stability. In Interpraevent 2006, Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides. 25–27 September, 2006, Niigata, Japan. Eds. H Marui, T Marutani, N Watanabe, H Kawabe, Y Gonda, M Kimura, H Ochiai, K Ogawa, G Fiebiger, J Heumader, F Rudolf-Miklau, H Kienholz and M Mikos. pp. 561–567. Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan, ISBN 4-946443-98-3.

Lamb, A.F.A. (1973) - Pinus Caribaea. Volume 1, Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics, No.6. Unit of Tropical Silviculture, University of Oxford, Angleterre, 254 p.Morgan R.P.C. (1990). Modelling the effect of vegetation on air flow for application to wind erosion control. In Vegetation and erosion: processes and environments. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 85-98.

Norris JE., Stokes A., Mickovski SB., Cammeraat E., van Beek LPH., Nicoll B., Achim A. (eds) (2008) - Slope stability and erosion control: ecotechnological solutions. Springer, Dordrecht.

O'Loughlin, C.L. and Ziemer R.R. (1982) - The importance of root strength and deterioration rates upon edaphtic stability in steepland forests in Waring, R.H. (Ed). Carbon uptake and allocation in subalpine ecosystems as a key to management. Proceedings of an IUFRO Workshop, August 2-3, 1982, pp. 70 – 78, Oregon State University, Corvallis.

Pollen, N., Simon, A., (2005) - Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on stream bank stability using a fiber bundle model.Water Resour. Res. 41, W07025.

Rey. F, Ballais J.L., Marre A., Rivera G., (2004) - Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. C.R. Geoscience 33- (2004).

Richards L.A. (1931) - Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics, vol. 1, pp. 318-333.

SafeLand Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies. Geomechanical modelling of slope deformation and failure processes driven by climatic factors: shallow landslides, deep landslides and debris flows Work Package 1.2 — Geomechanical analysis of weather-induced triggering processes. Deliverable/Work Package Leader: AMRA. December, 2010.

Schenk HJ., Jackson RB. (2002) - Rooting depths, lateral spreads, and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. J Ecol 90:480–494.

Sidle RC., Ziegler AD., Negishi JN., Abdul Rahim N., Siew R., Turkelboom F. (2006) - Erosion processes in steep terrain—truths, myths, and uncertainties related to forest manage-ment in Southeast Asia. For Ecol Manage 224:199–225.

Stokes A, Norris JE, van Beek LPH, Bogaard T, Cammeraat E, Mickovski SB, Jenner A, di Iorio A, Fourcaud T. (2008) - How vegetation reinforces soil on slopes. In: Norris JE, Stokes A, Mickovski SB, Cammeraat E, van Beek LPH, Nicoll B, Achim A (eds) Slope stability and erosion control: ecotechnological solutions. Springer, Dordrecht, pp 65–118.

Stokes A., Atger C., Bengough A.G., Fourcaud T. and Sidle R.C. (2009) - Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. Plant and Soil, 2009, Volume 324, Numbers 1-2, Pages 1-30.

Stone EL., Kalisz PJ. (1991) - On the maximum extent of tree roots. For Ecol Manage 46:59–102.

Schwarz M., Preti F., Giadrossich F., Lehmann P., Or D. (2010) - Quantifying the role of vegetation in slope stability: A case study in Tuscany (Italy). Ecological Engineering, Volume 36, Issue 3, March 2010, Pages 285-291.

Vincent M., Bouchut J., Fleureau J.-M., Masrouri F., Oppenheim E., Heck J.V., Ruaux N., Le Roy S., Dubus I., Surdyk N. (2006) - Étude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti. Rapport final. BRGM/RP-54862-FR, 378 p., 308 ill.

Wu, T.H., McKinnell, W.P., Swanston, D.N. (1979) - Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. Can. Geoth. J. 16, 19–33.

Définition des termes liés à la végétation

Modifié par Jacq et Butaud (2013a, b et c) d'après Da Lage A. & Métailié F. (coord.). 2005. Dictionnaire de Biogéographie végétale. CNRS éditions, Bayeux, 579 p.

Lande: formation végétale dense, constituée principalement d'arbrisseaux et sousarbrisseaux xéromorphes. Elles peuvent présenter de nombreux faciès tels que les landes hautes monospécifiques à ajoncs, les landes basses à bruyères et les landes composites à herbacées et ligneux divers.

Fourré: (selon la classification de Yangambi) type de végétation arbustif, fermé, sempervirent ou décidu, généralement peu pénétrable, souvent morcelé, à tapis graminéen absent ou discontinu.

Forêt mésophile: forêt de feuillus semi-caducifoliée des régiones pluvieuses de la zone chaude, à saison sèche mais sans période de siccité rigoureuse (climats équatoriaux de transition, climats tropicaux humides); forêt se développant dans des conditions écologiques (climatiques et édaphiques) moyennes.

Forêt naturelle : constituée d'essences autochtones par régénération spontanée ; équivalente dans une certaine mesure à forêt primaire

Forêt secondaire: forêt se reconstituant après une destruction partielle ou totale, et remarquable par la domination des espèces héliophiles à croissance rapide, par une relative pauvreté spécifique, ainsi que par une organisation d'ensemble dense et confuse; en Polynésie française, les forêts secondaires comprennent souvent une proportion variable d'espèces introduites par l'homme, anciennement ou plus récemment.

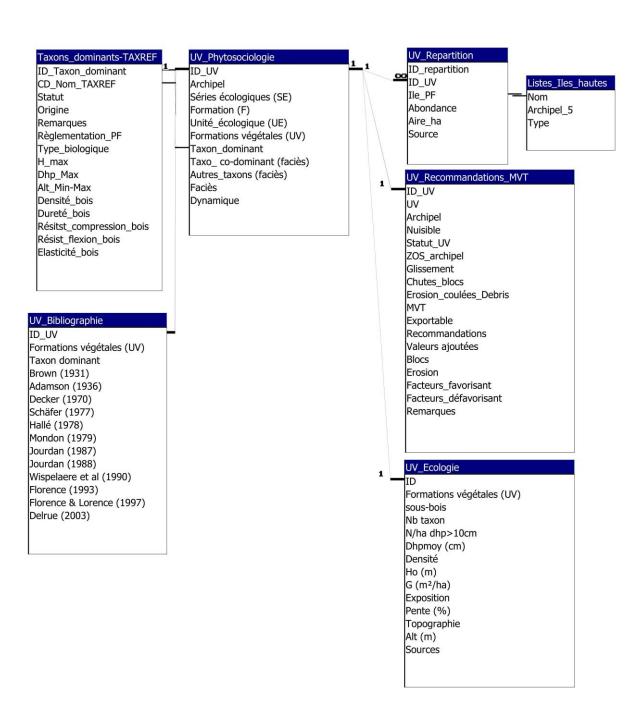
Forêt ombrophile: dans les régions les plus continûment pluvieuses de la zone chaude, forêt de feuillus toujours verte (renouvellement des feuilles non perceptibles), caractérisée par son gigantisme (30 à 70 m de haut) et sa diversité floristique ; *en Polynésie française, la forêt ombrophile est considérée comme très proche de la forêt de nuages.*

Forêt hygrophile: pour certains auteurs, forêt dense, toujours verte, des régions intertropicales fortement pluvieuses, sans saison sèche bien individualisée et sur sol plus ou moins hydromorphes; en Polynésie française, forêts bien alimentées en eau toute l'année, présentes à basse altitude dans les vallées ou à moyenne altitude sur les versants, planèzes et crêtes.

Forêt de nuages: forêt de la zone intertropicale, remarquable par l'abondance des épiphytes (lichens, mousses, fougères, orchidées), ainsi que par divers traits structuraux (arbres bas-branchus, feuillages souvent persistants, sous-bois très buissonnants, fougères arborescentes) et spécifiques (nombreuses espèces endémiques), associée aux étages montagnards les plus humides.

Fruticée (buissonnaie) : formation végétale frutescente, dont les plantes sont ramifiées naturellement dès la base ; dans le présent travail, la fruticée est utilisée pour désigner les formations plus ou moins frutescentes se développant sur les falaises ou le substrat est souvent apparent.

Structure de la base de données des UV Source : Jacq et Butaud (2013a, b et c)



Extrait de la base de données des UV recensées et hiérarchisation vis-à-vis des mouvements de terrain redoutés

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
M01	Végétation herbacée de plage	Herbacée	Marquises	Indigène					
M02	Pelouse littorale sur substrat calcaire	Herbacée	Marquises	Indigène					
M03	Lande herbacée à Leptochloa - Portulaca	Lande	Marquises	Patrimoniale	0		1	0	
M04	Fruticée (xérophile) à Leptochloa (et Nicotiana)	Fruticée	Marquises	Patrimoniale	0		0	0	
M05	Forêt littorale de <i>Cordia</i> et <i>Thespesia</i>	Forêt	Marquises	Indigène	0		0	2	Х
M06	Forêt para-littorale de Pisonia	Forêt	Marquises	Patrimoniale	0	-1	0	1	Х
M07	Lande basse xérophile à Waltheria indica	Lande	Marquises	Naturalisé					
M08	Fourré à Jatropha gossypifolia	Fourré	Marquises	Envahissant	0		0	0	
M09	Lande à <i>Ocimum</i> gratissimum	Lande	Marquises	Envahissant	0		1	0	
M10	Lande à Sidastrum paniculatum	Lande	Marquises	Envahissant	0		1	0	
M11	Fourré à Desmanthus pernambucanus	Fourré	Marquises	Envahissant	1		0	0	
M12	Lande arbustive érodée très caillouteuse de basse altitude	Zone érodée	Marquises	Naturalisé					
M13	Fourré xérophile à Waltheria tomentosa	Fourré	Marquises	Indigène					
M14	Fourré xérophile à Cordia lutea	Fourré	Marquises	Indigène	1	-1	1	0	Х
M15	Fourré semi-xérophile à <i>Dodonaea</i>	Fourré	Marquises	Indigène	1	-1	1	0	Х
M16	Fourré à <i>Psidium</i> guajava	Fourré	Marquises	Naturalisé	0		0	0	Х
M17	Fourré dense à Acacia farnesiana	Fourré	Marquises	Nuisible	0		0	0	Х
M18	Fourré dense à Leucaena leucocephala	Fourré	Marquises	Nuisible	1		0	0	X
M19	Fourré dense à <i>Tecoma</i> stans	Fourré	Marquises	Nuisible	0		0	0	Х
M20	Fourré de <i>Eugenia</i> uniflora	Fourré	Marquises	Nuisible	1		0	0	Х
M21	Fourré xérophile de Psydrax odorata	Fourré	Marquises	Indigène					
M22	Forêt semi-xérophile de Sapindus et Xylosma	Forêt	Marquises	Patrimoniale	1		0	2	Х
M23	Forêt mésophile rivulaire de <i>Thespesia</i>	Forêt	Marquises	Indigène	1		1	1	X

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
M24	Forêt (xéro- à) mésophile de <i>Casuarina</i>	Forêt	Marquises	Naturalisé	1	-1	0	2	Х
M25	Pelouse à <i>Chrysopogon</i> de moyenne altitude	Herbacée	Marquises	Naturalisé					
M26	Lande herbacée érodée peu caillouteuse de moyenne altitude	Zone érodée	Marquises	Naturalisé					
M27	Savane à Miscanthus	Savane	Marquises	Naturalisé	0		1	0	Х
M28	Lande à <i>Dicranopteris</i>	Lande	Marquises	Indigène	0		1	0	Х
M29	Lande herbeuse à Melinis minutiflora	Lande	Marquises	Nuisible	0		1	0	Х
M30	Forêt mésophile de Pandanus tectorius	Forêt	Marquises	Indigène	0	-1	0	1	Х
M31	Forêt méso- à hygrophile à <i>Ficus prolixa</i>	Forêt	Marquises	Indigène	0	-1	1	1	Х
M32	Forêt méso- à hygrophile de <i>Hibiscus tiliaceus</i>	Forêt	Marquises	Indigène	-1		-1	2	Х
M33	Ripisylve à Inocarpus	Forêt	Marquises	Naturalisé	1		0	1	Х
M34	Ripisylve à <i>Hernandia</i> nukuhivensis	Forêt	Marquises	Patrimoniale	1		0	1	Х
M35	Bambouseraie à Schizostachyum	Bambouser aie	Marquises	Naturalisé	-1		-1	1	Х
M36	Forêt (ou bosquet) de Falcataria	Forêt	Marquises	Nuisible	-1		-1	1	Х
M37	Forêt de Syzygium cumini	Forêt	Marquises	Nuisible	1	-1	0	2	Х
M38	Forêt de Syzygium jambos	Forêt	Marquises	Nuisible	1	-1	-1	2	Х
M39	Fruticée méso- à hygrophile à fougères (fougeraie ou ptéridaie)	Fruticée	Marquises	Patrimoniale	0		0	0	
M40	Forêt méso- à hygrophile de <i>Metrosidero</i> s	Forêt	Marquises	Patrimoniale	1		1	1	Χ

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
M41	Forêt hygrophile à Hibiscus - Crossostylis	Forêt	Marquises	Indigène	-1		1	2	X
M42	Forêt hygrophile à Weinmannia - Pandanus	Forêt	Marquises	Patrimoniale				1	
M43	Forêt (ombrophile) à Metrosideros – Weinmannia	Forêt	Marquises	Patrimoniale				1	
M44	Forêt de vallons à Fagraea – Cyathea	Forêt	Marquises	Patrimoniale				1	
M45	Forêt basse à Metrosideros - Cheirodendron	Forêt	Marquises	Patrimoniale				1	
M46	Fourré ombrophile à Freycinetia	Fourré	Marquises	Indigène	0		1	0	
M47	Maquis sommital	Maquis	Marquises	Patrimoniale					
M48	Cocoteraie	Cocoteraie	Marquises	Anthropisé	0		0	1	Х
M49	Jardins ornementaux et fruitiers	Jardins	Marquises	Anthropisé					
M50	Pelouses et friches anthropiques	Herbacée	Marquises	Anthropisé					
M51	Maraichage et vivrier	Jardins	Marquises	Anthropisé					
M52	Forêt anthropique	Forêt	Marquises	Anthropisé	1		0	2	Х
M53	Plantations d'essences d'ébénisterie	Forêt	Marquises	Anthropisé	1		1	1	Х
M54	Plantations de <i>Pinus</i>	Forêt	Marquises	Anthropisé	1		1	2	Х
M55	Pâturage d'altitude	Herbacée	Marquises	Anthropisé					
S01	Végétation herbacée de plage à <i>lpomoea-Vigna</i>	Herbacée	Société	Indigène					
S02	Fourré littoral à <i>Pemphis</i> sur roche calcaire en place	Fourré	Société	Indigène					
S03	Fourré littoral à <i>Scaevola-Heliotropium</i> sur substrat corallien	Fourré	Société	Indigène					
S04	Fruticées littorales très ouvertes à <i>Scaevola</i> sur substrat volcanique rocheux	Fruticée	Société	Indigène					
S05	Forêt littorale à Barringtonia-Pandanus sur substrat volcanique rocheux	Forêt	Société	Indigène				1	
S06	Forêt littorale à Pandanus-Guettarda sur substrat sableux corallien	Forêt	Société	Indigène				1	
S07	Forêt littorale à Hernandia-Thespesia	Forêt	Société	Patrimoniale				1	

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
S08	Forêt de <i>Casuarina</i> sur substrat sableux littoral	Forêt	Société	Naturalisé				2	
S09	Mangrove à Rhizophora stylosa	Forêt	Société	Naturalisé				1	
S10	Marécage à Acrostichum- Cladium	Marécage	Société	Indigène					
S11	Prairie marécageuse à Paspalum vaginatum	Marécage	Société	Indigène					
S12	Marécage à <i>Typha</i>	Marécage	Société	Naturalisé					
S13	Forêt marécageuse à Hibiscus-Acrostichum	Forêt	Société	Indigène				1	
S14	Forêt littorale à Pisonia	Forêt	Société	Patrimoniale	0	-1	0	1	
S15	Forêt supralittorale à Thespesia sur éboulis	Forêt	Société	Indigène	1		1	1	Х
S16	Savane à Miscanthus	Savane	Société	Naturalisé	0		0	0	Х
S17	Fourré à <i>Psidium</i> guajava	Fourré	Société	Naturalisé	0		0	0	Х
S18	Lande à <i>Nephrolepis</i> hirsutula	Lande	Société	Naturalisé					
S19	Lande herbeuse à Melinis minutiflora	Lande	Société	Nuisible	0		1	0	Х
S20	Lande à <i>Dicranopteris</i>	Lande	Société	Indigène	0		1	0	х
S21	Eboulis rocheux non végétalisés	Zone érodée	Société	Naturalisé					
S22	Pentes érodées	Zone érodée	Société	Naturalisé					
S23	Fruticée xéro- à mésophile de zones rocheuses	Fruticée	Société	Indigène					
S24	Fruticée à <i>Lantana</i>	Fruticée	Société	Nuisible	0		0	0	
S25	Fourré à <i>Tecoma</i> sur pentes fortes et falaises	Fourré	Société	Nuisible	0	-1	-1	0	Х
S26	Fourré dense à Leucaena leucocephala	Fourré	Société	Nuisible	1		-1	0	Х
S27	Fourré à Eugenia- Waterhousea	Fourré	Société	Nuisible	1		-1	0	х
S28	Fourré à Ardisia elliptica	Fourré	Société	Nuisible	0		-1	0	Х
S29	Fourré à Chrysobalanus icaco	Fourré	Société	Nuisible	0		0	0	
S30	Fourré à Rhodomyrtus tomentosa	Fourré	Société	Nuisible	1		0	0	
S31	Forêt supralittorale à mésophile de <i>Pandanus</i> tectorius	Forêt	Société	Indigène	0	-1	0	1	Х

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
S32	Forêt semi-xérophile à Sapindus (sur éboulis)	Forêt	Société	Patrimoniale	1		1	1	Х
S33	Forêt anthropique à Hibiscus-Mangifera	Forêt	Société	Anthropisé	-1		0	1	Х
S34	Forêt mésophile à Hibiscus	Forêt	Société	Indigène	-1		0	1	Х
S35	Forêt mésophile à Serianthes-Hibiscus	Forêt	Société	Patrimoniale	1	-1	1	1	Х
S36	Forêt mésophile à Adenanthera	Forêt	Société	Naturalisé	1	-1	-1	1	Х
S37	Forêt mésophile à Metrosideros-Fagraea	Forêt	Société	Indigène	1	-1	1	1	Х
S38	Forêt mésophile de Spathodea	Forêt	Société	Nuisible	-1		-1	1	Х
S39	Forêt de <i>Syzygium</i> cumini	Forêt	Société	Nuisible	1	-1	-1	2	Х
S40	Forêt méso- à hygrophile à <i>Hernandia</i> moerenhoutiana	Forêt	Société	Patrimoniale	1		0	1	х
S41	Forêt méso- à hygrophile de <i>Rhus-Hibiscus</i>	Forêt	Société	Patrimoniale	1		1	1	Х
S42	Forêt méso- à hygrophile de <i>Ficus-Aleurites</i> sur substrat rocheux	Forêt	Société	Indigène	0	-1	0	1	Х
S43	Fruticée méso- à hygrophile de zones rocheuses	Fruticée	Société	Indigène	0		0	0	
S44	Landes rivulaires	Lande	Société	Indigène	0		1	0	
S45	Lande à <i>Geniostoma</i> clavatum sur rocher suintant	Lande	Société	Patrimoniale	0		1	0	
S46	Landes à <i>Metrosideros</i>	Lande	Société	Patrimoniale	0		0	0	
S47	Bambouseraie à Schizostachyum	Bambouser aie	Société	Anthropisé	-1		-1	1	Х
S48	Marécage d'altitude à Erianthus-Cyclosorus	Marécage	Société	Indigène	0		0	0	
S49	Fourré à <i>Psidium</i> cattleianum	Fourré	Société	Nuisible	0		0	0	х

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
S50	Forêt et fourré à Pandanus temehaniensis	Forêt	Société	Patrimoniale	0		0	1	
S51	Forêt hygrophile à Hibiscus	Forêt	Société	Indigène	-1		1	1	х
S52	Forêt marécageuse et ripisylve à Inocarpus	Forêt	Société	Naturalisé	1		0	1	х
S53	Forêt hygrophile à Neonauclea-Angiopteris	Forêt	Société	Patrimoniale	1		1	1	X
S54	Forêt méso- à hygrophile à Neonauclea-Aleurites	Forêt	Société	Patrimoniale	1		0	1	х
S55	Forêt de <i>Syzygium</i> jambos	Forêt	Société	Nuisible	1	-1	-1	1	Х
S56	Forêt de Cecropia peltata	Forêt	Société	Nuisible	0	-1	-1	1	Х
S57	Forêt à Spathodea- Pandanus	Forêt	Société	Nuisible	-1		-1	1	Х
S58	Forêt à Spathodea- Miconia	Forêt	Société	Nuisible	-1		-1	1	Х
S59	Forêt basse hygrophile à Metrosideros-Myrsine- Alstonia	Forêt	Société	Patrimoniale				1	х
S60	Forêt hygrophile à Neonauclea-Crossostylis	Forêt	Société	Patrimoniale	1		1	1	Х
S61	Végétation éparse à Blechnum-Machaerina des falaises et pentes fortes humides	Lande	Société	Patrimoniale	0		0	0	
S62	Lande à Gahnia- Lycopodiella raiateensis	Lande	Société	Patrimoniale	0		1	0	
S63	Fourré ombrophile à Freycinetia	Fourré	Société	Indigène	0		1	0	
S64	Forêt de <i>Miconia</i>	Forêt	Société	Nuisible	0		-1	1	Х
S65	Forêt à <i>Weinmannia</i>	Forêt	Société	Patrimoniale				1	
S66	Forêt à <i>llex-Streblus</i>	Forêt	Société	Patrimoniale				1	
S67	Crêtes d'altitude à Metrosideros-Astelia	Fourré	Société	Patrimoniale					
S68	Maquis sommital à Leptecophylla-Vaccinium	Maquis	Société	Patrimoniale					

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
S 69	Cocoteraie sur motu ou littoral sableux	Cocoteraie	Société	Anthropisé	0		0	1	
S70	Cocoteraie sur pente volcanique	Cocoteraie	Société	Anthropisé	0		0	1	х
S71	Plantation de <i>Pinus</i> caribaea	Forêt	Société	Anthropisé	1		1	1	Х
S72	Plantations et forêts de Falcataria	Forêt	Société	Naturalisé	-1		-1	1	Х
S73	Plantations et forêts de Casuarina	Forêt	Société	Naturalisé	1	-1	0	2	х
S74	Plantations d'essences d'ébénisterie	Forêt	Société	Anthropisé	1		1	1	Х
S75	Vergers	Forêt	Société	Anthropisé	0		1	1	
S76	Maraichage et vivrier	Herbacée	Société	Anthropisé					
S77	Plantations d'ananas	Herbacée	Société	Anthropisé	0		0	0	
S78	Pâturages	Herbacée	Société	Anthropisé					
S79	Jardins ornementaux et fruitiers	Jardins	Société	Anthropisé					
S80	Pelouses et friches anthropiques	Herbacée	Société	Anthropisé					
AG01	Végétation herbacée de plage à <i>Ipomoea- Canavalia</i>	Herbacée	Australes- Gambier	Indigène					
AG02	Fourré arbustif à Pemphis sur roche calcaire en place	Fourré	Australes- Gambier	Indigène					
AG03	Fourré arbustif littoral sur substrat corallien plus ou moins grossier	Fourré	Australes- Gambier	Indigène					
AG04	Fruticées littorales très ouvertes à <i>Scaevola</i> et diverses herbacées sur substrat volcanique rocheux	Fruticée	Australes- Gambier	Indigène					
AG05	Fruticées littorales très ouvertes sur falaises de mato	Fruticée	Australes- Gambier	Indigène					
AG06	Fourré arbustif ouvert sur mato	Fourré	Australes- Gambier	Indigène					
AG07	Forêt littorale à Barringtonia-Hibiscus sur plaine littorale et basses pentes	Forêt	Australes- Gambier	Indigène	0		1	1	Х
AG08	Forêt littorale à Barringtonia sur mato	Forêt	Australes- Gambier		0		0	1	Х
AG09	Forêt littorale à Pandanus-Guettarda sur substrat sableux corallien	Forêt	Australes- Gambier	Indigène				1	
AG10	Forêt littorale à Pandanus-Hibiscus	Forêt	Australes- Gambier	Indigène				1	

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
AG11	Forêt à <i>Pandanus-</i> <i>Guettarda</i> sur mato	Forêt	Australes- Gambier	Indigène	0		0	1	Х
AG12	Forêt de <i>Casuarina</i> sur substrat sableux littoral	Forêt	Australes- Gambier	Naturalisé				2	
AG13	Forêt de <i>Casuarina</i> sur mato	Forêt	Australes- Gambier	Naturalisé				2	
AG14	Forêt supralittorale à Pandanus-Myoporum	Forêt	Australes- Gambier	Indigène	0		0	1	Х
AG15	Marécage à Acrostichum- Cladium	Marécage	Australes- Gambier	Indigène					
AG16	Marécage à Schoenoplectus- Cyclosorus	Marécage	Australes- Gambier	Indigène					
AG17	Forêt marécageuse à Hibiscus-Acrostichum	Forêt	Australes- Gambier	Indigène				1	
AG18	Savane à Miscanthus	Savane	Australes- Gambier	Naturalisé	0		1	0	Х
AG19	Lande rase à herbacées = pelouse à Chrysopogon	Lande	Australes- Gambier	Naturalisé					
AG20	Lande herbeuse à Melinis minutiflora	Lande	Australes- Gambier	Nuisible	0		1	0	Х
AG21	Lande à <i>Dicranopteris</i>	Lande	Australes- Gambier	Indigène	0		1	0	х
AG22	Fruticée mésophile de zones rocheuses	Fruticée	Australes- Gambier	Indigène					
AG23	Fourré dense à Leucaena leucocephala	Fourré	Australes- Gambier	Nuisible	1		-1	0	Х
AG24	Fourré de <i>Eugenia</i> uniflora	Fourré	Australes- Gambier	Nuisible	1	-1	-1	0	Х
AG25	Forêt anthropique à Hibiscus-Mangifera	Forêt	Australes- Gambier	Anthropisé	-1		0	1	х
AG26	Plantation et forêt mésophile de <i>Casuarina</i>	Forêt	Australes- Gambier	Naturalisé	1	-1	0	2	Х
AG27	Forêt mésophile à Hibiscus-Glochidion	Forêt	Australes- Gambier	Indigène	-1		0	2	Х
AG28	Forêt mésophile à Zanthoxylum-Sophora	Forêt	Australes- Gambier	Patrimoniale	0		1	1	Х
AG29	Forêt mésophile rivulaire de <i>Thespesia</i>	Forêt	Australes- Gambier	Indigène	1		0	1	Х
AG30	Forêt de Syzygium cumini	Forêt	Australes- Gambier	Nuisible	1		-1	2	Х
AG31	Fruticée hygrophile des fortes pentes sommitales	Fruticée	Australes- Gambier	Indigène					
AG32	Bambouseraie à Schizostachyum	Bambouser aie	Australes- Gambier	Anthropisé	-1		-1	1	Х
AG33	Fourré à Psidium cattleianum	Fourré	Australes- Gambier	Nuisible	0		-1	0	Х

ID_UV	Formations végétales (UV)	Unité Ecologique (UE)	Archipel	Statut	Susceptibilité au glissement	Susceptibilité au départ de blocs en falaise, pour les UV existant en falaise	Susceptibilité au départ de blocs en versant	Susceptibilité à l'arrêt des blocs	Fiches descriptives
AG34	Fourré à Hedychium flavescens	Fourré	Australes- Gambier	Naturalisé					
AG35	Forêt hygrophile à Hibiscus-Angiopteris	Forêt	Australes- Gambier	Indigène	-1		1	2	х
AG36	Forêt hygrophile de basse à moyenne altitude à <i>Fitchia-Boehmeria</i>	Forêt	Australes- Gambier	Patrimoniale	0		0	2	х
AG37	Forêt cathédrale ou ripisylve à <i>Inocarpus-</i> <i>Hibiscus</i>	Forêt	Australes- Gambier	Naturalisé	1		-1	2	х
AG38	Forêt de Syzygium jambos	Forêt	Australes- Gambier	Nuisible	1	-1	-1	2	Х
AG39	Forêt hygrophile à Elaeocarpus-Pisonia	Forêt	Australes- Gambier	Patrimoniale	0		1	1	Х
AG40	Forêt hygrophile d'altitude à <i>Metrosideros-Cyathea</i>	Forêt	Australes- Gambier	Patrimoniale	1		1	1	Х
AG41	Forêt hygrophile exposée de moyenne à haute altitude à <i>Cyathea-Freycinetia</i>	Maquis	Australes- Gambier	Patrimoniale				0	
AG42	Fourré ombrophile à Freycinetia	Fourré	Australes- Gambier	Indigène					
AG43	Forêt ombrophile à Metrosideros- Oparanthus	Forêt	Australes- Gambier	Patrimoniale				1	
AG44	Cocoteraie plus ou moins entretenue sur motu ou littoral sableux	Cocoteraie	Australes- Gambier	Anthropisé					
AG45	Cocoteraie sur pente volcanique	Cocoteraie	Australes- Gambier	Anthropisé	0		0	1	х
AG46	Plantation de <i>Pinus</i> caribaea	Forêt	Australes- Gambier	Anthropisé	1		1	2	Х
AG47	Plantations et forêts de Falcataria	Forêt	Australes- Gambier	Naturalisé	-1	-1	-1	1	Х
AG48	Plantations d'essences d'ébénisterie	Forêt	Australes- Gambier	Anthropisé	0		1	1	Х
AG49	Jardins ornementaux et fruitiers	Jardins	Australes- Gambier	Anthropisé					
AG50	Vergers	Forêt	Australes- Gambier	Anthropisé				1	
AG51	Maraichage et vivrier	Herbacée	Australes- Gambier	Anthropisé					
AG52	Tarodières en activité et abandonnées	Herbacée	Australes- Gambier	Anthropisé					
AG53	Plantations d'ananas	Herbacée	Australes- Gambier	Anthropisé					
AG54	Pâturages	Herbacée	Australes- Gambier	Anthropisé					
AG55	Pelouses et friches anthropiques	Herbacée	Australes- Gambier	Anthropisé					

Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis des glissements de terrain

*Les espèces qui menacent la biodiversité

	Plutôt déstabilisant vis-à-vis des glissements	Plutôt stabilisant vis-à-vis des glissements
MARQUISE	M32 Forêt méso- à hygrophile de Hibiscus tiliaceus M35 Bambouseraie à Schizostachyum M36 Forêt (ou bosquet) de Falcataria* M41 Forêt hygrophile à Hibiscus - Crossostylis	M11 Fourré à Desmanthus pernambucanus* M14 Fourré xérophile à Cordia lutea M15 Fourré semi-xérophile à Dodonaea M18 Fourré dense à Leucaena leucocephala* M20 Fourré de Eugenia uniflora* M22 Forêt semi-xérophile de Sapinduset Xylosma M23 Forêt mésophile rivulaire de Thespesia M24 Forêt (xéro- à) mésophile de Casuarina M30 Ripisylve à Inocarpus M31 Ripisylve à Hernandia nukuhivensis M32 Forêt de Syzygium cumini* M33 Forêt de Syzygium jambos* M34 Ropie de Syzygium jambos M35 Forêt de Syzygium jambos M36 Forêt méso- à hygrophile de Metrosideros M57 Forêt anthropique M58 Plantations d'essences d'ébénisterie M59 Plantations de Pinus

	S33 Forêt anthropique à Hibiscus-Mangifera		S15 Forêt supralittorale à Thespesia sur éboulis
	S34 Forêt mésophile à Hibiscus		S26 Fourré dense à Leucaena leucocephala*
	S38 Forêt mésophile de Spathodea*		S27 Fourré à Eugenia-Waterhousea* S30 Fourré à Rhodomyrtus tomentosa*
	S47 Bambouseraie à Schizostachyum		S32 Forêt semi-xérophile à Sapindus (sur éboulis)
	S51 Forêt hygrophile à		S35 Forêt mésophile à Serianthes-Hibiscus
	S57 Forêt à Spathodea-		S36 Forêt mésophile à Adenanthera
	Pandanus*		S37 Forêt mésophile à Metrosideros-Fagraea
	S58 Forêt à Spathodea- Miconia*		S39 Forêt de Syzygium cumini*
ETE	S72 Plantations et forêts		S40 Forêt méso- à hygrophile à Hernandia moerenhoutiana
SOCIETE	de Falcataria*		S41 Forêt méso- à hygrophile de Rhus- Hibiscus
			S52 Forêt marécageuse et ripisylve à Inocarpus
			S53 Forêt hygrophile à Neonauclea- Angiopteris
			S54 Forêt méso- à hygrophile à Neonauclea- Aleurites
			S55 Forêt de Syzygium jambos*
			S60 Forêt hygrophile à Neonauclea- Crossostylis
			S71 Plantation de Pinus caribaea
			S73 Plantations et forêts de Casuarina
			S74 Plantations d'essences d'ébénisterie

	AG25 Forêt anthropique à Hibiscus-Mangifera AG27 Forêt mésophile à	AG23 Fourré dense à Leucaena leucocephala* AG24 Fourré de Eugenia uniflora*
GAMBIER	Hibiscus-Glochidion AG32 Bambouseraie à	AG26 Plantation et forêt mésophile de Casuarina
- GAN	Schizostachyum	AG29 Forêt mésophile rivulaire de Thespesia
ALES	AG35 Forêt hygrophile à Hibiscus-Angiopteris	AG30 Forêt de Syzygium cumini* AG37 Forêt cathédrale ou ripisylve à
AG35 Foret hygrophile Hibiscus-Angiopteris AG47 Plantations et fo	AG47 Plantations et forêts de Falcataria*	Inocarpus-Hibiscus
< <		AG38 Forêt de Syzygium jambos*
		AG40 Forêt hygrophile d'altitude à Metrosideros-Cyathea
		AG46 Plantation de Pinus caribaea

Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis des départs de blocs en falaise

*Les espèces qui menacent la biodiversité

	PI	utôt déstabilisant vis-à-vis des départs de blocs en falaise
	M06	Forêt para-littorale de Pisonia
	M14	Fourré xérophile à Cordia lutea
щ	M15	Fourré semi-xérophile à Dodonaea
MARQUISE	M24	Forêt (xéro- à) mésophile de Casuarina
MAR	M30	Forêt mésophile de Pandanus tectorius
	M31	Forêt méso- à hygrophile à Ficus prolixa
	M37	Forêt de Syzygium cumini*
	M38	Forêt de Syzygium jambos*
·	AG24	Fourré de Eugenia uniflora*
JSTRALES GAMBIER	AG26	Plantation et forêt mésophile de Casuarina
AUSTRALES GAMBIER	AG38	Forêt de Syzygium jambos*
4	AG47	Plantations et forêts de Falcataria*
	S14	Forêt littorale à Pisonia
	S25	Fourré à Tecoma sur pentes fortes et falaises*
	S31	Forêt supralittorale à mésophile de Pandanus tectorius
	S35	Forêt mésophile à Serianthes-Hibiscus
TE	S36	Forêt mésophile à Adenanthera*
SOCIETE	S37	Forêt mésophile à Metrosideros-Fagraea
S	S39	Forêt de Syzygium cumini*
	S42	Forêt méso- à hygrophile de Ficus-Aleurites sur substrat rocheux
	S55	Forêt de Syzygium jambos*
	S56	Forêt de Cecropia peltata*
	S73	Plantations et forêts de Casuarina

Annexe 6

Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis des départs de blocs en versant

*Les espèces qui menacent la biodiversité

	Plutôt déstabilisant vis-à-vis des départs de blocs en versant	Plutôt stabilisant vis-à-vis des départs de blocs en versant
MARQUISE	M32 Forêt méso- à hygrophile de Hibiscus tiliaceus M35 Bambouseraie à Schizostachyum M36 Forêt (ou bosquet) de Falcataria* M38 Forêt de Syzygium jambos*	M03 Lande herbacée à Leptochloa - Portulaca M09 Lande à Ocimum gratissimum* M10 Lande à Sidastrum paniculatum* M14 Fourré xérophile à Cordia lutea M15 Fourré semi-xérophile à Dodonaea M23 Forêt mésophile rivulaire de Thespesia M27 Savane à Miscanthus M28 Lande à Dicranopteris M29 Lande herbeuse à Melinis minutiflora* M31 Forêt méso- à hygrophile à Ficus prolixa M40 Forêt méso- à hygrophile de Metrosideros M41 Forêt hygrophile à Hibiscus - Crossostylis M46 Fourré ombrophile à Freycinetia M53 Plantations d'essences d'ébénisterie M54 Plantations de Pinus

	S25 Fourré à Tecoma sur pentes fortes et falaises*	S15 Forêt supralittorale à Thespesia sur éboulis
	S26 Fourré dense à Leucaena leucocephala*	S19 Lande herbeuse à Melinis minutiflora*
		S20 Lande à Dicranopteris
	S27 Fourré à Eugenia- Waterhousea*	S32 Forêt semi-xérophile à Sapindus (sur éboulis)
	S28 Fourré à Ardisia elliptica*	S35 Forêt mésophile à Serianthes-Hibiscus
	S36 Forêt mésophile à Adenanthera*	S37 Forêt mésophile à Metrosideros-Fagraea
	S38 Forêt mésophile de Spathodea*	S41 Forêt méso- à hygrophile de Rhus- Hibiscus
ш	·	S44 Landes rivulaires
SOCIETE	S39 Forêt de Syzygium cumini* S47 Bambouseraie à Schizostachyum	S45 Lande à Geniostoma clavatum sur rocher suintant
Ö		S51 Forêt hygrophile à Hibiscus
	S55 Forêt de Syzygium jambos*	S53 Forêt hygrophile à Neonauclea- Angiopteris
	S56 Forêt de Cecropia peltata*	S60 Forêt hygrophile à Neonauclea- Crossostylis
	S57 Forêt à Spathodea- Pandanus*	S62 Lande à Gahnia-Lycopodiella raiateensis
	S58 Forêt à Spathodea-	S63 Fourré ombrophile à Freycinetia
	Miconia*	S71 Plantation de Pinus caribaea
	S64 Forêt de Miconia*	S74 Plantations d'essences d'ébénisterie
	S72 Plantations et forêts de Falcataria*	S75 Vergers

AUSTRALES - GAMBIER	AG23 Fourré dense à Leucaena leucocephala*	AG07 Forêt littorale à Barringtonia-Hibiscus sur plaine littorale et basses pentes
	AG24 Fourré de Eugenia uniflora*	AG18 Savane à Miscanthus AG20 Lande herbeuse à Melinis minutiflora*
	AG30 Forêt de Syzygium cumini*	AG21 Lande à Dicranopteris
	AG32 Bambouseraie à Schizostachyum	AG28 Forêt mésophile à Zanthoxylum-Sophora
	AG33 Fourré à Psidium	AG35 Forêt hygrophile à Hibiscus-Angiopteris
USTF	cattleianum*	AG39 Forêt hygrophile à Elaeocarpus-Pisonia
AL	AG37 Forêt cathédrale ou ripisylve à Inocarpus-Hibiscus	AG40 Forêt hygrophile d'altitude à Metrosideros-Cyathea
	AG38 Forêt de Syzygium jambos*	AG46 Plantation de Pinus caribaea
	AG47 Plantations et forêts de Falcataria*	AG48 Plantations d'essences d'ébénisterie

Annexe 7

Résutat des hiérachisations des UV vis-à-vis de l'arrêt des blocs

	Plutôt stabilisant vis-à-vis de l'arrêt des blocs	Plutôt très stabilisant vis-à-vis de l'arrêt des blocs
MARQUISE	M06 Forêt para-littorale de Pisonia M23 Forêt mésophile rivulaire de Thespesia M30 Forêt mésophile de Pandanus tectorius M31 Forêt méso- à hygrophile à Ficus prolixa M33 Ripisylve à Inocarpus M34 Ripisylve à Hernandia nukuhivensis M35 Bambouseraie à Schizostachyum M36 Forêt (ou bosquet) de Falcataria* M40 Forêt méso- à hygrophile de Metrosideros M42 Forêt hygrophile à Weinmannia - Pandanus M43 Forêt (ombrophile) à Metrosideros – Weinmannia M44 Forêt de vallons à Fagraea – Cyathea M45 Forêt basse à Metrosideros - Cheirodendron M48 Cocoteraie M53 Plantations d'essences d'ébénisterie	M05 Forêt littorale de Cordia et Thespesia M22 Forêt semi-xérophile de Sapinduset Xylosma M24 Forêt (xéro- à) mésophile de Casuarina M32 Forêt méso- à hygrophile de Hibiscus tiliaceus M37 Forêt de Syzygium cumini* M38 Forêt de Syzygium jambos* M41 Forêt hygrophile à Hibiscus - Crossostylis M52 Forêt anthropique M54 Plantations de Pinus

S42 Forêt méso- à hygrophile de Ficus-Aleurites sur substrat rocheux	AG12 Forêt de Casuarina sur substrat sableux littoral
S47 Bambouseraie à Schizostachyum	AG13 Forêt de Casuarina sur mato
S50 Forêt et fourré à Pandanus temehaniensis	AG26 Plantation et forêt mésophile de Casuarina
S51 Forêt hygrophile à Hibiscus	AG27 Forêt mésophile à Hibiscus- Glochidion
S52 Forêt marécageuse et ripisylve à Inocarpus	AG30 Forêt de Syzygium cumini*
S53 Forêt hygrophile à Neonauclea-Angiopteris	AG35 Forêt hygrophile à Hibiscus- Angiopteris
S54 Forêt méso- à hygrophile à Neonauclea-Aleurites	AG36 Forêt hygrophile de basse à moyenne altitude à Fitchia-Boehmeria
S55 Forêt de Syzygium jambos*	AG37 Forêt cathédrale ou ripisylve à Inocarpus-Hibiscus
S56 Forêt de Cecropia peltata*	AG38 Forêt de Syzygium jambos*
S57 Forêt à Spathodea-Pandanus*	AG46 Plantation de Pinus caribaea
S58 Forêt à Spathodea-Miconia*	
S59 Forêt basse hygrophile à Metrosideros-Myrsine-Alstonia	
S60 Forêt hygrophile à Neonauclea-Crossostylis	
S64 Forêt de Miconia*	
S65 Forêt à Weinmannia	
S66 Forêt à Ilex-Streblus	
S69 Cocoteraie sur motu ou littoral sableux	
S70 Cocoteraie sur pente volcanique	
S71 Plantation de Pinus caribaea	
S72 Plantations et forêts de Falcataria*	
S74 Plantations d'essences d'ébénisterie	
S75 Vergers	

	AG07 Forêt littorale à Barringtonia- Hibiscus sur plaine littorale et basses pentes	
	AG08 Forêt littorale à Barringtonia sur mato	
	AG09 Forêt littorale à Pandanus- Guettarda sur substrat sableux corallien	
	AG10 Forêt littorale à Pandanus- Hibiscus	
	AG11 Forêt à Pandanus-Guettarda sur mato	
	AG14 Forêt supralittorale à Pandanus-Myoporum	
R	AG17 Forêt marécageuse à Hibiscus-Acrostichum	
SAMBIE	AG25 Forêt anthropique à Hibiscus- Mangifera	
AUSTRALES - GAMBIER	AG28 Forêt mésophile à Zanthoxylum-Sophora	
AUSTR.	AG29 Forêt mésophile rivulaire de Thespesia	
	AG32 Bambouseraie à Schizostachyum	
	AG39 Forêt hygrophile à Elaeocarpus-Pisonia	
	AG40 Forêt hygrophile d'altitude à Metrosideros-Cyathea	
	AG43 Forêt ombrophile à Metrosideros-Oparanthus	
	AG45 Cocoteraie sur pente volcanique	
	AG47 Plantations et forêts de Falcataria*	
	AG48 Plantations d'essences d'ébénisterie	
	AG50 Vergers	

Annexe 8 (recueil séparé)

Fiches détaillées des principales UV Source : Jacq et Butaud (2013a, b et c)



Centre scientifique et technique Direction Risques et Prévention 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34