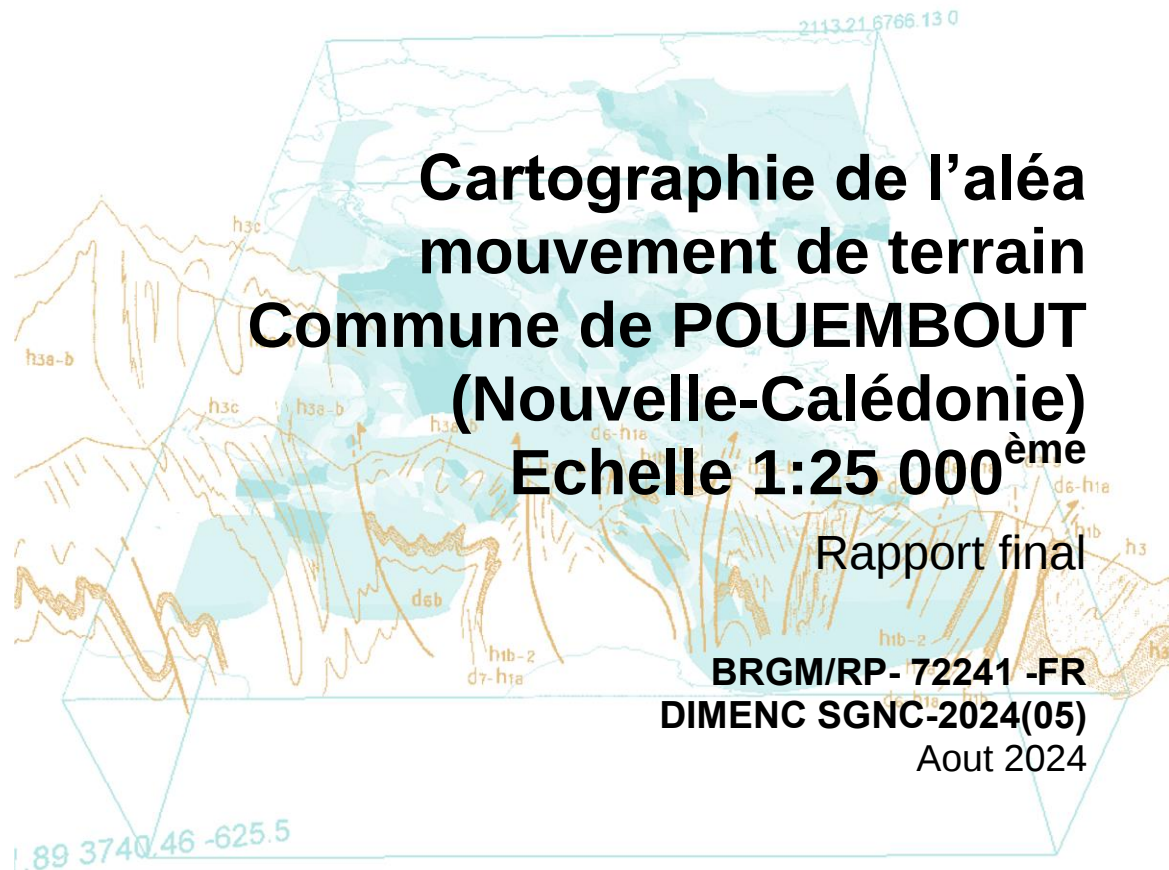
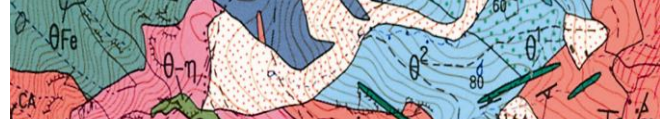




Cartographie de l'aléa mouvement de terrain Commune de POUEMBOUT (Nouvelle-Calédonie) Echelle 1:25 000^{ème}

Rapport final

**BRGM/RP- 72241 -FR
DIMENC SGNC-2024(05)
Aout 2024**

Cartographie de l'aléa mouvement de terrain Commune de POUEMBOUT (Nouvelle-Calédonie) Echelle 1:25 000

Rapport final

BRGM/RP- 72241 -FR
DIMENC SGNC-2024(05)
Aout 2024

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM

B. Colas, Y. Thiery, Guyomard Y., Mengin M., M. Premailon, M. Edet, O. Monge

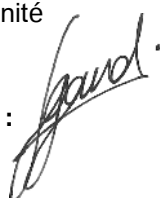
Vérificateur :

Nom : S. Gourdier

Fonction : Resp. d'unité

Date : 18/10/2024

Signature :



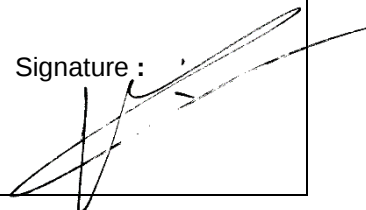
Approbateur :

Nom : V. Mardhel

Fonction: Directeur Antenne
Nouvelle Calédonie

Date :

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : aléa, susceptibilité, mouvement de terrain, glissement de terrain, chutes de blocs, laves torrentielles, Nouvelle Calédonie, Pouembout

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Colas B., Thiery Y., Guyomard Y., Mengin M., Monge O. (2023) – Cartographie de l'aléa mouvement de terrain. Commune de POUEMBOUT (Nouvelle-Calédonie). Echelle 1:25 000^{ème}. Rapport final. BRGM/RP-72241-FR / DIMENC SGNC-2024(05). Aout 2022, 45 p., 26 illustrations, 7 annexes.

SYNTHESE

Lors des événements météorologiques intenses de novembre 2016, la commune de Houailou a éprouvé des phénomènes de mouvements de terrain dramatiques (8 victimes). Cette menace fait partie des risques naturels auxquels le pays est soumis, dont les plus notables sont les risques cycloniques (vent, pluie, submersion), les inondations, les incendies, les séismes et les tsunamis.

L'aléa « mouvements de terrain » à l'échelle du pays reste encore méconnue et insuffisamment pris en compte par les populations et les autorités. En conséquence, une démarche de caractérisation des aléas mouvement de terrain a été engagée à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, dans le cadre d'un programme pluriannuel, le gouvernement de Nouvelle-Calédonie, grâce au service géologique de la DIMENC, et le BRGM ont convenu de mutualiser leurs moyens et leurs compétences pour établir des cartes communales d'aléas mouvements de terrain, à l'échelle du 1 : 25 000^{ème}.

La méthode d'évaluation des aléas est relativement innovante, déclinée par type de phénomène (éboulement rocheux, glissements fins et grossiers et laves torrentielles), basée sur une approche quantitative intégrant intensité (ampleur) et probabilité d'occurrence des phénomènes considérés. Cette démarche est détaillée dans un rapport spécifique (BRGM/RP-73161-FR DIMENC/SGNC-2023(10)). L'ensemble des réalisations sont menées de façon partenariale entre le service de la géologie de Nouvelle Calédonie (SGNC) et le BRGM, suivant l'état de l'art porté par les groupes de travaux nationaux relatifs aux mouvements de terrain.

Le présent rapport se veut très illustré et abordable par le plus grand nombre, dans un souci d'information et de prévention. Il expose et présente pour la commune de Pouembout :

- Le contexte communal ;
- La démarche méthodologique ;
- L'inventaire des phénomènes passés ;
- Les données produites et utilisées ;
- Les résultats

Les annexes permettent le cas échéant d'approfondir certains points.

Ce programme de cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » est la première brique de la politique publique de gestion des risques (PPGR, 10/2022), élaborée à la demande du gouvernement de Nouvelle-Calédonie et coordonnée par la direction de la sécurité civile et de la gestion des risques (DSCGR). Pour rappel :

- La Nouvelle-Calédonie est compétente en matière de sécurité civile, et donc de prévention des risques, depuis que ce transfert est effectif (1er janvier 2014).
- Les Plans de Prévention des Risques (PPR) naturels prévisibles ne s'appliquent pas en Nouvelle-Calédonie.

A la place, il est envisagé de superposer l'aléa aux enjeux actuels ou futurs (définis en concertation avec les collectivités locales), afin que des recommandations voire des prescriptions en matière d'aménagement ou de construction, puissent être appliquées le cas échéant, selon des principes directeurs à définir, ou le volontarisme de communes et provinces.

Sommaire

1	PRESENTATION DE LA COMMUNE	11
2	PRESENTATION DE LA DEMARCHE.....	13
2.1	Evaluation de la rupture	13
2.2	Evaluation de la propagation	14
2.3	Evaluation de l'aléa	14
3	INVENTAIRE DES EVENEMENTS PASSES.....	16
4	LES DONNEES NECESSAIRES : VARIABLES PREDICTIVES	23
4.1	Données géologiques.....	23
4.2	Données morphologiques.....	28
5	RESULTATS	31
5.1	Cartographie de l'aléa mouvements de terrain	31
5.2	Validation des résultats	32
5.3	Enjeux et risques.....	41
6	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	43
7	BIBLIOGRAPHIE.....	45
7.1	Guides.....	45
7.2	Rapports	45
7.3	Documents académiques	45
8	ANNEXES.....	47
8.1	Annexe 1 – Lexique des termes utilisés	47
8.2	Annexe 2 – Indicateurs morphométriques des évènements	54
8.3	Annexe 3 – Susceptibilité de rupture par phénomène	56
8.4	Annexe 4 – Méthode d'évaluation de l'aléa mouvement de terrain	75
8.5	Annexe 5 – Application sur la commune de POUEMBOUT	81
8.6	Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain	89
8.7	Annexe 7 – Atlas cartographiques : aléa mouvement de terrain	91
Annexe hors-texte : BDD cartographiques (SIG)		
Inventaire des mouvements de terrain		
Cartes d'aléa par phénomène et carte de synthèse		

Liste des illustrations

Illustration 1 – Présentation de la commune de Pouembout.....	12
Illustration 2 – Matrice d'évaluation de l'aléa croisant Intensité et Atteinte	14
Illustration 3 – Synthèse méthodologique	15
Illustration 4 – Exemple de cartographie des enveloppes des mouvements	17
Illustration 5 – Inventaire des phénomènes.....	18
Illustration 6 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat volcano-sédimentaire.....	19
Illustration 7 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat ultrabasique	20
Illustration 8 – Dénombrement des phénomènes de mouvements de terrain par période	21
Illustration 9 – Distribution des surfaces [m ²] et des pentes [°] par typologie de mouvements de terrain	21
Illustration 10 – Cartographie du substratum géologique.....	25
Illustration 11 – Exemple de mise à jour de la carte du régolithe.....	26
Illustration 12 – Cartographie des classes de formations du régolithe sur la commune de Pouembout	27
Illustration 13 – Cartographie des classes de pentes sur la commune de Pouembout	28
Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Pouembout	29
Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (Landform) sur la commune de Pouembout	30
Illustration 16 – Exposition du territoire communal (km ² et %) aux différents types de phénomène et niveau d'aléa	32
Illustration 17 – Taux de reconnaissance selon le type de phénomène (rupture)	33
Illustration 18 – Taux de reconnaissance des événements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa finale pour chaque de phénomène	33
Illustration 19 – Propagation de LT hors emprise de zone soumise théoriquement à aléa(LT)	34
Illustration 20 – Cartographie de l'aléa chutes de blocs sur la commune de Pouembout	35
Illustration 21 – Cartographie de l'aléa glissements fins sur la commune de Pouembout.....	36
Illustration 22 – Cartographie de l'aléa glissements grossiers sur la commune de Pouembout.....	37
Illustration 23 – Cartographie de l'aléa laves torrentielles sur la commune de Pouembout	38
Illustration 24 – Cartographie générale de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Pouembout	39
Illustration 25 – Exposition des constructions à l'aléa mouvements de terrain sur la commune de Pouembout	41
Illustration 26 – Les 7 piliers de la prévention des risques naturels, au service de la Politique Publique de Gestion des Risques (PPGR) en Nouvelle-Calédonie	44

1 Présentation de la commune

D'une superficie de 674 km², la commune de Pouembout est située sur la côte est de la Grande Terre, en Province Nord, entre la commune de Koné au nord, Poya au sud, Ponérihouen à l'est et Poindimié au nord-est (Illustration 1).

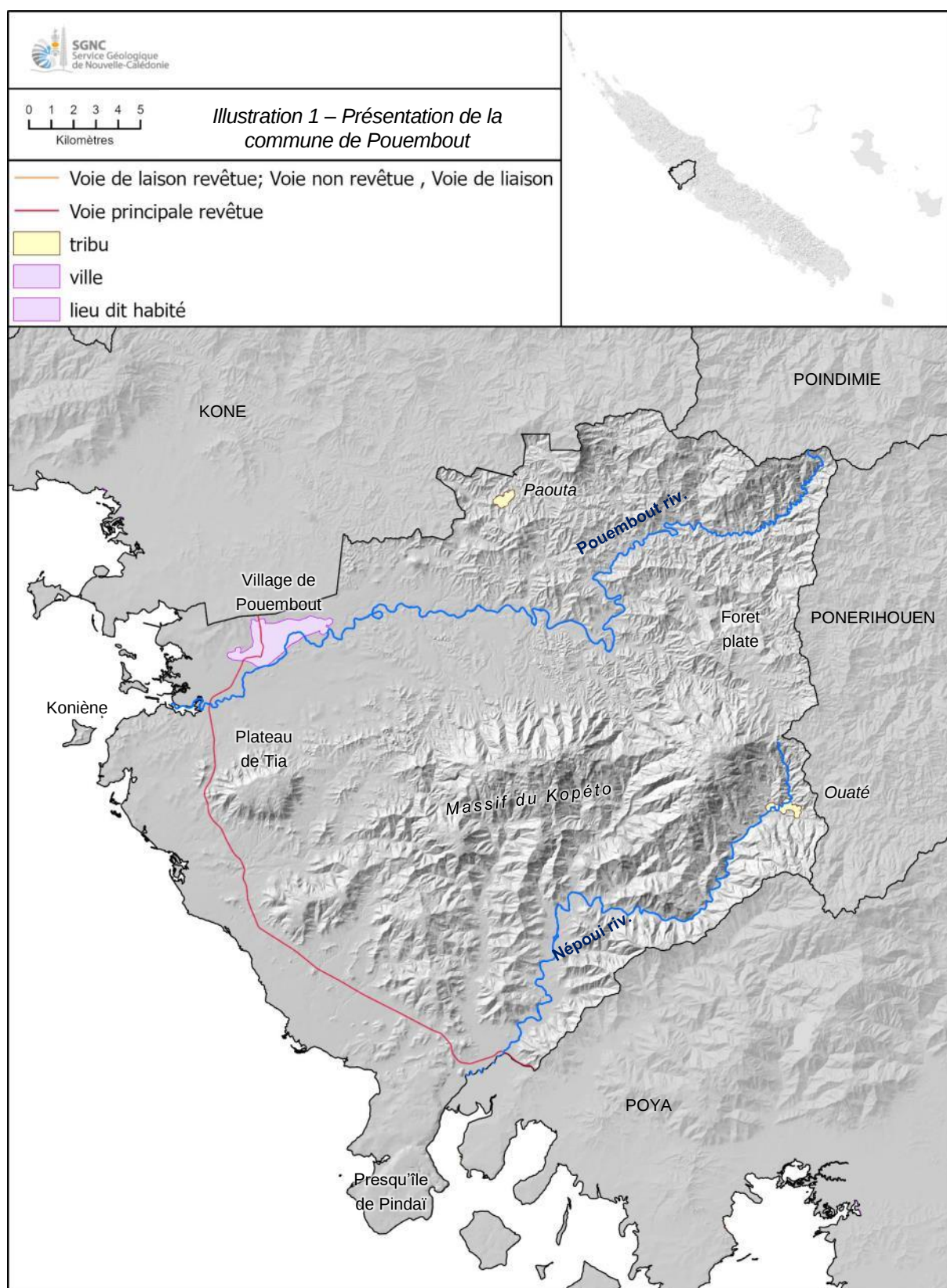
La commune de Pouembout est centrée sur le massif du Kopéto qui occupe la moitié sud-est de la commune. Le massif du Kopéto est recoupé par la rivière Népoui qui remonte en direction du nord-est et dont la limite de bassin versant marque la limite avec la commune de Poya au sud-est.

Le village de Pouembout qui se développe au niveau de la plaine alluviale de la rivière Pouembout, au nord-ouest de la commune, à la limite avec la commune de Koné.

La population de la commune était de 2 752 habitants en 2019, soit une densité de 4,1 habitants/km² (14,6 habitants/km² en Nouvelle-Calédonie). La population est essentiellement localisée au niveau du village de Pouembout.

Deux tribus sont présentes sur la commune, où vivent 356 habitants. La tribu de Ouaté est située en partie amont du bassin versant de la Népoui et la tribu de Paouta située à proximité de la limite communale avec Koné au nord.

A noter également de nombreuses habitations dispersées dans la plaine alluviale de la rivière Pouembout, en périphérie du plateau de Tia.



2 Présentation de la démarche

L'aléa se définit comme la manifestation d'un phénomène ou un événement naturel d'**occurrence** et d'**intensité** données (C2ROP, 2022). Caractériser l'aléa mouvement de terrain sur un territoire revient à définir la probabilité spatiale (susceptibilité) et temporelle (période de retour) qu'un type de phénomène, d'une certaine intensité (ampleur et conséquences du phénomène) se produise à l'échelle de ce territoire, pour une période temporelle donnée (Cruden et Fell, 1997 ; Fell et al., 2005).

La caractérisation de l'aléa est menée pour 4 types de mouvements de terrain : les chutes de blocs (CB), les glissements fins (GF), les glissements grossiers (GG) et les laves torrentielles (LT) (voir Lexique en annexe, § 8.1). Les grands glissements de versant (GGV), phénomènes exceptionnels et plus anciens sont délimités pour mémoire, mais l'aléa associé n'est pas caractérisé.

L'inventaire des phénomènes passé constitue un préalable indispensable à l'évaluation des aléas pour identifier les conditions d'apparition des événements. Il est réalisé sur l'ensemble du territoire communal principalement à partir de photo-interprétation (photos aériennes et images satellites) à différentes dates (1976, 2008, 2011, etc.).

L'évaluation de l'occurrence du phénomène (ou atteinte) intègre **la rupture et la propagation** de celui-ci. La rupture intègre une dimension temporelle alors que la propagation est indépendante du temps (une fois enclenché le mouvement se propage plus ou moins loin dans les versants). Les deux évaluations (rupture et propagation) sont donc menées successivement (voir annexe 8.4) : analyse de la rupture (dimension spatiale et temporelle du phénomène) puis celle de la propagation (composante spatiale uniquement).

2.1 Evaluation de la rupture

Globalement la méthode déployée consiste à pondérer l'influence des facteurs de prédisposition (variables prédictives) définis par la typologie de chaque phénomène :

- Géologie du substratum, formations superficielles (régolithe), pentes et paysages (landform, paramètre géomorphologique issu du MNT¹) pour les GF et GG,
- Formations du régolithe, pentes, MNT et indice de positionnement topographique (TPI, Topographic Position Index) pour les LT.

Pour les LT, GF et GG la méthode valorisée est statistique (WoE : poids des évidences) en valorisant les données d'inventaire.

Pour les CB l'approche est experte basée sur la morphologie et la lithologie des formations géologiques.

¹ MNT : Modèle Numérique de Terrain, altitude du sol à la maille de 10 m (DITTT)

2.2 Evaluation de la propagation

L'évaluation de la propagation des phénomènes diffère selon les aléas. Pour les GG, GF et LT une modélisation numérique² a été mise en œuvre. Cette modélisation permet de réaliser une hiérarchisation des périmètres de propagation en se basant sur les retours d'expérience fournis par l'inventaire. Le paramétrage du modèle dépend du type de phénomène. Le volume d'écoulement des débris, et de fait les hauteurs des masses propagées, ne sont pas évalués.

Pour les CB la propagation des chutes de blocs et éboulements est évaluée à partir de l'application de la méthode dite de la ligne d'énergie déclinée en 3D³.

2.3 Evaluation de l'aléa

La caractérisation de l'aléa se fait par croisement entre l'intensité du phénomène et la probabilité d'atteinte. Pour les GF, GG et LT, l'intensité est directement déduite de la vitesse du phénomène. Pour les CB, l'intensité dépend du volume de bloc en mouvement et de sa vitesse. Dans le cadre de l'étude, le volume du bloc est considéré homogène entre 0,25 et 1 m³ indépendamment des formations géologiques concernées.

La matrice de croisement entre intensité et atteinte est présentée en Illustration 2. L'aléa est défini suivant 6 niveaux : Nul à négligeable, Très faible, Faible, Modéré, Elevé, Très élevé. Les différentes approches pour la détermination des probabilités d'intensité, de rupture et de propagation par type de phénomène sont synthétisées dans le tableau en Illustration 3.

		Intensité					
		Extrêmement lent	Très lent qq mm/an	Lent à rapide # qq m/jour	Très rapide # qq m/min	Extrêmement rapide # m/s	
		Très faible 16 mm/an	Faible 1,6 mm/an	Moyenne 3 m/an	Très faible 5 m/an	Très élevée	
Probabilité d'atteinte (classe d'atteinte)	Nulle à négligeable (1) 10 ⁻⁶	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Très faible	Très faible	
	Négligeable (2) 10 ⁻⁵	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Très faible	Faible	Faible	
	Très faible (3) 10 ⁻⁴	Nul à négligeable	Très faible	Faible	Modéré	Modéré	
	Faible (4) 10 ⁻³	Nul à négligeable	Faible	Modéré	Modéré	Elevée	
	Moyen (5) 10 ⁻²	Très faible	Modéré	Modéré	Elevée	Elevée	
	Elevée (6) 10 ⁻¹	Faible	Modéré	Elevée	Elevée	Très élevée	
	Très élevée (7)	Faible	Modéré	Elevée	Très élevée	Très élevée	
		GF CB			GG		LT

Illustration 2 – Matrice d'évaluation de l'aléa croisant Intensité et Atteinte

A titre d'exemple sur la caractérisation des aléas, un aléa élevé de glissement fin suppose une atteinte (occurrence) élevée à très élevée alors qu'une atteinte « faible » lave

² Avec l'outil Flow-R (Flow path assessment of gravitational hazards at Regional scale, Horton et al., 2013), Flow-R est un modèle empirique distribué pour l'évaluation de la susceptibilité aux mouvements gravitaires

³ Avec l'outil ConeFall développé par l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) et QUANTERRA (<https://quanterra.ch/resources/software/>).

torrentielle induit un aléa élevé, compte tenu du caractère particulièrement rapide et destructeur de ce phénomène.

		Type de phénomène			
		CB	GF	GG	LT
Intensité		Taille des blocs	Vitesse		
		Moyenne	Moyenne	Elevée	Très élevée
		Volume compris entre 0.25 et 1 m ³	Lent (0.005mm/s) à Rapide (50 mm/s)	Très rapide (50 mm/s à 5 m/s)	Extrêmement rapide (>5 m/s)
Atteinte	Rupture	Probabilité présence escarpement rocheux (selon un seuil de pente déduit de la résolution du MNT) + Probabilité chute de bloc (selon une approche experte à partir des lithologies)	Calculs statistiques "Weight of evidence" à partir de variables prédictives et de l'inventaire des phénomènes		
			Variables prédictives :		
			Géologie du substratum	Formations du régolithe	
			Formations du régolithe	Pentes (dérivées du MNT)	
			Pentes (dérivées du MNT)	TPI (indice de position topographique, dérivée du MNT)	
			Landform (dérivée du MNT)	-	
	Propagation	Calculs basés sur la notion de ligne d'énergie			
		Logiciel ConeFall	Logiciel Flow-R		

Illustration 3 – Synthèse méthodologique

3 Inventaire des événements passés

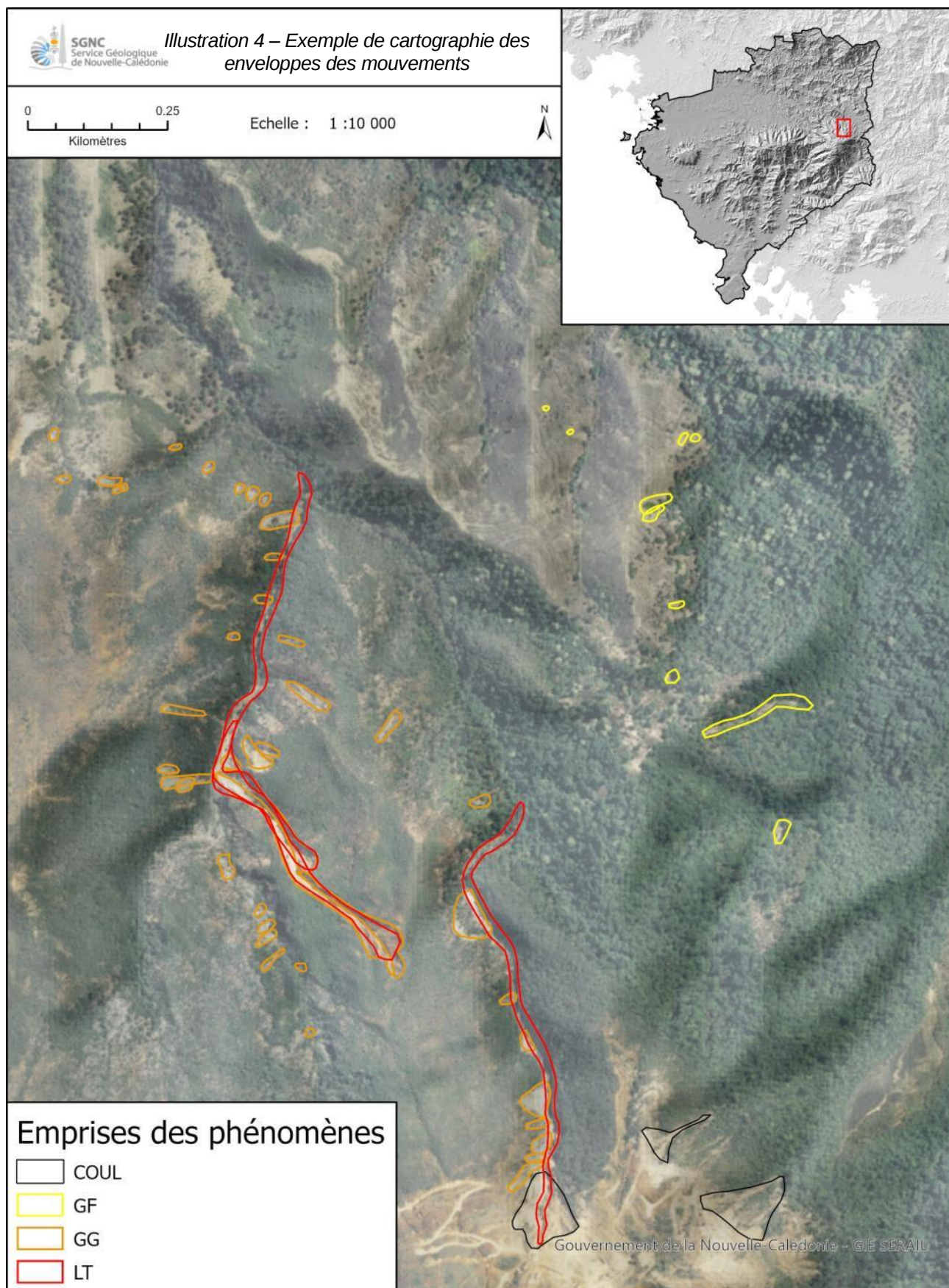
2 802 évènements ont été recensés sur le territoire communal de Pouembout et représentés cartographiquement par leur extension (Illustration 4, Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain). Ils se répartissent selon 5 types (Illustration 5, Illustration 6, Illustration 7, Annexe 1 – Lexique des termes utilisés) :

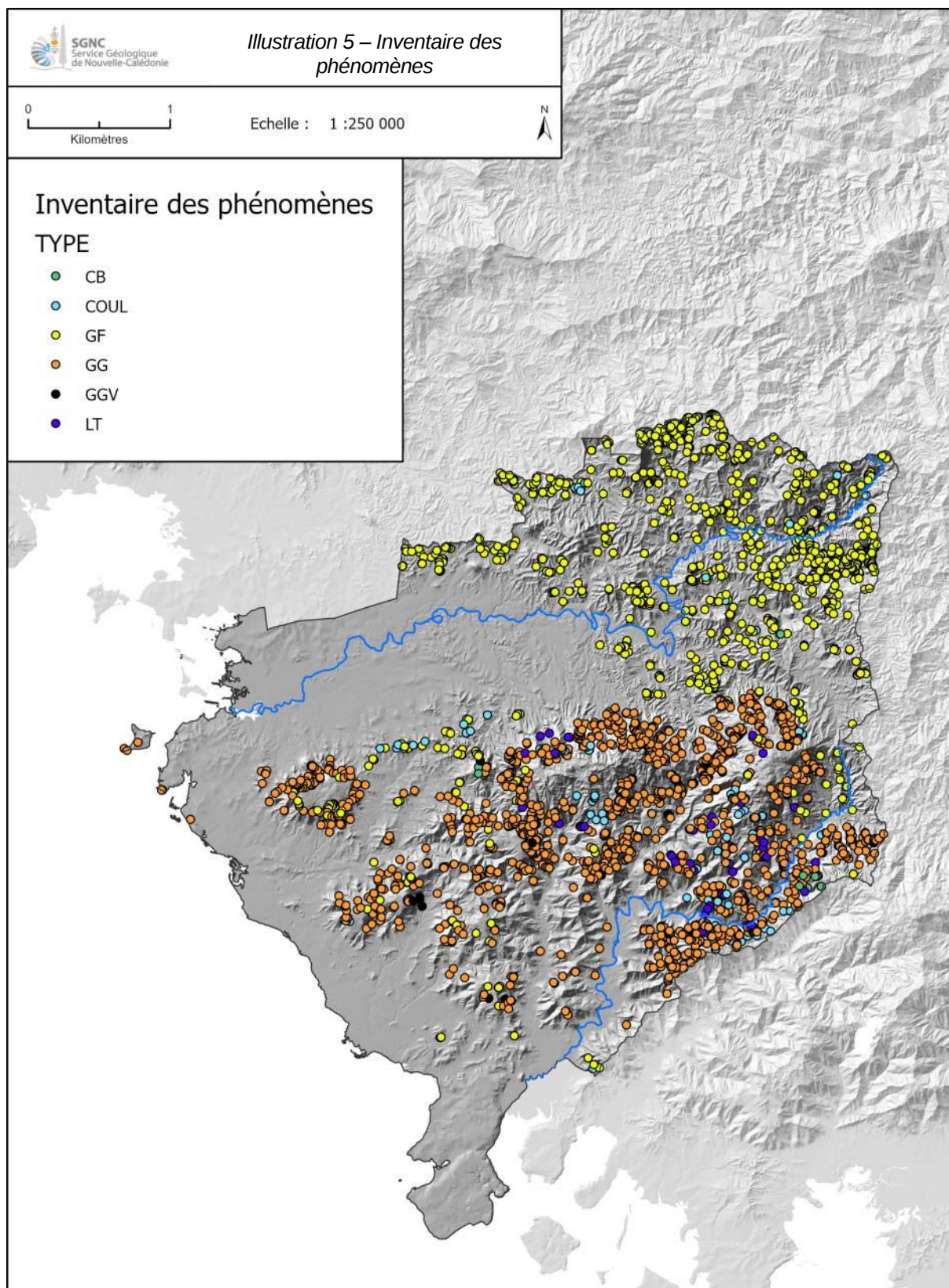
- Les glissements grossiers (GG) comptent 1 582 mouvements (56,5% de l'inventaire)
- Les glissements fins (GF) comptent 1 029 mouvements (36,7% de l'inventaire) ;
- Les coulées (COUL) comptent 99 évènements (3,5%), ces phénomènes décrivent les mouvements de matériaux fins et /ou grossiers qui résultent de mécanismes érosifs (ravinement), affectant les zones de décharges minières ;
- La présence de 66 laves torrentielles (LT), (2,4% des évènements) ;
- Relativement peu de chutes de blocs (CB), 14 évènements (0,5%), compte tenu de la difficulté à repérer des blocs éboulés par photo-interprétation ;
- Notons également 12 grands glissements de versants (GGV) (0,4% des phénomènes).

Spatialement les mouvements affectent la totalité de la commune, avec cependant une répartition dépendante de la géologie et du relief (Illustration 5). Les glissements grossiers et laves torrentielles affectent majoritairement les versants du massif péridotitiques du Kopéto et du plateau de Tia, tandis que les glissements fins sont concentrés sur les formations sédimentaires de la chaîne centrale au nord-est. Les enveloppes des mouvements sont cartées en distinguant zones de rupture (ou d'ablation) et zone de propagation (ou d'accumulation).

Temporellement (Illustration 8), la majorité (66%) des évènements recensés est datée d'avant 1976 (phénomènes repérés sur les images de la campagne 1976) ; 29% sont identifiés entre 1976 et 2016 et sont qualifiés de « récents » et 5% sont qualifiés d'actuels (à partir de 2016).

L'effort considérable de recensement et de caractérisation des événements passés permet une exploitation statistique robuste et précieuse pour l'évaluation des aléas (Illustration 9 ; Annexe 2 – Indicateurs morphométriques des évènements).





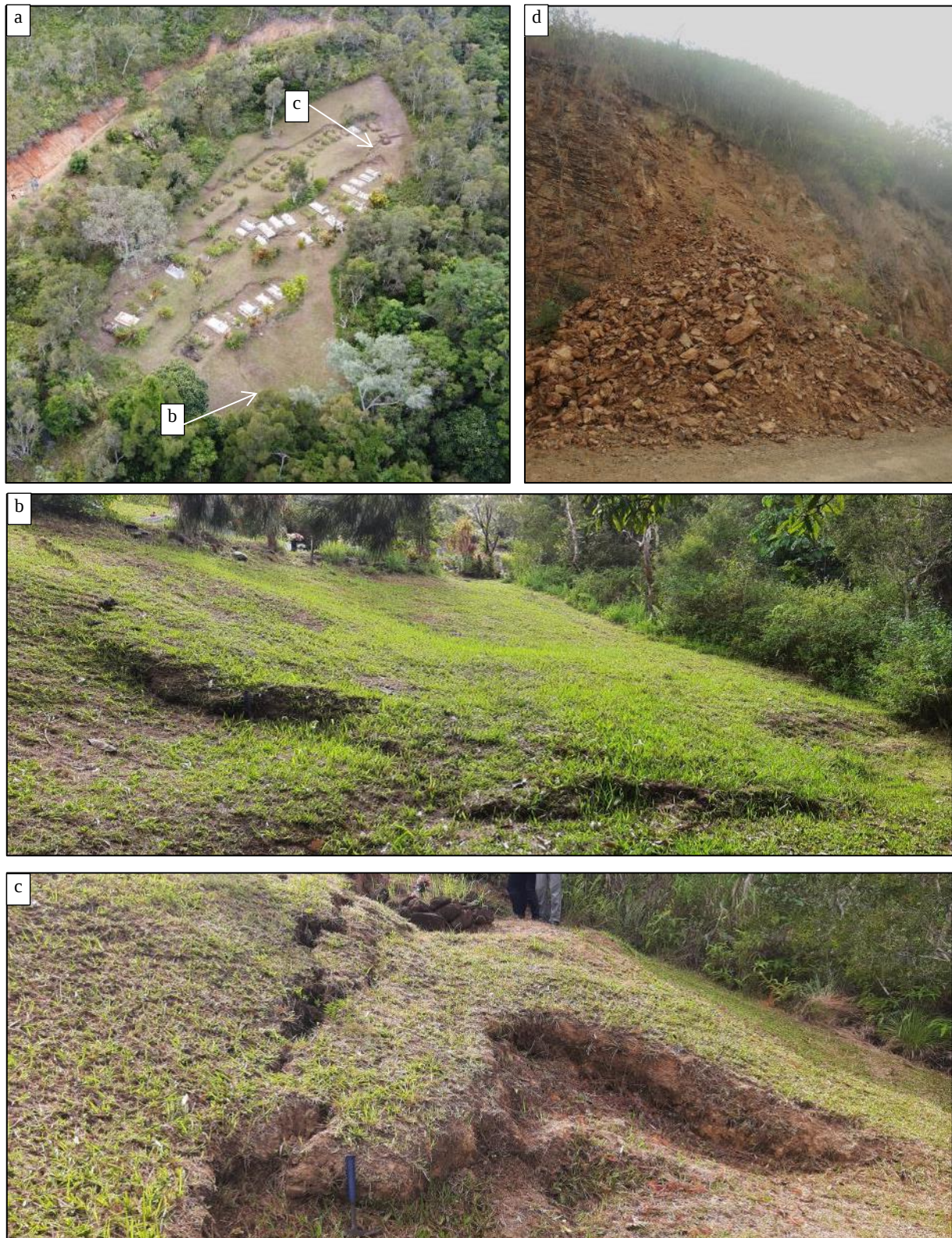


Illustration 6 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat volcano-sédimentaire

- a) Vue sur le cimetière de la tribu de Ouaté affecté par un glissement fin ;*
- b) Cimetière de Ouaté : bourrelet frontal ;*
- c) Cimetière de Ouaté : zone de rupture amont ;*
- d) Glissement grossier : talus de la RM21 en rive droite de la Pouembout.*

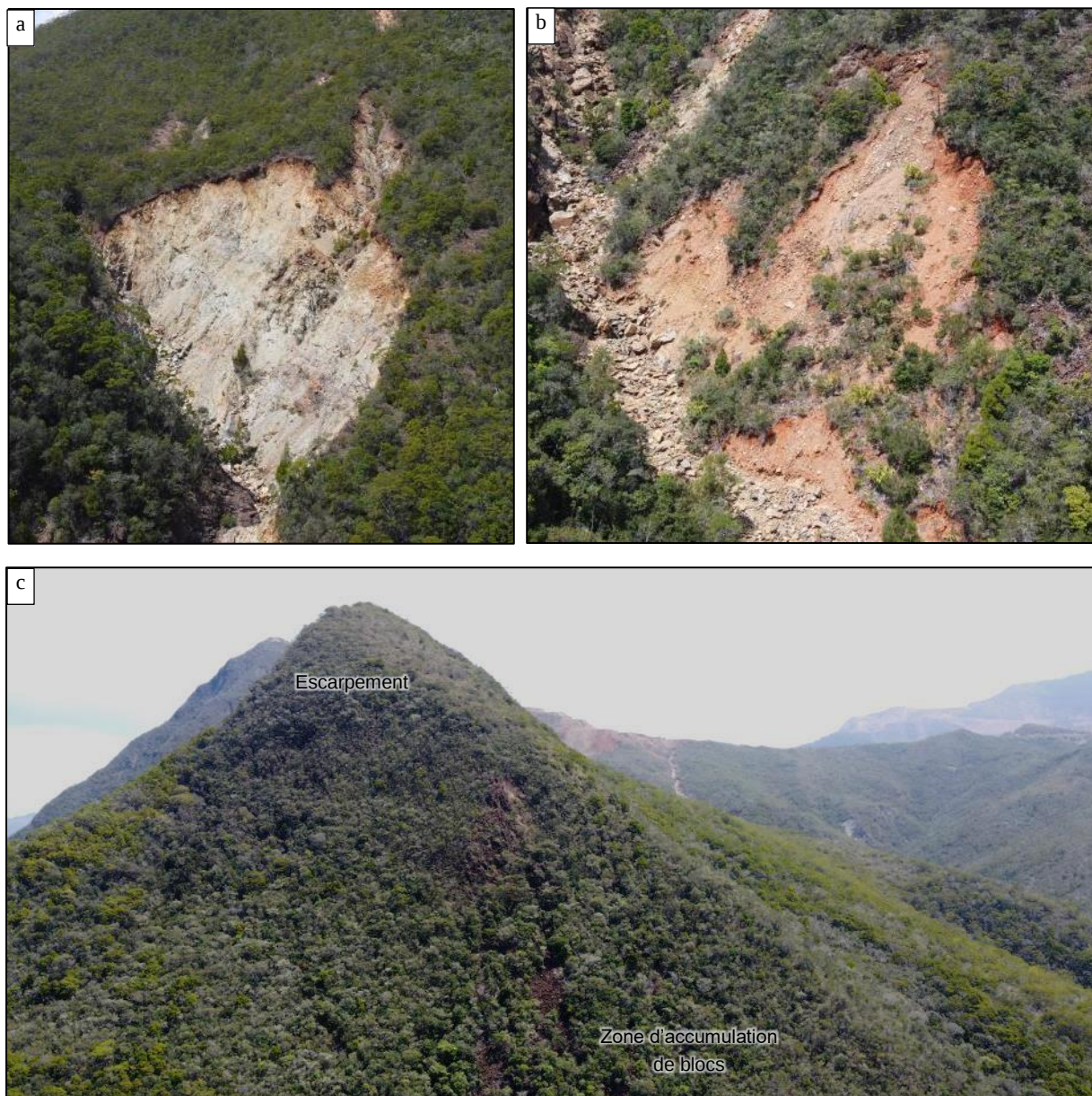


Illustration 7 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat ultrabasique

- a) Glissement grossier sur versant en rive droite de la Népoui, massif du Kopéto ;*
- b) Glissement fins sur versant en rive droite de la Népoui, massif du Kopéto ;*
- c) Zones de production de chute de blocs sur escarpement rocheux, versant en rive droite de la Népoui, massif du Kopéto.*

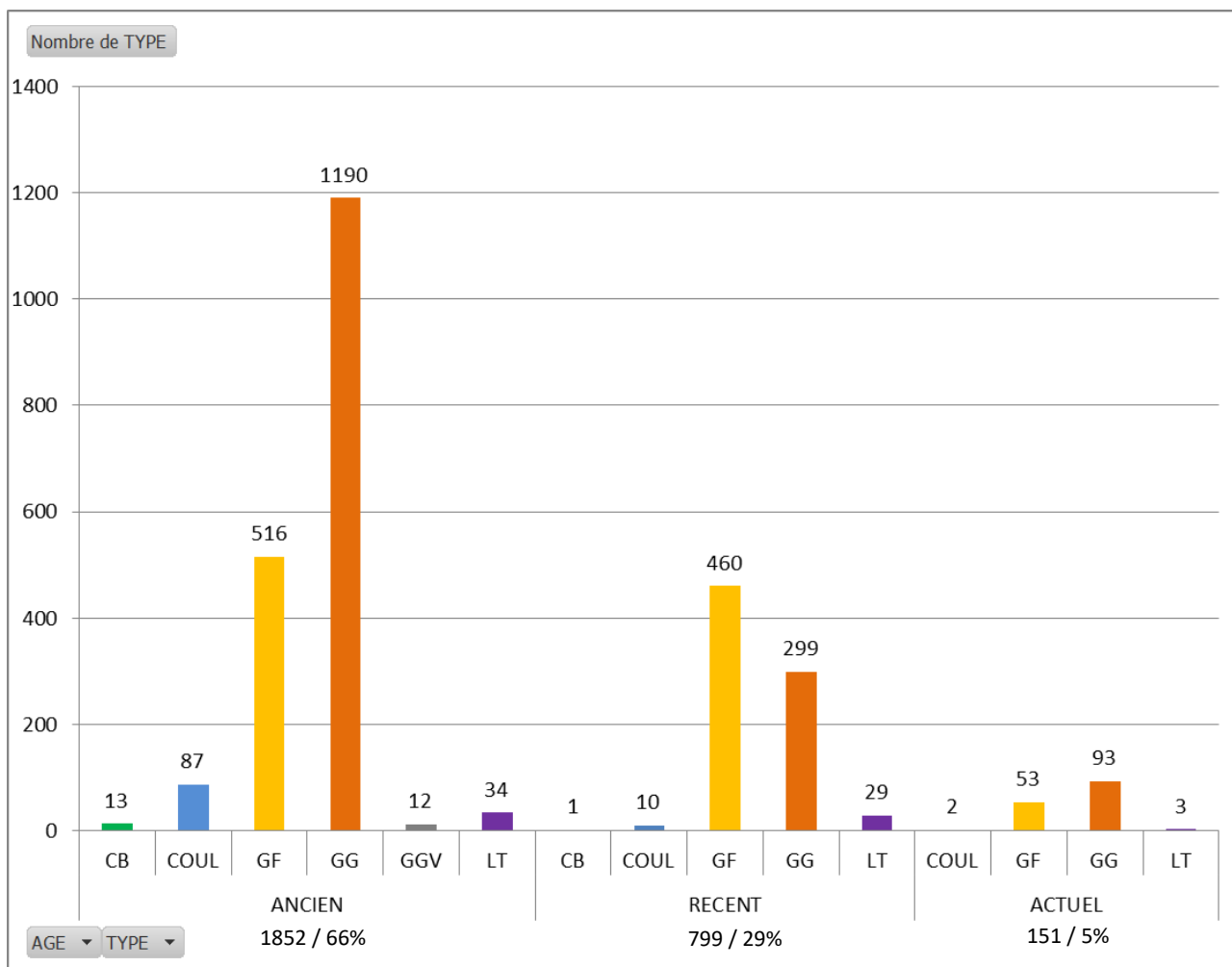


Illustration 8 – Dénombrement des phénomènes de mouvements de terrain par période

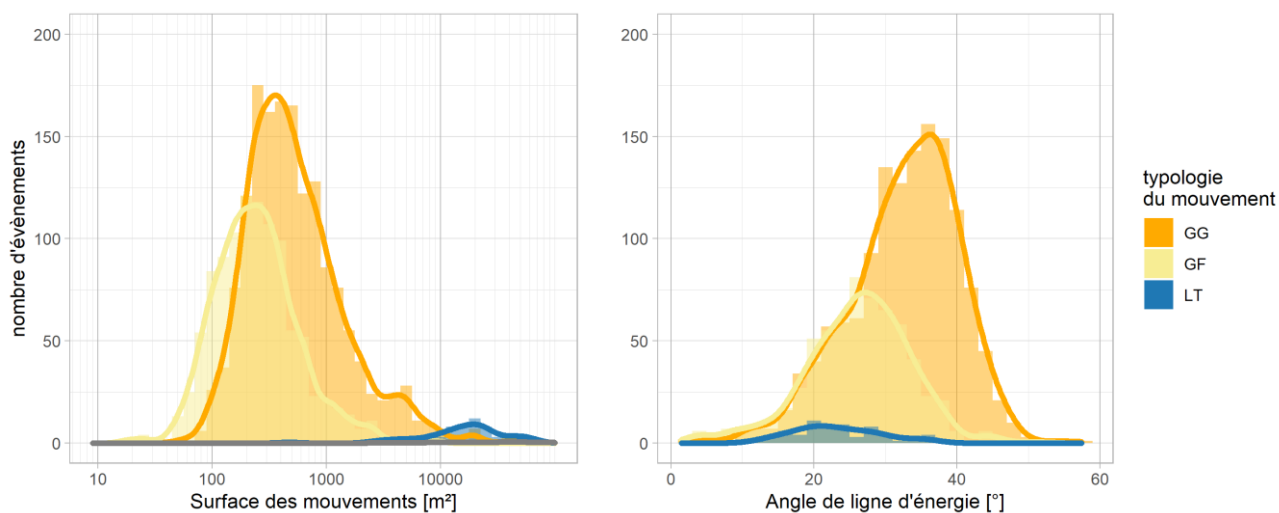


Illustration 9 – Distribution des surfaces [m²] et des pentes [°] par typologie de mouvements de terrain

4 Les données nécessaires : variables prédictives

Les variables prédictives sont utilisées conjointement avec les données de l'inventaire pour évaluer la probabilité de rupture pour l'ensemble des phénomènes (approche statistique pour GG, GF, LT et hiérarchisation experte pour CB). Outre les données d'ordre géologique : nature du substratum et des formations du régolithe, les calculs se basent également sur des données morphologiques, issues du traitement du MNT : pente, landform et TPI (Topographic Position Index ou indice de position topographique).

4.1 Données géologiques

4.1.1 Le substratum géologique

Sur la commune de Pouembout, on distingue quatre grands ensembles (Illustration 10) :

- Les terrains de la séquence ophiolitique (roches magmatiques) : nappe des péridotites et unité de Poya, qui constituent un vaste ensemble couvrant près des deux tiers de la commune. La nappe des péridotites forme le massif du Koniambo au sud-est de la commune ainsi que le plateau de Tia. La nappe des péridotites comprend également d'importants secteurs de serpentinites qui forment la semelle du Kopéto et du plateau de Tia. L'unité de Poya est principalement constituée de basaltes, associés à des argilites, s'étend au nord-ouest de la commune dans la large plaine alluviale de la Pouembout.
- Les formations métamorphiques de l'unité de la Boghen (schiste polymétamorphiques et basaltes), principalement à l'extrême nord de la commune et de façon plus discrète à l'est.
- Une association de formations volcano-sédimentaire qui forment un ensemble complexe dans le tiers nord-est de la commune. Y sont associés les formations de la chaîne centrale de Ponérihouen – Goipin (Trias – Jurassique) et les formations du Crétacé supérieur – Paléocène associant argilites, calcaires, cherts et conglomérats.
- Les formations du flysch éocène et calcaires miocènes qui se développent principalement sur la presqu'île de Pindaï

4.1.2 Les formations superficielles du régolithe

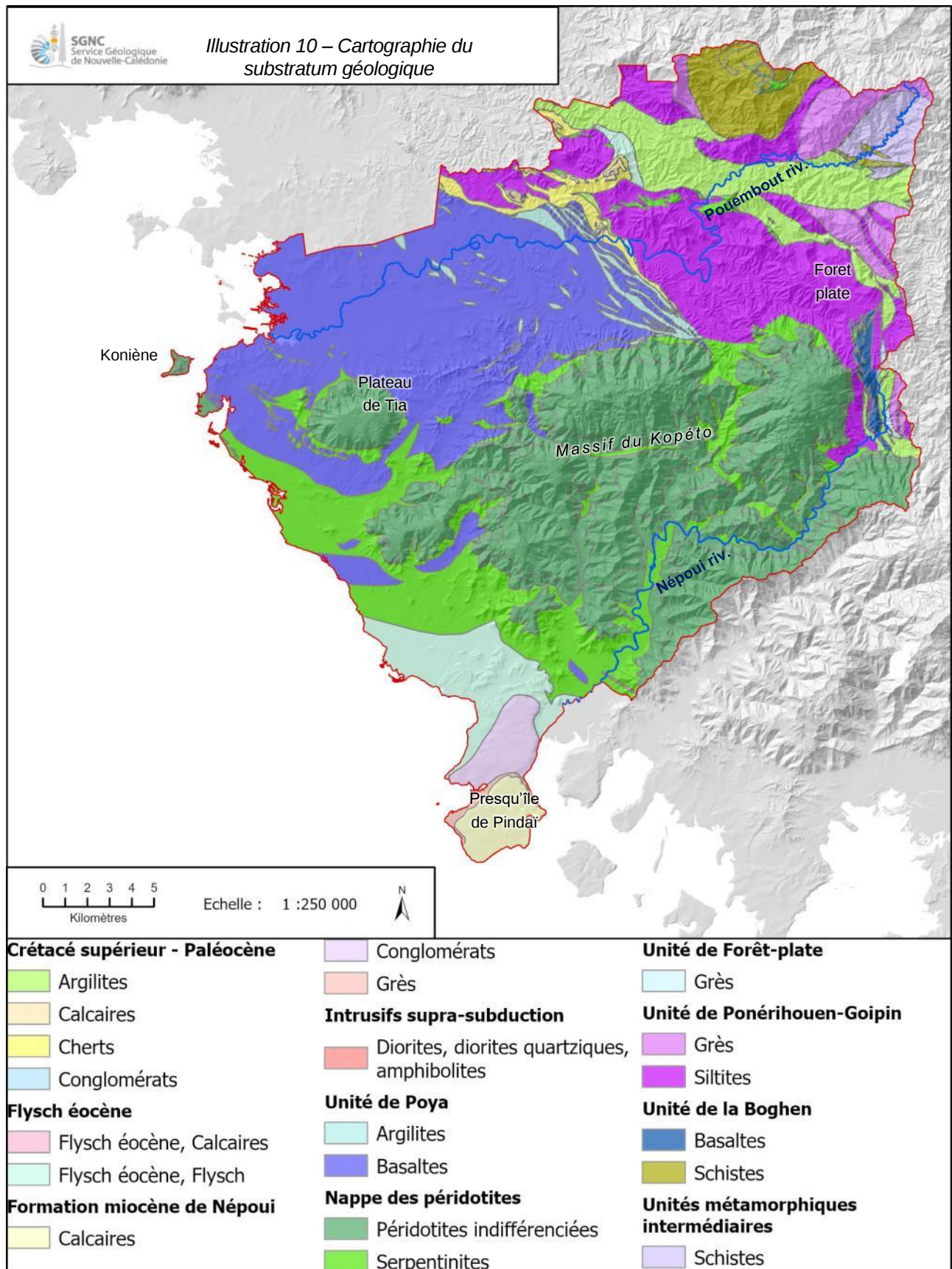
Un des traits caractéristiques des paysages calédoniens est la présence généralisée d'un couvert d'altération. L'ensemble de ces formations superficielles est désignée par le terme de « régolithe » pour lequel sont typiquement distinguées les formations en place ou autochtones et les celles remaniées ou allochtones. Dans le cadre de ces travaux sur l'aléa mouvement de terrain, une attention toute particulière a été portée sur la connaissance et la **cartographie du régolithe** (Illustration 11), donnée essentielle pour la caractérisation de l'aléa. En effet, les phénomènes de mouvement de terrain mobilisent principalement la partie superficielle du profil d'altération, leur connaissance est une donnée fondamentale dans le cadre de la caractérisation des aléas.

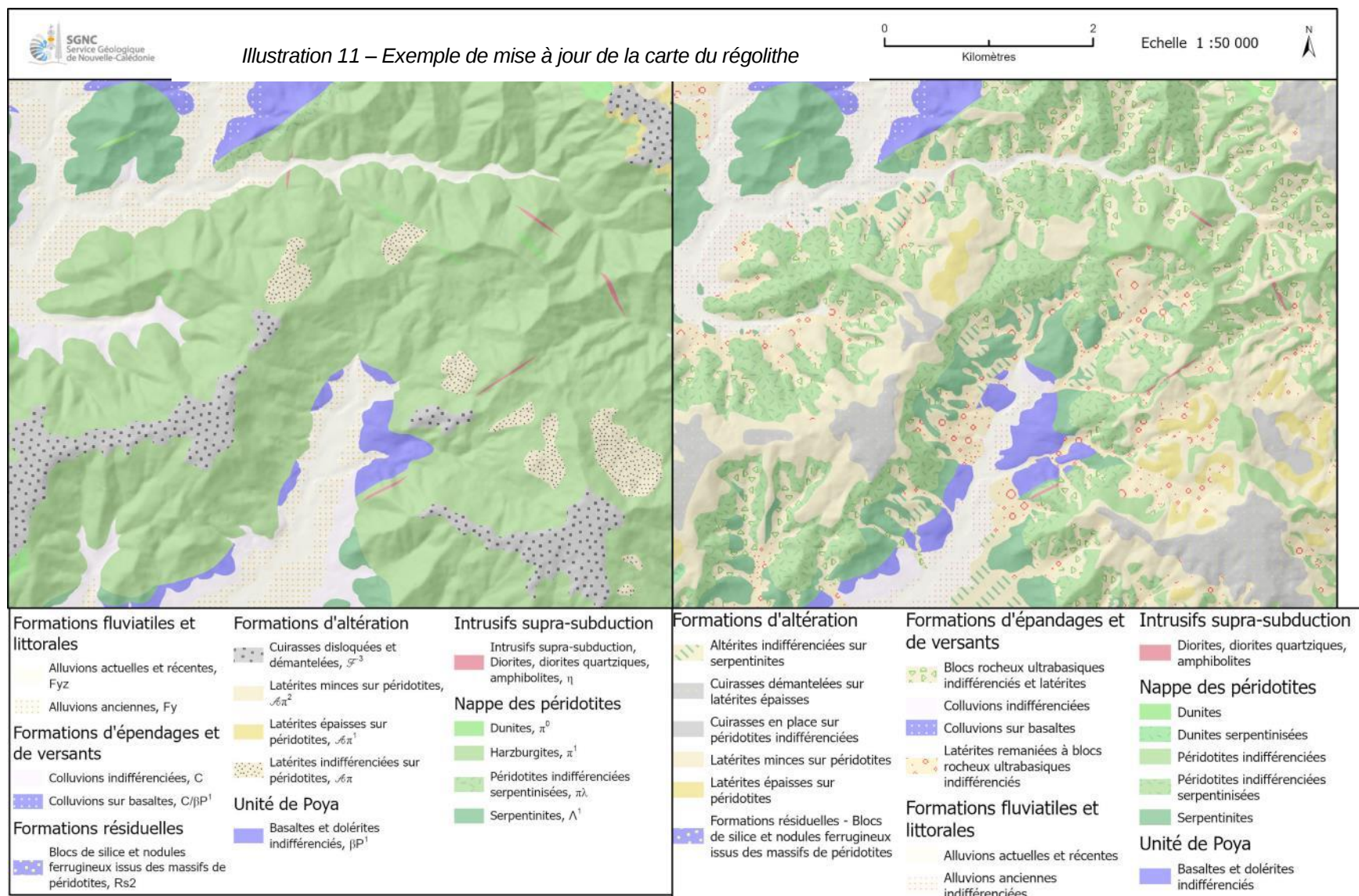
- Massifs péridotites : Sur substrat péridotitique, le régolithe regroupe l'ensemble des faciès du profil d'altération, depuis la saprolite rocheuse jusqu'aux cuirassements

ferrugineux en place, pour lesquels il n'y a pas ou peu eu de phase de transport gravitaire hormis des tassements verticaux pour certains horizons latéritiques rouges. Des épaisseurs de l'ordre de la dizaine de mètres sont courantes et des épaisseurs maximales de 40 m sont connues au niveau des plateaux du sud de la Grande Terre.

- Formation volcano-sédimentaire plus ou moins métamorphisées : Le maître mot de l'altération sur le substrat volcano-sédimentaire est l'argilitisation qui affecte également les faciès sédimentaires et volcaniques et conduit à la formation d'un profil peu épais, de un à quelques mètres tout au plus et exceptionnellement décamétrique pour les épaisseurs les plus importantes.

La carte des formations du régolithe est reclassée selon une typologie à huit classes (Illustration 11) qui permet de discriminer les formations autochtones (FAU) des formations allochtones (FAL) et selon la nature des terrains.





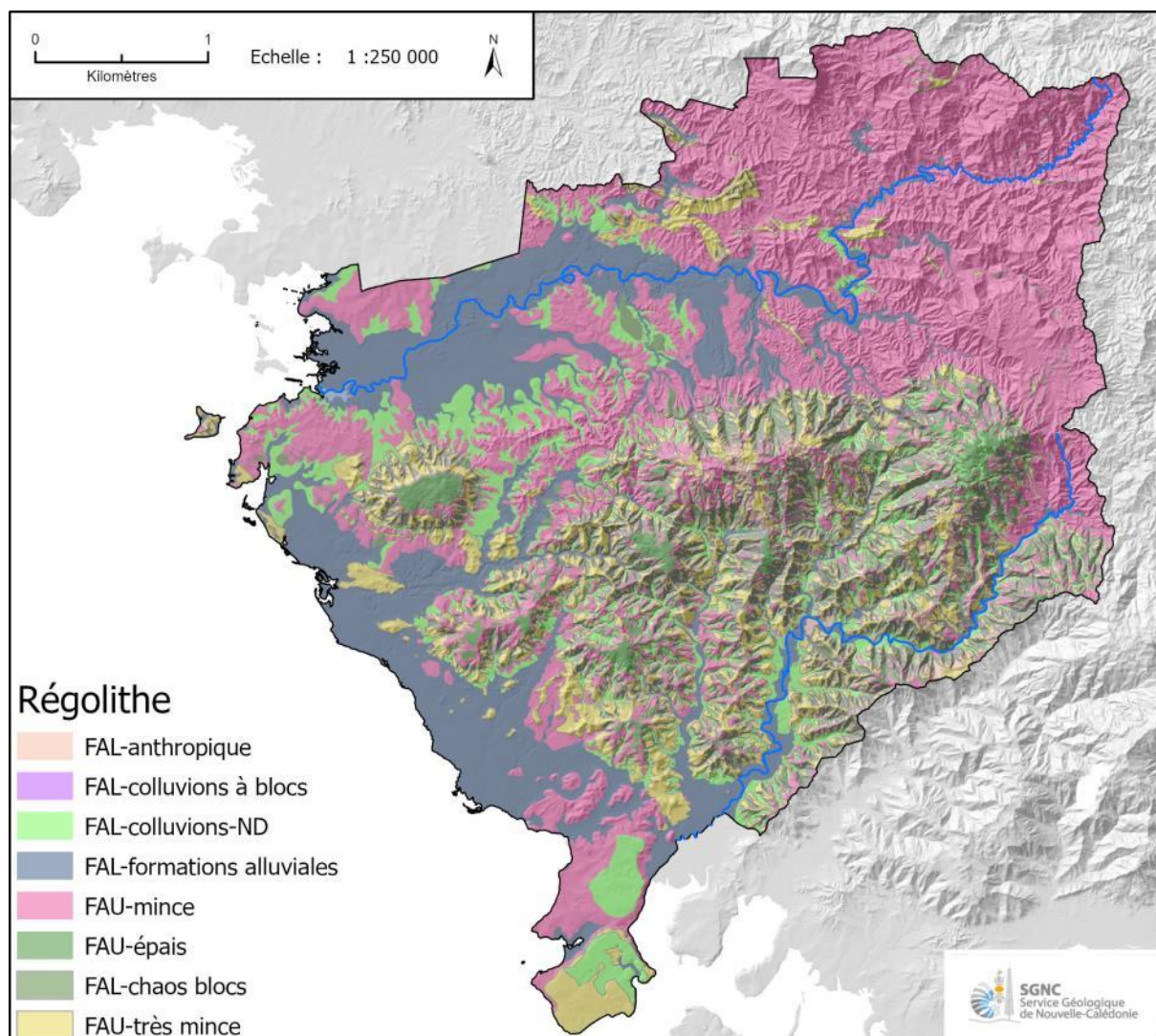


Illustration 12 – Cartographie des classes de formations du régolithe sur la commune de Pouembout

4.2 Données morphologiques

Les données morphologiques dérivent de la donnée topographique, définie sur le territoire par le MNT (grille de 10 m). La résolution et la précision des résultats sont directement liée à la qualité du MNT source. Pour limiter les incertitudes associés à la qualité du MNT initial, un **traitement spécifique pour les besoins du projet** a été engagé afin de pallier notamment l'insuffisance de précision des thalwegs (non représentés, problème d'encaissement trop faible, réseau non conforme à la réalité) qui sont essentiels pour modéliser notamment l'écoulement des laves-torrentielles et les cônes d'étalement. Néanmoins, le MNT tant par sa résolution que par sa définition est une donnée perfectible qui peut altérer localement les résultats et limite la résolution exploitable.

4.2.1 Pentés

Les valeurs de pentes sont calculées à partir de la donnée MNT. Les valeurs sont reclassées en plage de 5° pour les valeurs de pente entre 0 et 50°. Au-delà de 50°, les pentes sont agrégées dans une seule et unique classe (Illustration 13).

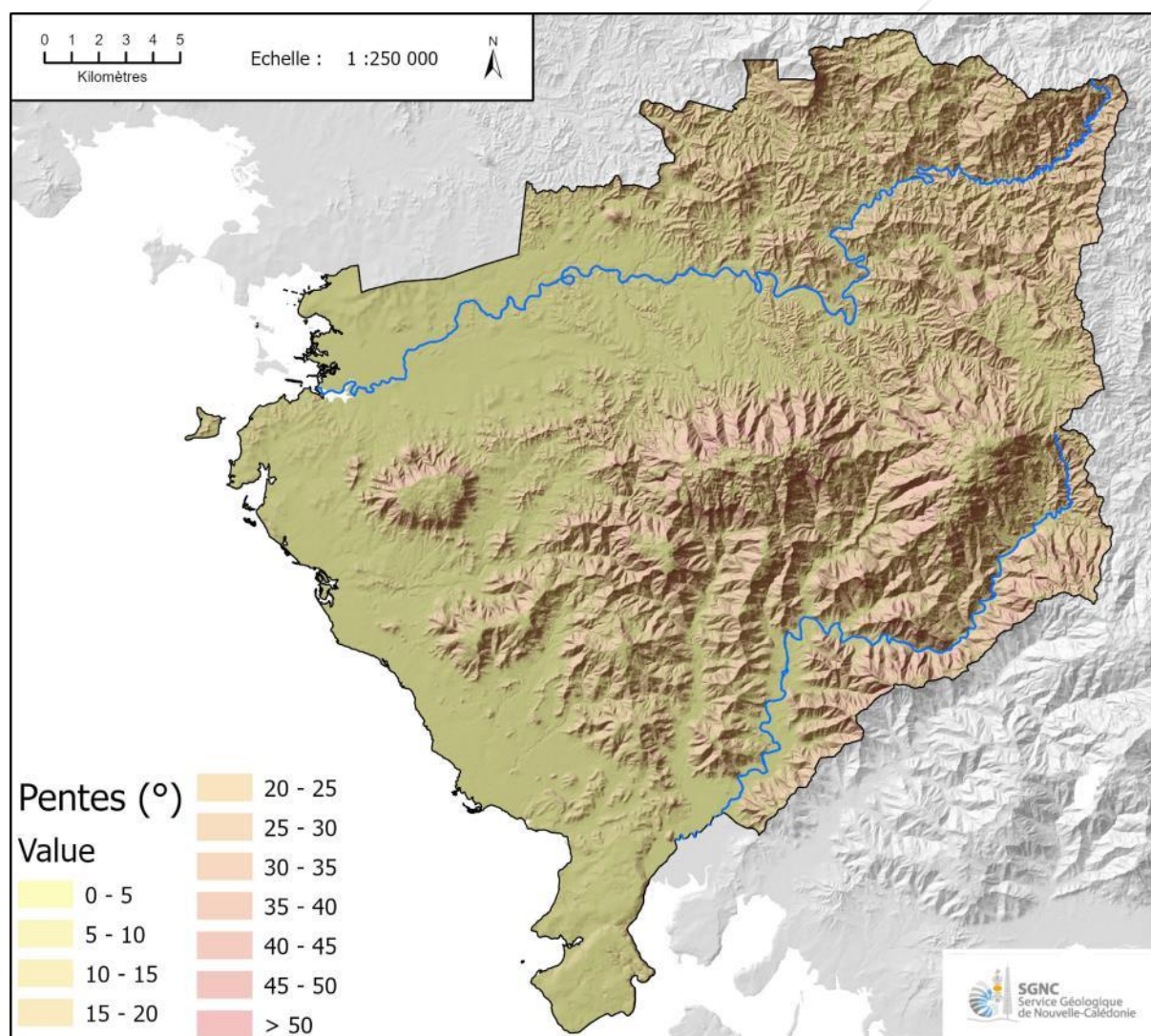


Illustration 13 – Cartographie des classes de pentes sur la commune de Pouembout

4.2.2 Indice de position topographique (TPI)

L'Indice de Position Topographique (TPI) est un premier paramètre intégrateur, descriptif des paysages et morphologies. Il est calculé selon la méthode proposée par Jones et al. (2000) et permet de classer le territoire suivant dix types morphologiques (Illustration 14) : zones de crêtes, de vallées, de versants, etc.

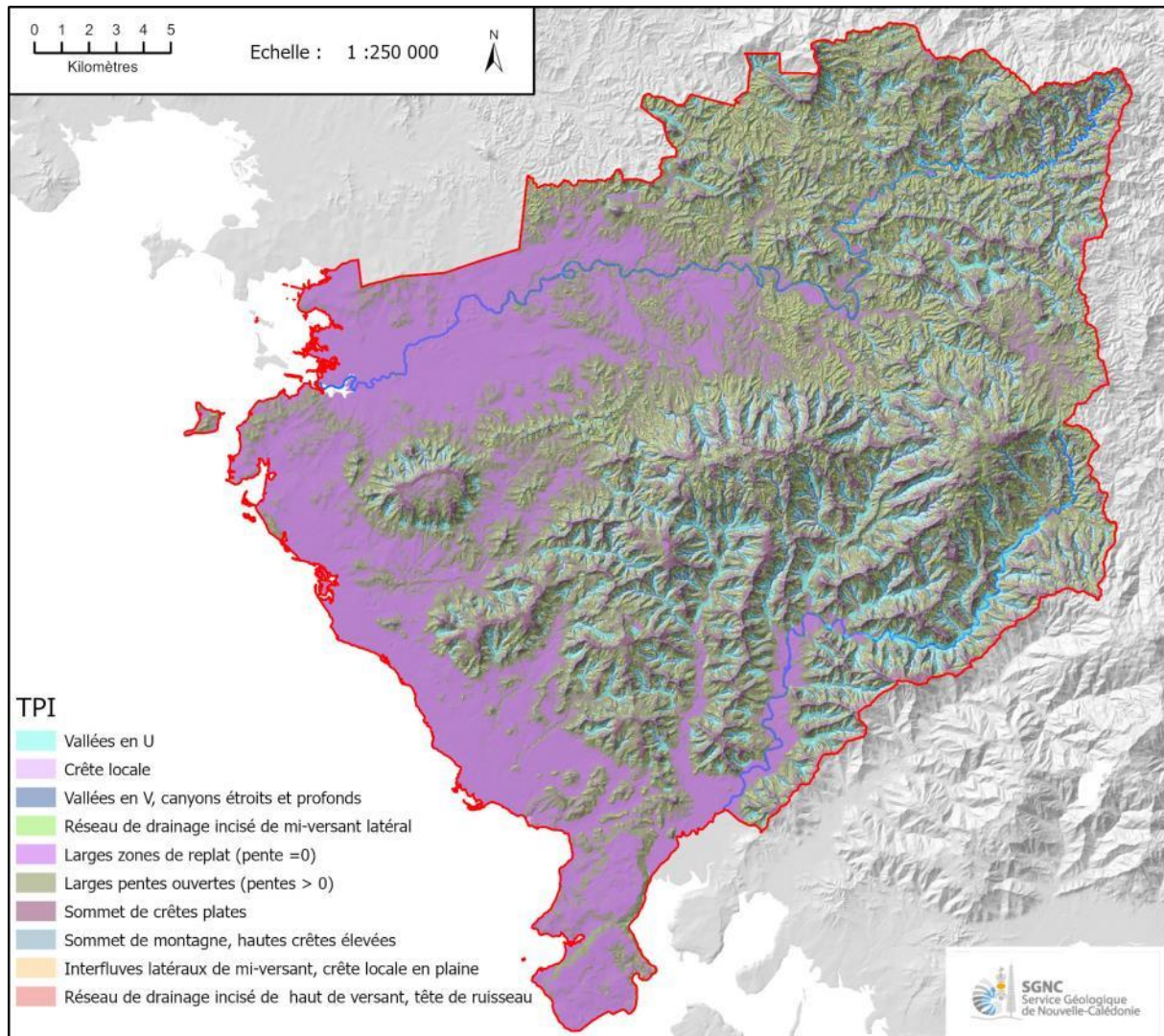


Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Pouembout

4.2.3 Landform

Le LANDFORM est un second paramètre intégrateur, descriptif des paysages et des morphologies en termes de pentes, texture et convexité. Il est calculé avec la méthode d'Iwashi et Pike (2007) et permet de classer le territoire selon huit types morphologiques (Illustration 15).

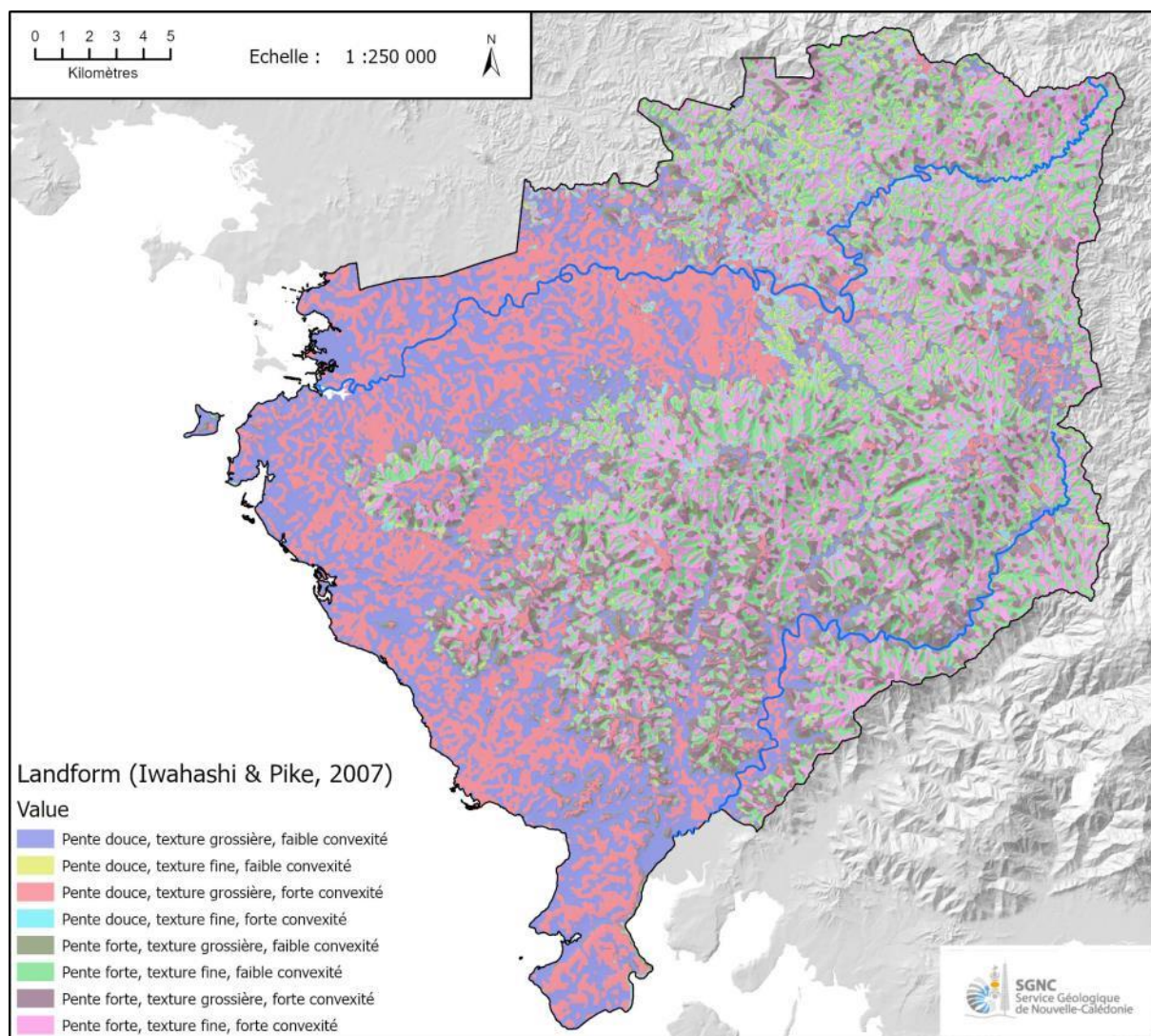


Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (Landform) sur la commune de Pouembout

5 Résultats

5.1 Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

La carte de l'aléa « mouvement de terrain » est réalisée :

- pour chaque phénomène (CB, GF, GG et LT, respectivement Illustration 20, Illustration 21, Illustration 22, Illustration 23) afin de conserver l'information la plus pertinente ;
- et en combinant les cartes précédentes, dans une perspective plus opérationnelle, en retenant en tout point du territoire cartographié le niveau d'aléa maximal évalué (Illustration 24).

Cette cartographie de l'aléa « mouvement de terrain » est fournie sous forme d'un atlas au format A3 à l'échelle du 1 :25 000 sur l'ensemble du territoire communal (Annexe 7 – Atlas cartographiques) ainsi que sous forme numérique (système d'information géographique).

A noter, les calculs de rupture et de propagation ont été réalisés en une seule fois pour les communes de Pouembout et de Koné de façon à valoriser les données d'inventaire. La commune de Koné de surface plus petite que celle de Pouembout, présente un inventaire moins fourni. Le calcul commun des aléas pour Koné et Pouembout permet de renforcer la robustesse statistique des calculs réalisés. Les résultats sont néanmoins restitués par commune.

Ainsi, 69% du territoire communal est exposé à un aléa mouvement de terrain non négligeable (Illustration 24) et plus du tiers de la commune (42%) est concernée par un aléa Modéré (31%) à Elevé (11%).

- L'aléa élevé concerne quasi exclusivement les hauts de versants et les axes de talwegs des massifs de péridotites, soit le massif du Kopéto et du plateau de Tia. Ce niveau d'aléa est dû aux laves torrentielles et aux glissements grossiers. A noter que l'aléa se prolonge en forme de cône dans les axes des talwegs des bassins versants les plus importants du fait de la propagation des laves torrentielles.
- L'aléa modéré affecte les bas de versant des massifs péridotitiques, ainsi que les hauts de versants des formations volcano-sédimentaires du nord-est de la commune
- Les niveaux d'aléa faible à très faible se prolongent sur les pieds de versants et les collines de la plaine alluviale de la Pouembout ainsi que dans les fonds de vallée de la rivière Népoui.

L'évaluation des aléas les plus élevés est cohérente avec les phénomènes recensés (Illustration 5) :

- Les zones d'aléa chutes de blocs et éboulement (Illustration 20) de niveau modéré couvrent 8% de la commune et sont principalement réparties sur les versants en domaine ultrabasique (Kopéto et plateau de Tia) et plus ponctuellement sur les versants volcano-sédimentaire au nord de la commune ;
- Les glissements fins de niveau modéré et faible (respectivement 13% et 17%, Illustration 21) concernent essentiellement le substrat volcano-sédimentaire au nord-est de la commune, les versants sur péridotites étant affecté d'un aléa GF très faible.
- Les glissements grossiers de niveau élevé et modéré (respectivement 11% et 19% de la surface de la commune, Illustration 22) sont particulièrement présents sur les versants des massifs de péridotites (Kopéto et plateau de Tia). A noter également

des secteurs avec un niveau d'aléa modéré associé à la présence de laves de serpentinites au nord-est de la commune.

- Les laves torrentielles de niveau élevé et modéré (respectivement 2% et 10% de la surface de la commune, Illustration 23) sont particulièrement présentes dans les axes des talwegs sur les versants des massifs de péridotites (Kopéto et plateau de Tia). A noter au nord de la commune, un versant avec trois talwegs identifiés comme producteur de laves torrentielles.

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km²)	Nul à négligeable	331.95	299.14	353.23	583.87	209.23
	Très faible	82.54	172.83	116.82	7.91	77.79
	Faible	55.90	111.93	122.25	21.53	100.92
	Modéré	125.21	84.06	64.46	53.88	203.85
	Elevé	72.36	-	11.19	-	76.17
Surface totale soumise à aléa		336.01	368.82	314.73	83.32	458.73
% de la commune soumis à aléa		50%	55%	47%	12%	69%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	50%	45%	53%	88%	31%
	Très faible	12%	26%	17%	1%	12%
	Faible	8%	17%	18%	3%	15%
	Modéré	19%	13%	10%	8%	31%
	Elevé	11%	0%	2%	0%	11%

Illustration 16 – Exposition du territoire communal (km² et %) aux différents types de phénomène et niveau d'aléa

5.2 Validation des résultats

Afin de juger de la validité des résultats, une rétro-analyse est effectuée sur les phénomènes recensés en distinguant :

- Les enveloppes de rupture des phénomènes ;
- Les enveloppes globales de phénomène (rupture + propagation).

5.2.1 Rétro-analyse : aléa de rupture

L'analyse est menée en calculant (Illustration 17) :

- Un taux de reconnaissance, proportion de phénomènes se trouvant au sein de classes de susceptibilité à la rupture « moyenne » à « très forte » ;
- Un taux de non reconnaissance, proportion de phénomènes se trouvant au sein de classes de susceptibilité à la rupture « nulle à négligeable » et « négligeable ».

Type phénomène	GG	GF	LT	Tous
Nombre de phénomènes	1 582	1 029	66	2 677
Nombre de rupture moyenne à très forte	1 457	707	55	2 219
Nombre de rupture nulle à négligeable	17	90	-	107
Taux de reconnaissance	92%	69%	83%	83%
Taux de non-reconnaissance	1.1%	9%	0%	4%

Illustration 17 – Taux de reconnaissance selon le type de phénomène (rupture)

Le taux de reconnaissance calculé est très élevé pour les glissements grossiers (> 90%). Il est un peu moindre pour les laves torrentielles (> 80%) et pour les glissements fins (< 70%). Les événements recensés « non reconnus » sont à 0% pour les laves torrentielles ce qui indique qu'aucune surface d'initiation ne se produit dans les classe de susceptibilité nulle à négligeable. Le taux de non reconnaissance pour les glissements grossiers est à 1%, valeur faible et jugée satisfaisante. Pour les glissements fins, le taux de non reconnaissance monte à 9%, valeur jugée passable. Cette valeur de non reconnaissance des GF peut s'expliquer par la qualité localement médiocre du modèle numérique de terrain exploité.

La rétro-analyse n'est pas menée pour les CB compte tenu du trop faible nombre d'évènements répertoriés dans l'inventaire.

5.2.2 Rétro-analyse : enveloppes globales

La distribution des emprises des mouvements de terrains recensés dans chaque zone d'aléa final (agrégant les aléas par phénomène) est représentée ci-après (Illustration 18).

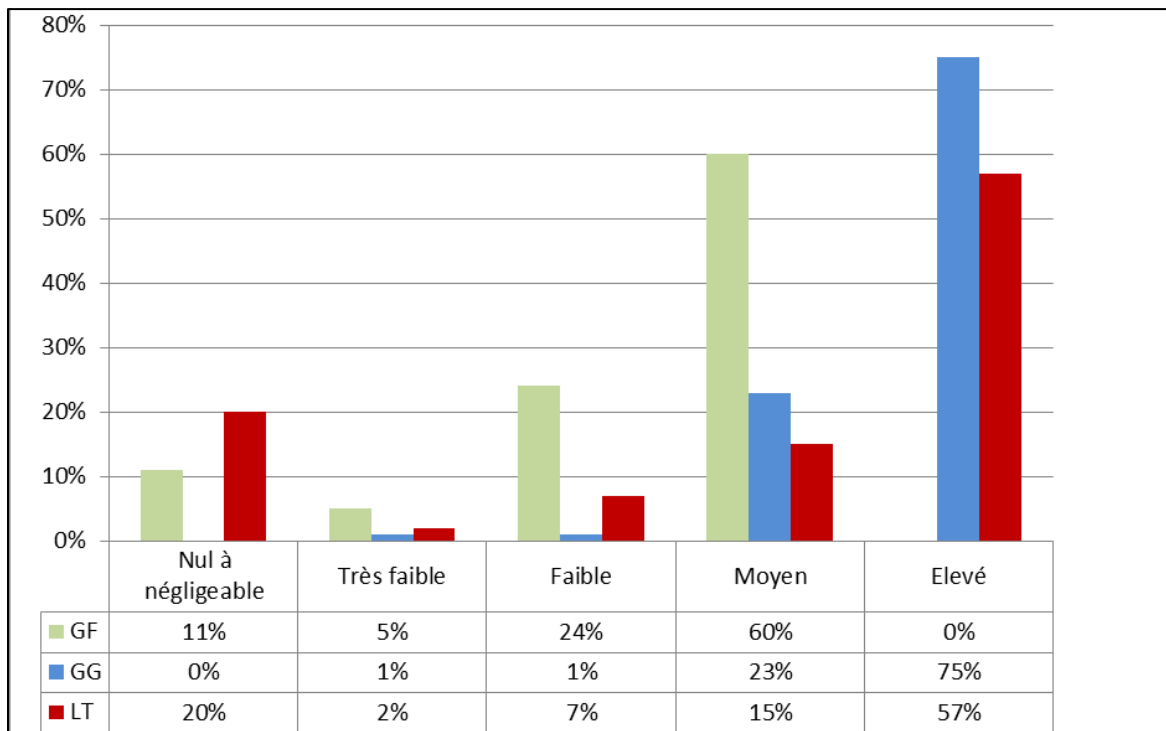


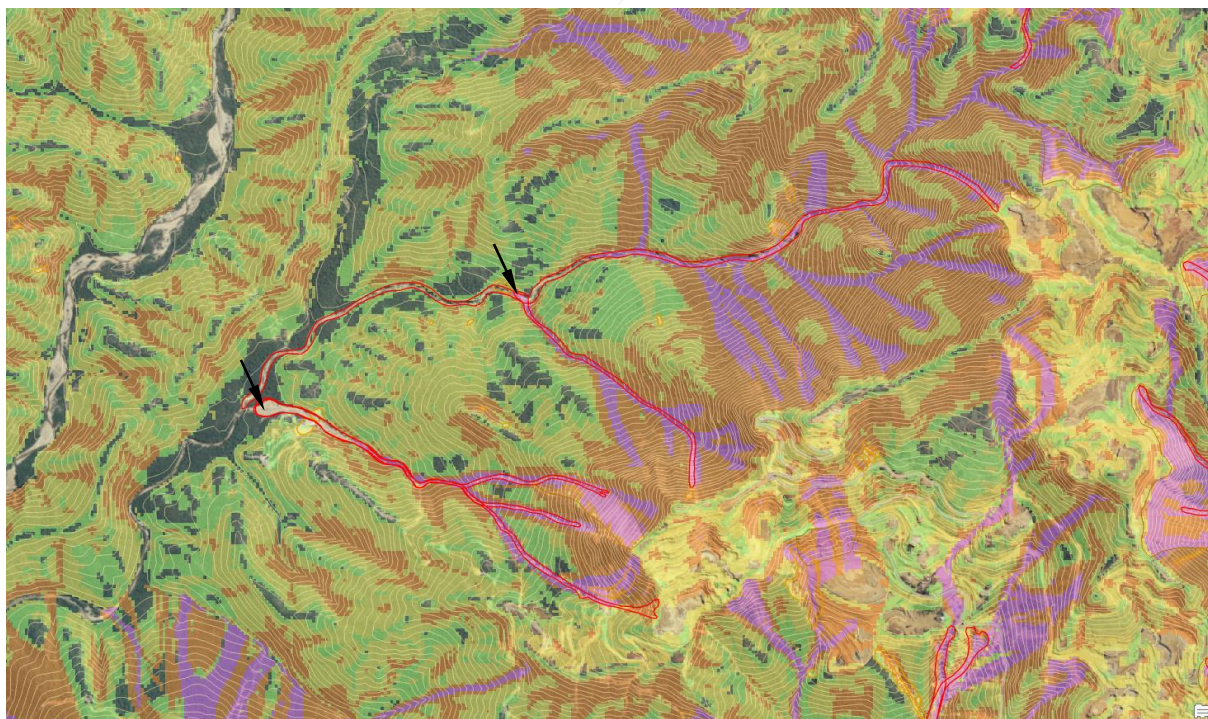
Illustration 18 – Taux de reconnaissance des évènements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa finale pour chaque de phénomène

Cette analyse montre un pourcentage de phénomènes reconnus croissant avec le niveau d'aléa pour les classes d'aléa Très faible à Elevé. Ainsi, les taux de reconnaissance sont jugés très satisfaisant avec :

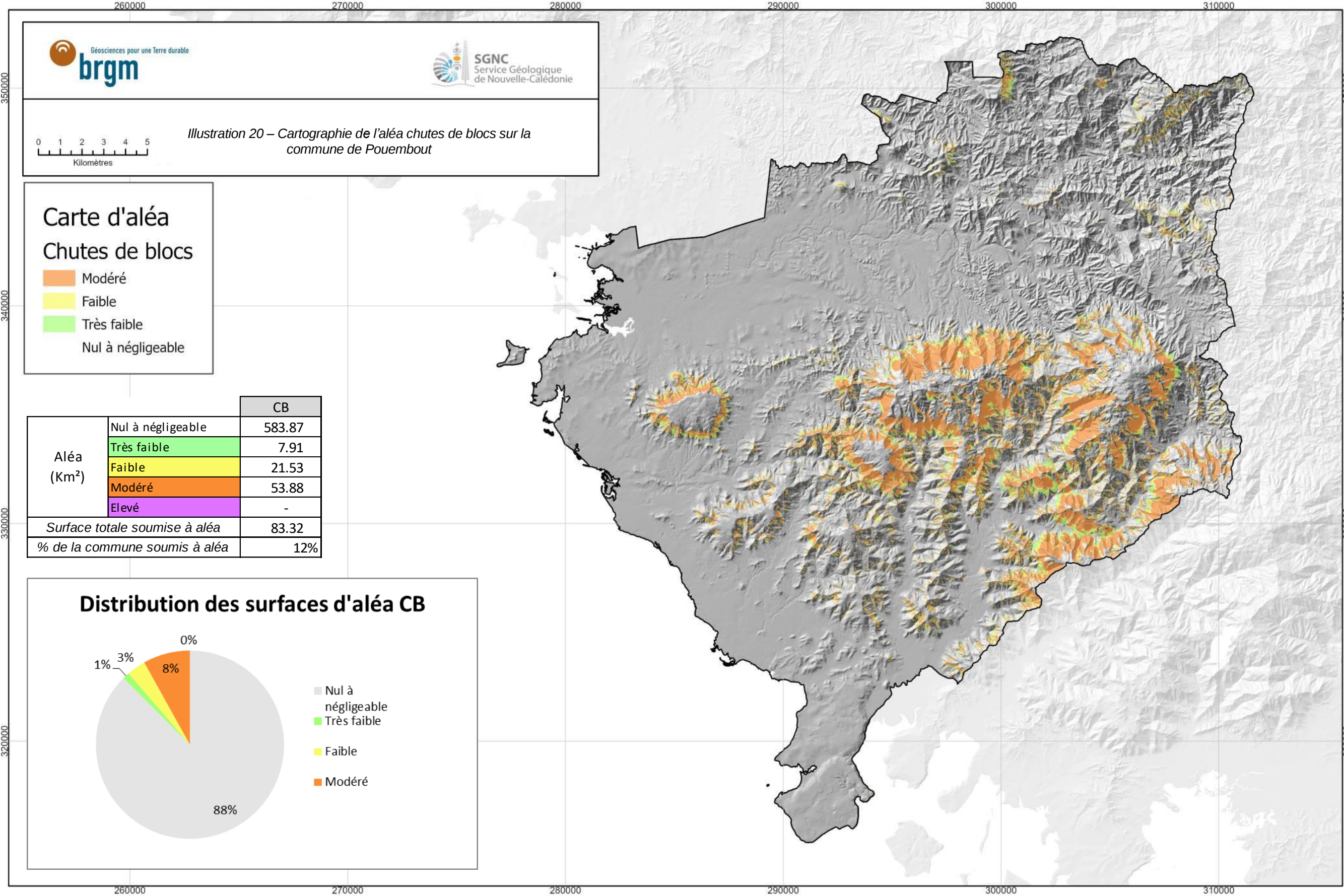
- 71% des phénomènes LT et 98 % des GG reconnus qui se retrouvent en zone d'aléa modéré à élevé ;
- 60% des GF sont correctement reconnues en classe d'aléa modéré.

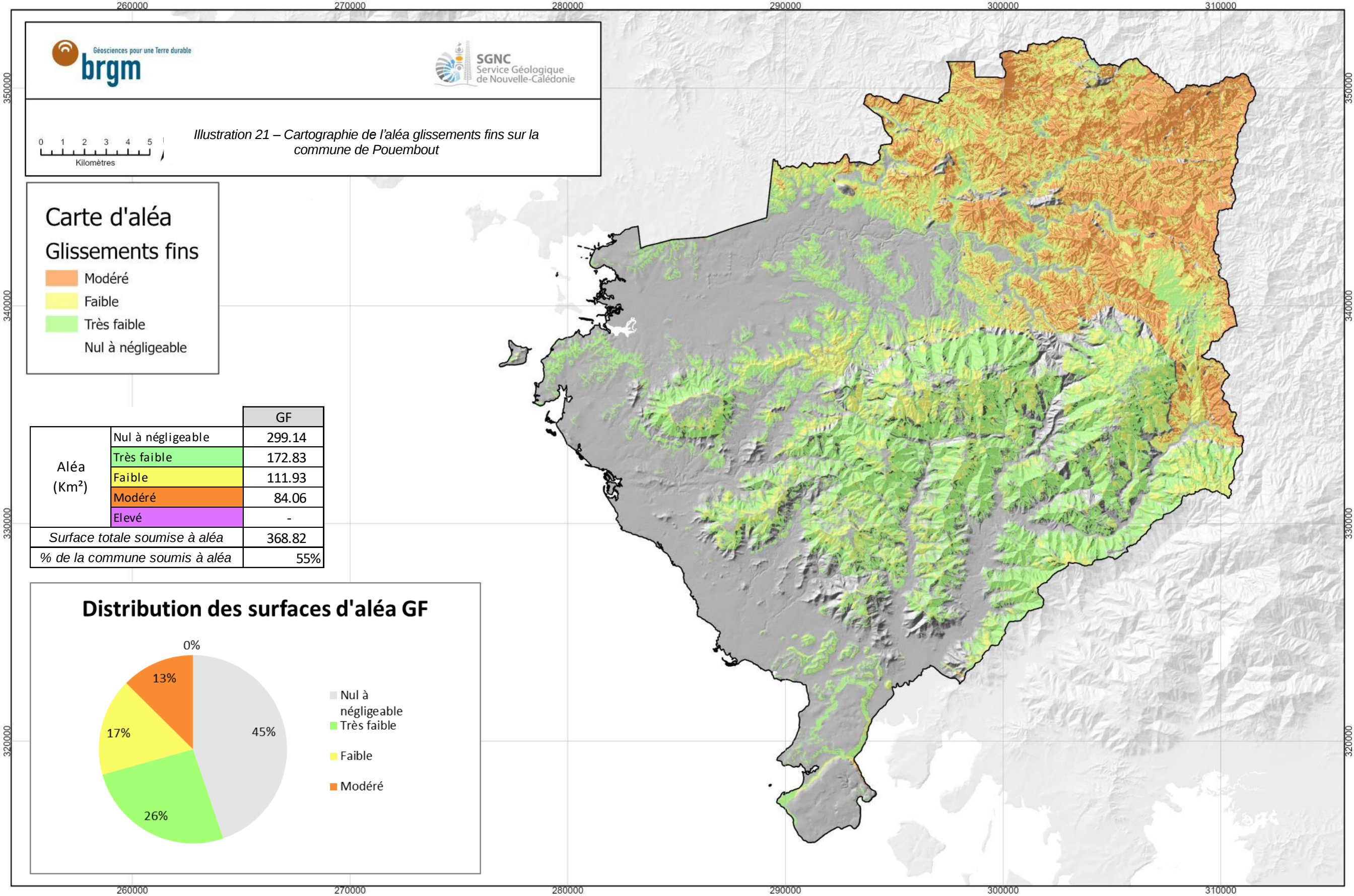
Néanmoins, la classe d'aléa Nul à négligeable montre des valeurs plus importantes que la classe Très faible pour les GF et les LT. Ce calcul du taux de reconnaissance étant mené sur l'enveloppe totale du phénomène, la partie aval de certains phénomènes apparaît en dehors de la zone calculée. Le dessin du contour de l'enveloppe des LT et GF a pu être surestimé vers l'aval, notamment pour des phénomènes anciens peu visibles. De même la qualité du MNT peut expliquer ces surfaces d'enveloppe apparaissant en aléa Nul à Négligeable. Dans le cas des LT, le relief local et le chenal peut être mal marqué dans la zone d'atterrissement ou se produit la propagation aval. Pour les GF, la surface des enveloppes est de l'ordre de 1 à 2 pixels, une légère surestimation de l'enveloppe vers l'aval et celle-ci apparaît hors zone de propagation. La qualité du MNT influe également sur la modélisation pour ces objets de petite surface.

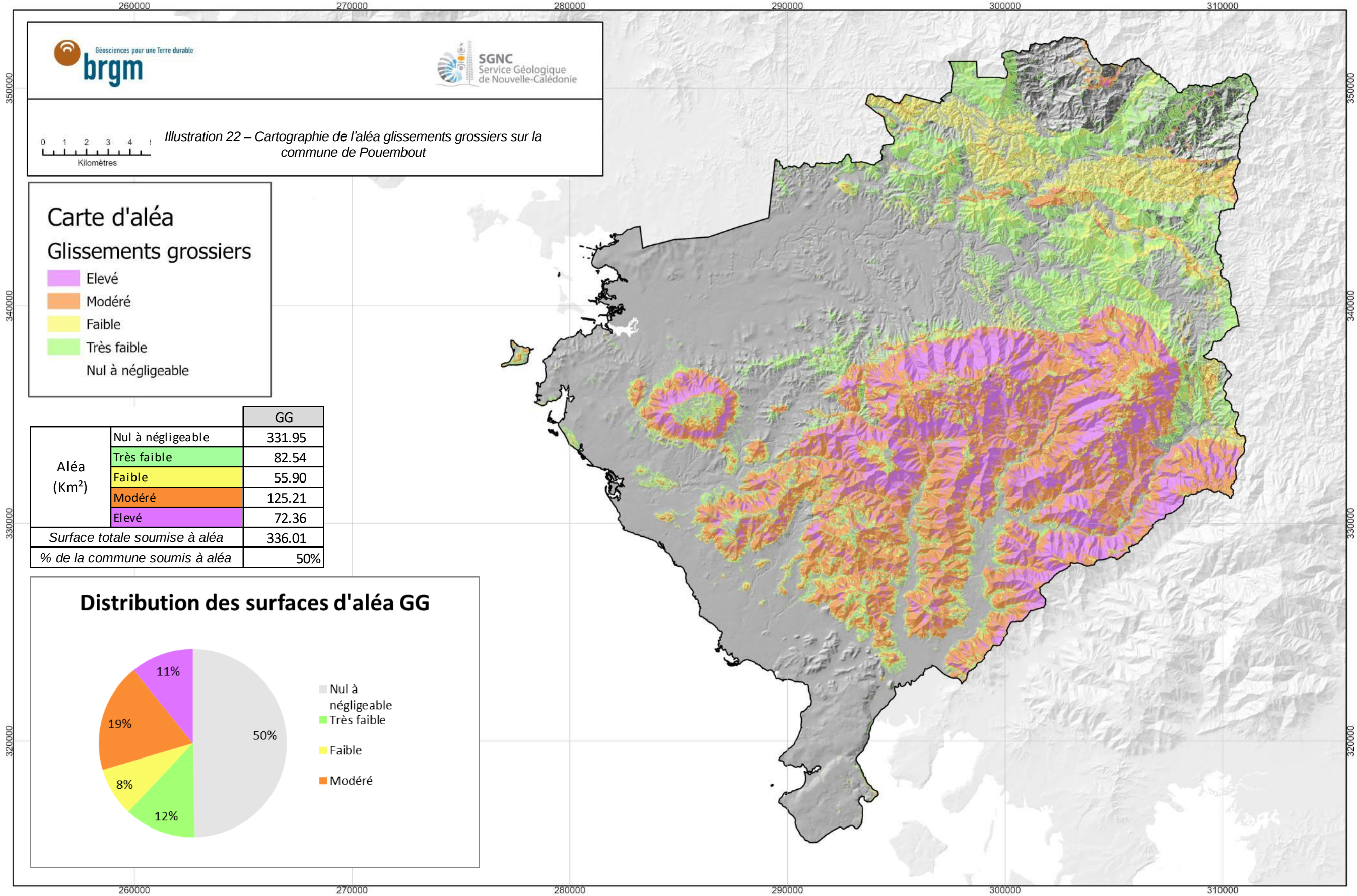
Ces zones de propagation au sein de l'aléa nul à négligeable doivent toutefois être considérées comme potentiellement sensibles en cas d'aménagement et à ce titre l'inventaire historique doit toujours bien être rappelé et considéré (Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain). Pour prendre en compte précisément l'emprise des LT de l'inventaire, celles-ci ont été ajoutées sur la carte finale. L'emprise elle-même est considérée avec un aléa élevé, puis des auréoles successives de la taille d'un pixel ont été ajoutées autour pour restituer les différents niveaux d'aléa modéré, faible et très faible.

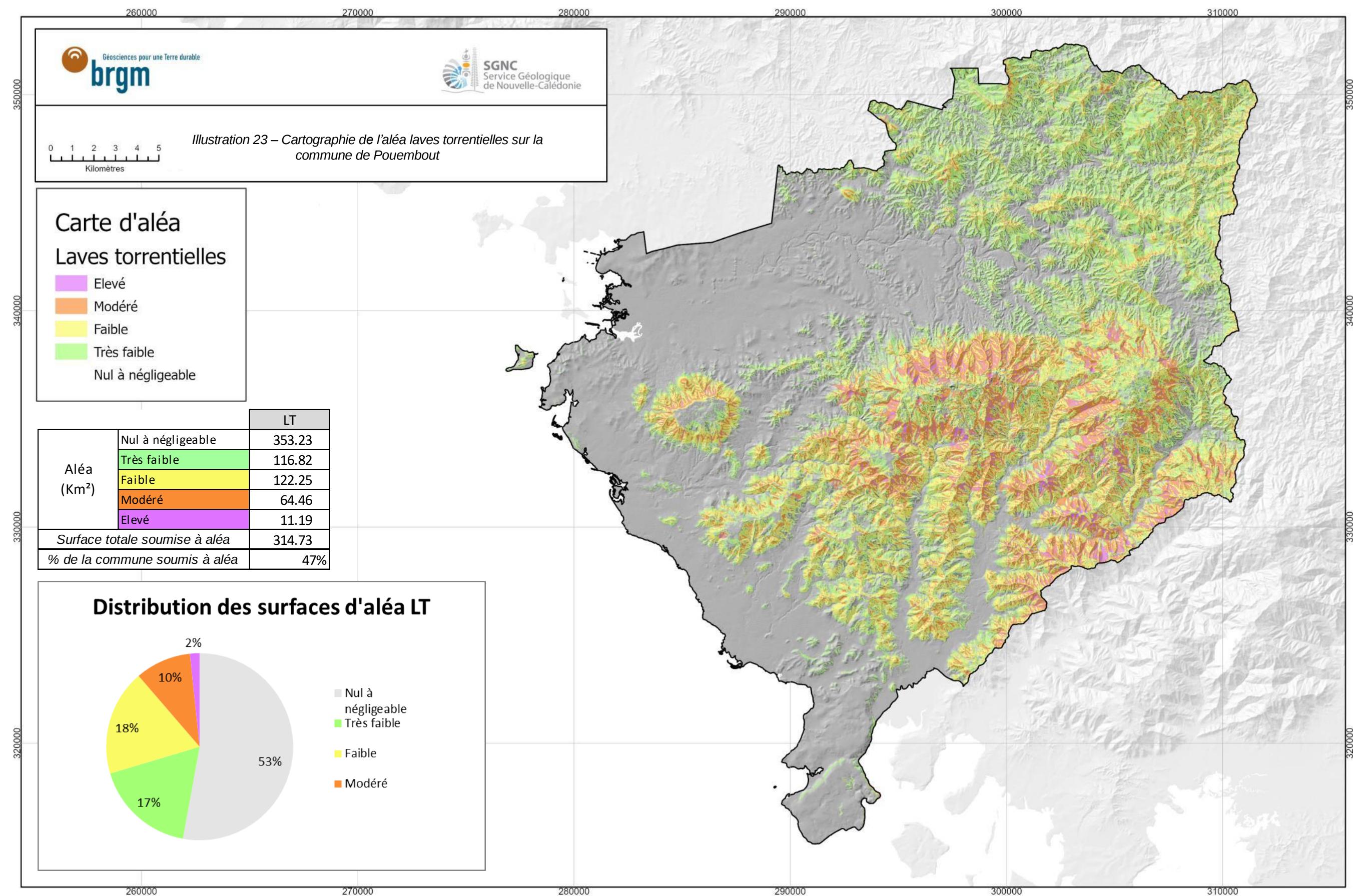


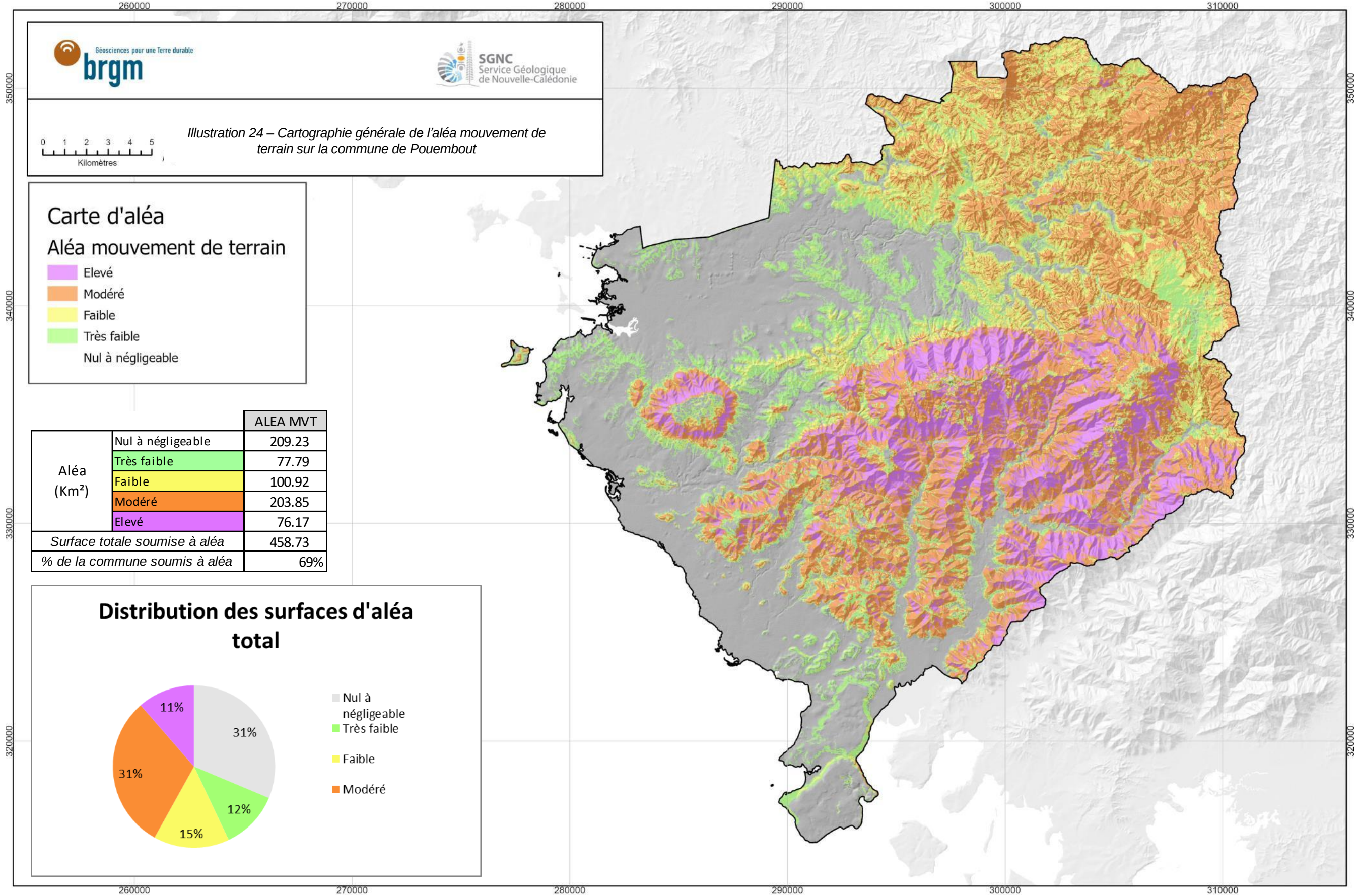
*Illustration 19 – Propagation de LT hors emprise de zone soumise théoriquement à aléa(LT)
Les flèches noires indiquent la fin de la zone d'aléa calculée*











5.3 Enjeux et risques

Au-delà, de la caractérisation de l'aléa mouvement de terrain, il convient d'apprécier dans quelle mesure les enjeux communaux sont exposés aux aléas naturel. Afin d'initier une réflexion sur le sujet, il est proposé de dénombrer les bâtiments exposés à l'aléa mouvements de terrain à partir de la base de données topographique de la DITTT. Les bâtiments sont pris dans leur ensemble sans distinction de leur usage (bâtiments publics, privés, habitations, techniques, industriels etc.) ni de leur taille. Il s'agit ici de fournir un ordre de grandeur de la proportion d'enjeux concernés.

Au final, seuls 2 bâtiments (soit 0.1%) ont été identifiés avec un aléa élevé et 34 bâtiments (1%) avec un aléa modéré. Cette estimation est a comparer avec les 42% de la surface de la commune exposée à l'aléa élevé et modéré (soit 11% et 31% respectivement). Autrement dit, il apparait que l'implantation actuelle des constructions a préférentiellement évité les versants les plus exposés aux instabilités. Pour rappel, les GGV ne font pas l'objet d'une évaluation de l'aléa. L'emprise et l'activité de ces phénomènes devrait également faire d'une évaluation dans le cadre d'un projet d'aménagement.

Niveau d'aléa	Nombre de bâtiment	Pourcentage du parc bati
Elevé	2	0.1%
Modéré	34	1%
Faible	192	5%
Très faible	609	16%
Négligeable	2 938	78%
Total	3 775	100%

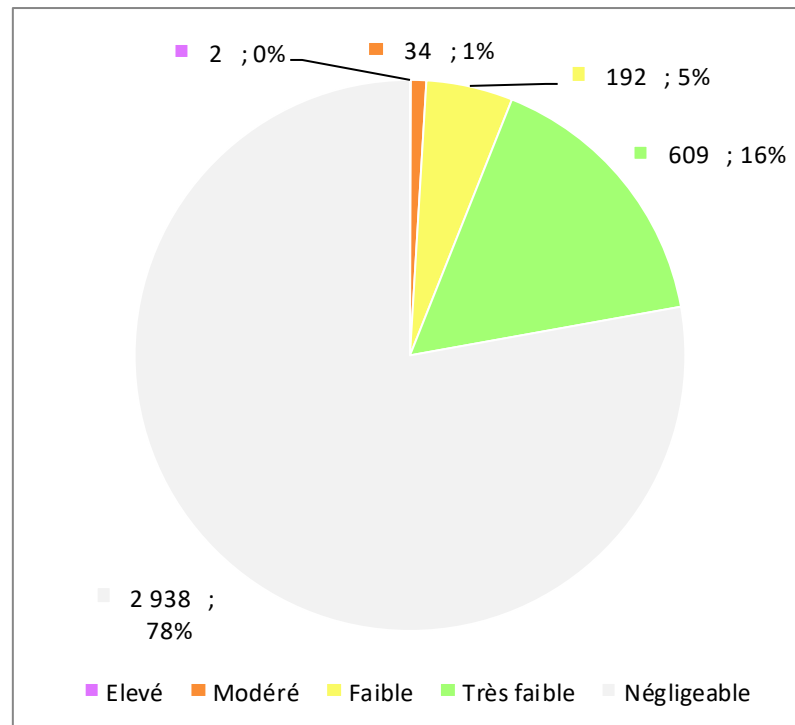


Illustration 25 – Exposition des constructions à l'aléa mouvements de terrain sur la commune de Pouembout

6 Conclusion et perspectives

La cartographie de l'aléa mouvement de terrain à l'échelle du 1 :25 000^{ème} menée sur la commune de Pouembout s'inscrit dans le cadre d'un programme pluriannuel portant sur quinze communes de Nouvelle-Calédonie. Cette démarche contribue également à la politique publique de gestion des risques du gouvernement de Nouvelle-Calédonie.

La méthode déployée est décrite de manière approfondie dans un rapport méthodologique distinct. La cartographie proposée par type de phénomène permet une approche homogène sur l'ensemble du territoire communal en distinguant rupture et propagation et en développant une approche pseudo-quantifiée.

Outre une méthode conforme aux meilleures pratiques, ce travail a bénéficié :

- d'un effort important de cartographie des formations superficielles (régolithe) et
- d'un inventaire particulièrement conséquent des phénomènes d'instabilité recensés et décrits suivant leur type :
 - GG : Glissement dans matériaux grossiers (1582 évènements, 56% des cas)
 - GF : Glissement dans matériaux fins (1029 évènements, 37%)
 - COUL : coulée de matériaux dans les anciennes décharges minières (99 évènements, 3,5% des cas)
 - LT : Lave-torrentielle (66 évènements, 2,4%)
 - CB : Chute de blocs (14 évènements, 0,5%).

Deux tiers (66%) des phénomènes sont datés d'avant 1976. 29% des évènements sont identifiés entre 1976 et 2016 et les 5% restant sont survenus depuis 2016.

Ces données permettent d'élaborer des cartes d'aléa pour chacun des phénomènes identifiés. Ces cartes définissent à l'échelle de la commune la possibilité de survenance du phénomène « mouvement de terrain » dans le futur.

Au final une carte d'aléa « Mouvement de terrain » est produite en agrégeant les cartes d'aléa par phénomène. La synthèse des résultats à l'échelle communale montre que la commune est concernée par l'aléa mouvement de terrain sur 69% de son territoire, les niveaux d'aléa élevé et modéré couvrant respectivement 11% et 31% de la commune.

Pour autant, un peu plus de 1% des constructions est concerné par un niveau d'aléa qualifié de Modéré à Elevé (tous phénomènes confondus). Autrement dit, l'implantation actuelle des constructions a préférentiellement évité les versants les plus exposés aux instabilités.

Ce programme de cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » est la première étape d'une politique publique de gestion des risques : « 1) Connaissance de l'aléa, du risque du territoire ». Il permet en outre d'alimenter les autres piliers de la prévention (Illustration 26), notamment :

- L'information préventive et l'éducation des citoyens (3), grâce au Dossier sur les Risques Majeurs (DRM), au Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) ou à la diffusion des résultats ;
- La prise en connaissance des risques dans l'aménagement (4) au travers par exemple d'un porté à connaissances ou de schéma d'aménagements (dont PUD) ;
- La réduction de la vulnérabilité (5) ;
- La préparation de l'organisation des secours (6) avec le Schéma Directeur d'analyse et de couverture des risques (SDACR) et les Plans Communaux de Sauvegarde (PCS).
- Enfin, la prise en compte du retour d'expérience (7) alimentera nos bases de données et affinera notre démarche.



Illustration 26 – Les 7 piliers de la prévention des risques naturels, au service de la Politique Publique de Gestion des Risques (PPGR) en Nouvelle-Calédonie

7 Bibliographie

7.1 Guides

Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (1997) – Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) – Guide général. *Edit. La Documentation Française, Paris.*

Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (1999) – Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Risques de mouvements de terrain – Guide méthodologique. *Edit. La Documentation Française, Paris.*

Projet national C2ROP. Glossaire du risque rocheux. Cerema, (2020). Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-452-4

7.2 Rapports

Maurizot P., Rouet I., Robineau P., Allenbach M. Parisot J-C. (2007). Mécanismes fondamentaux des mouvements de terrain dans les massifs ultra-basiques en Nouvelle Calédonie. BRGM/RP-55041-FR.

Maurizot P., Lafoy Y. (2003). L'aléa naturel mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie – Synthèse des connaissances (2003). BRGM/RP-52213-FR

7.3 Documents académiques

Horton P, Jaboyedoff M, Rudaz B and Zimmermann M: Flow-R (2013). A model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 13, 869-885, doi:10.5194/nhess-13-869-2013

Iwahashi, J. and R. J. Pike (2007). "Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature." *Geomorphology* 86(3-4): 409-440.

Varnes D.J. (1984) – Landslide hazards and zonation: a review of principles and practice.

8 ANNEXES

8.1 Annexe 1 – Lexique des termes utilisés

GEOLOGIE

SUBSTRATUM ROCHEUX

ROCHES MAGMATIQUES

PERIDOTITE : La péridotite est une roche magmatique qui constitue la majeure partie du manteau supérieur. De nature ultrabasique (pauvre en silice) et grenue, elle se compose essentiellement d'olivines, de pyroxène et de serpentine. Il existe plusieurs types de péridotites en fonction de leur teneur en olivine et en pyroxènes : dunites, wehrlites, harzburgites et lherzolites. En Nouvelle-Calédonie, par l'action de l'altération météoritique, un profil d'altération parfois très épais s'est développé sur cette formation (terres rouges).

BASALTE : Le basalte est une roche magmatique volcanique issue d'un magma refroidi rapidement et caractérisée par sa composition minéralogique : plagioclases (50 %), pyroxènes (25 à 40 %), olivine (10 à 25 %), et de 2 à 3 % de magnétite. Il a une origine volcanique et est un des constituants principaux de la croûte océanique.

ROCHES METAMORPHIQUES

SERPENTINITE : La serpentinite est une roche métamorphique. Elle tire son nom de son aspect semblable à celui d'écailles et provoque une sensation au toucher qui a pu faire penser à la peau d'un serpent. Elle ne doit pas être confondue avec la serpentine, qui est un nom général pour plusieurs espèces minérales. Cette roche apparaît en filons, en petites lentilles ou en masses importantes (semelle des péridotites).

ROCHES SEDIMENTAIRES

GRES : Le grès est une roche sédimentaire détritique, issue de l'aggrégation de grains de taille majoritairement sableuse et consolidé lors de la diagénèse. Issues de l'érosion des roches qui déterminent en grande partie sa composition, les grains sont principalement du quartz cimenté par de la silice, de la calcite, de l'oxyde de fer ou de l'argile. Selon le degré de cimentation, de sa composition et de son altération, il peut s'agir d'une roche très friable ou au contraire très dure. Il se rencontre dans une grande variété de milieux de dépôt depuis le domaine continental (rivière, plage) au domaine marin (turbidites). Non consolidé, son équivalent est le sable.

SILTITE : Une siltite est une roche sédimentaire détritique consolidée, de granulométrie intermédiaire entre un grès (plus grossier) et une argilite. Elle est composée au 2/3 de limon (grains dont la taille se situe entre les argiles et les sables). Elle se différencie du grès en raison des pores plus petits et d'une plus grande proportion de fraction d'argile. D'un point de vue minéralogique, elle se compose de quartz, feldspaths de minéraux argileux (micas) et avec des carbonates ou oxydes de fer.

ARGILITE : Une argilite est une forme de roche sédimentaire détritique, argileuse indurée, à grain fin (<2microns) très peu perméable. Elles résultent de la consolidation de micro feuillets d'argile parallèles et/ou de boue argileuse fine. Elles sont composées de micas, quartz et d'argile, mais le grain de cette roche est si fin qu'elle semble homogène. C'est une roche tendre et légèrement « grasse » au toucher.

CHERT : Un chert, ou phtanite (terme anciennement utilisé en NC) ou une chaille (terme français moins utilisé), est une roche sédimentaire siliceuse.

CALCAIRE : Le calcaire est une roche sédimentaire qui se forme essentiellement en milieu marin, par accumulation des débris de coquilles et coraux. A la mort de ces animaux, les coquilles s'accumulent sur le fond marin formant des boues carbonatées. Elles se transforment en roche calcaire grâce à la pression et au temps. Néanmoins, les coquilles calcaires peuvent se dissoudre, et ce, d'autant plus facilement quand la température de l'eau est froide et la pression élevée. Ces conditions, expliquent que le calcaire se forme essentiellement dans des eaux chaudes et peu profondes, comme les lagons ou les lagunes.

FLYSCH : Formation sédimentaire détritique, souvent épaisse, constituée par des alternances répétées de grès plus ou moins grossier et d'argile plus ou moins schisteuse, provenant de l'érosion de chaînes de montagne en cours de surrection.

FORMATIONS DU REGOLITHE

Le régolithe (également écrit régolite) (du grec ancien : ῥῆγος/rhêgos, signifiant couverture et λίθος/lithos, signifiant roche) est en pédologie la partie du sol recouvrant la roche-mère, qui peut contenir du matériel meuble, comme de la poussière ou de la terre, et des roches saines. Le régolithe peut être autochtone s'il provient de l'altération des roches en présence (altérite) ou allochtone lorsqu'il est amené par un processus quelconque (comme les alluvions ou le démantèlement de versant).

Les formations allochtones sont les sédiments fluviatiles, lacustres, côtiers, glaciaires, ou éoliens, les éboulis, les colluvions et les formations de pente.

Les formations autochtones sont les profils d'altération formés in situ sur tous types de roches. Les « altérites » formées dans ces profils sont des roches dont la genèse ou les propriétés actuelles résultent de processus d'altération supergène, quel qu'en soit l'âge. À ce titre, on peut dire que le régolithe est formé par interaction de la géosphère avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère.

FORMATIONS AUTOCHTONES (FAU)

ALTERITE : Une altérite est une formation géologique (généralement meuble) superficielle, formée in situ, résultant de l'altération physico-chimique de roches antérieures sans transformations pédologiques notables. Les processus d'altération conduisent à la formation de sables, de limons et d'argiles d'altération.

CUIRASSE : La cuirasse, en pédologie, est une croûte superficielle, pouvant avoir plusieurs mètres d'épaisseur, elle est fortement durcie à la suite de la précipitation d'hydroxydes de fer et d'alumine. Elle se forme principalement dans les régions de climat intertropical présentant une alternance de saisons, mais surtout à saisons sèches nettement marquées. La cuirasse joue donc, vis à vis de l'érosion, un rôle protecteur.

LATERITE : La latérite (du latin later, brique) est une roche rouge ou brune, qui se forme par altération des roches sous les climats tropicaux. Au sens large, elle désigne l'ensemble des matériaux, meubles ou indurés, riches en hydroxydes de fer ou en hydroxyde d'aluminium, qui constituent les sols, les horizons superficiels et les horizons profonds de profil d'altération. On trouve des latérites surtout en milieu intertropical.

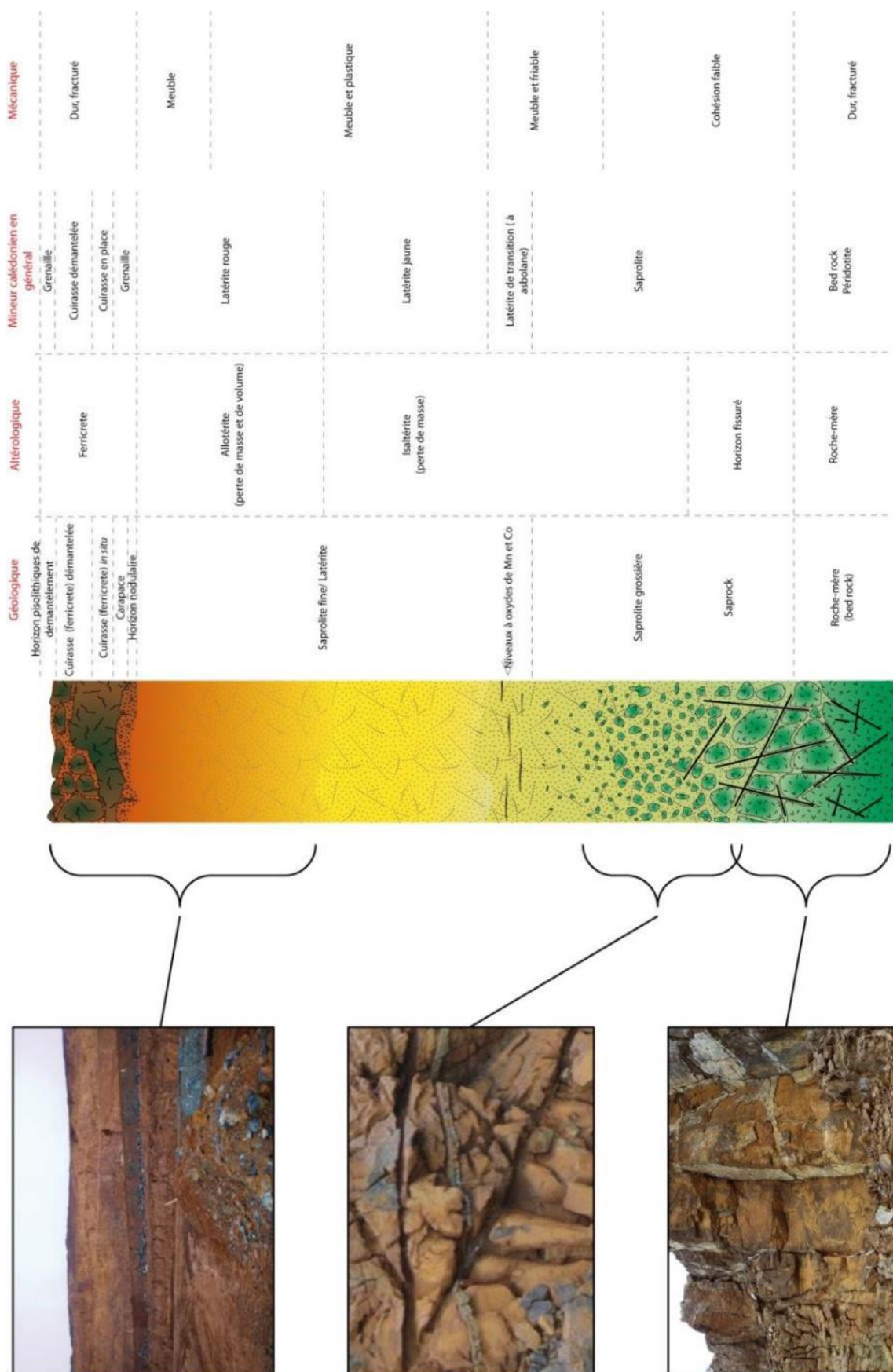
SAPROLITE : Une saprolite (du grec ancien sapos, décomposé) est une roche généralement meuble à dominante argileuse. Formant une couche géologique, surmontant dans des coupes de sol profondes la roche-mère, cette altérite résulte de l'altération chimique d'une roche-mère, due à l'action du climat, de l'eau ou l'action hydro-thermale, sans avoir été transportée. Elle est friable et présente les structures de la roche d'origine et de nouvelles structures.

FORMATIONS ALLOCHTONES (FAL)

ALLUVIONS : Une alluvion consiste en un dépôt sédimentaire émergé, constitué par des matériaux solides non consolidés, transportés et déposés par les eaux courantes. Les alluvions qualifient les regroupements de cailloux, graviers, galets, sables ou limons. Les dépôts alluviaux se réalisent lorsque le débit devient insuffisant pour transporter la matière. Les alluvions peuvent se déposer dans le lit du cours d'eau ou dans les estuaires marins et s'accumuler au point de rupture de pente.

COLLUVIONS : Une colluvion ou un dépôt de pente est un dépôt meuble sur un versant, mis en place par gravité. Le terme s'emploie presque toujours au pluriel. Les colluvions reflètent la lithologie du haut du versant. Elles nappent, sur le bas du versant, la roche en place. Les éléments ont subi un faible transport, à la différence des alluvions.

EBOULIS : Un éboulis, parfois appelé pierrier, résulte de la chute de fragments rocheux déplacés pierre par pierre par gravité et dont l'accumulation se fait à la base de pentes rocheuses montagneuses, typiquement des falaises, dont ils se sont détachés. Liés à différents facteurs comme l'érosion ou les conditions météorologiques, ces dépôts tapissent ainsi souvent le pied des versants ou des abrupts rocheux. Une éboulisation (chute de pierres) est la formation d'un éboulis. Les géomorphologues distinguent les processus selon le volume détaché : l'éboulisation est un détachement de quelques blocs (volume $< 1 \text{ m}^3$), l'éboulement comprend un volume entre 1 et 100 m^3 et l'éroulement implique des volumes supérieurs à 100 m^3 .

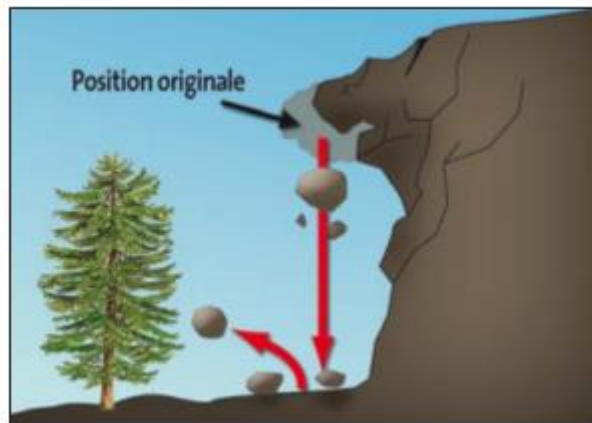


Profil d'altération en contexte de massif ultrabasique

MOUVEMENTS DE TERRAIN

CHUTES DE BLOCS

Ce sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines, etc. Ces chutes sont caractérisées par une zone de départ, une zone de propagation et une zone d'épandage. Les blocs décrochés suivent généralement la ligne de plus grande pente. Les distances parcourues sont fonction de la position de la zone de départ dans le versant, de la pente du versant, de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la nature de la couverture superficielle, de la végétation...

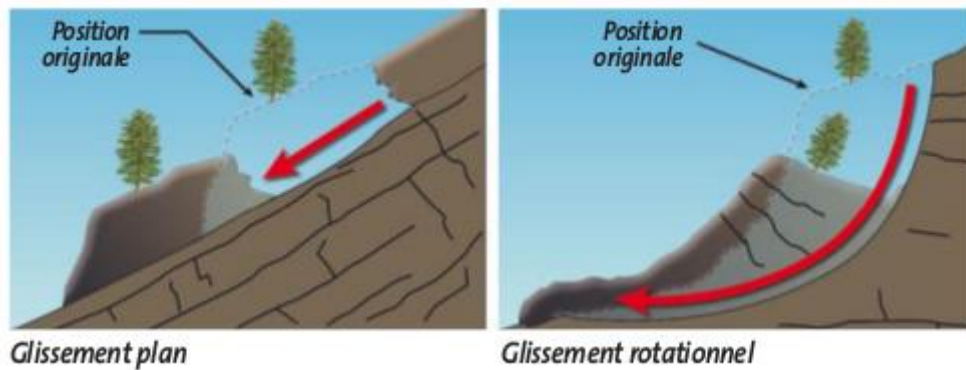


GLISSEMENTS DE TERRAIN

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent (de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables : quelques mètres cubes dans le cas du simple glissement de talus ponctuel à quelques millions de mètres cubes dans le cas d'un mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant.

Trois types de glissement sont distingués en fonction de la géométrie de la surface de rupture :

- glissement plan ou translationnel, le long d'une surface plane ;
- glissement circulaire ou rotationnel, le long d'une surface convexe ;
- glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.



Dans le cadre de cette étude, la distinction est faite entre glissements fins et glissements grossiers sans distinction du mécanisme plan ou rotationnel :

GLISSEMENTS GROSSIERS

Ces phénomènes affectent des matériaux qualifiés de « grossiers », c'est-à-dire composés de matériaux graveleux dominants, à faible cohésion. On parle aussi de « glissement de débris ». Sont clairement distinguées une zone de rupture et une zone de propagation qui consiste fréquemment en un étalement de la masse glissée. Les formations affectées sont principalement celle des massifs de péridotites.

GLISSEMENTS FINS

Les phénomènes qualifiés de « glissement fin » affectent les matériaux à granulométrie plus fine que les glissements grossiers décrits précédemment. Il s'agit de glissements translationnels ou rotationnels pouvant ou non évoluer en coulées.

LAVES TORRENTIELLES

Une lave torrentielle est un phénomène géologique en situation de relief, notamment de montagne. Son déclenchement est lié à des précipitations météorologiques violentes, soudaines et concentrées. La déstabilisation à une altitude élevée d'éléments solides dans une pente déclenche par les dévallements une importante accumulation d'énergie cinétique qui initie des vagues destructives impossibles à arrêter, érodant berges et zones de passage très rapidement et brutalement. Ces mélanges d'eau, de sédiments fins, d'éléments rocheux, de blocs parfois énormes, d'arbres, de graviers se déplacent à très grande vitesse.

On observe un consensus pour différencier une coulée de boue d'une lave torrentielle : la première se déclenche en pleine pente sans forcément l'existence préalable d'un chenal (ravine, talweg, torrent, ou autre élément du système hydrographique), alors que la seconde y est liée entièrement.

Ce type de phénomène est particulièrement dévastateur.



Lave torrentielle Houaïlou décembre 2011 (photo SGNC)

8.2 Annexe 2 – Indicateurs morphométriques des évènements

Pour chaque mouvement, différents indicateurs géométriques et morphologiques ont été calculés (surface, pente...), les distributions des pentes et des surfaces des enveloppes de propagation, par type de phénomène considéré (. Du point de vue des géométries, on note :

- Le nombre d'évènements répertoriés selon les surfaces croissantes montre une diminution globale pour les GG et les GF, dans une moindre mesure pour les LT. Cette décroissance du nombre d'évènements selon la surface (qui représente l'ampleur du phénomène) est cohérente avec les observations menées lors d'inventaires larges : les évènements de plus grande surface (i.e. de volume ou d'ampleur plus grande) sont moins fréquents que les évènements de faible surface. Cette distribution conforte la qualité de l'inventaire qui ne « néglige » pas les évènements de faible ampleur (à la résolution du projet, échelle 1 :25 000^{ème}) ;
- Parmi toutes les typologies, les surfaces des glissements fins sont les plus petites (~ 571m² en moyenne). Celles des glissements grossiers sont légèrement plus grandes en moyenne (~ 1 035 m²). Enfin, les laves torrentielles, du fait de leur propagation importante, ont les surfaces les plus élevées (~ 20 019 m² en moyenne) ;
- Les valeurs médianes d'angle de ligne d'énergie sont de 22° LT, de 26.3° pour les GF et enfin elle est un plus élevée pour les GG (33,7°).
- 95% des laves torrentielles ont un angle de ligne d'énergie supérieur à 11,8°. Cette valeur est supérieure à 12,8° et 18,2° pour 95% des GF et GG respectivement.

NB : pour rappel, les calculs de ruptures et propagation sont commun aux communes de Pouembout et de Koné, le nombre de phénomènes indiqués dans le tableau suivant correspondent à l'inventaire sur les deux communes, de même que toutes les autres valeurs statistiques

Inventaire des évènements / Données morphométriques

Koné / Pouembout

Enveloppes de zone d'initiation

		GG	GF	COUL	LT	CB
Surfaces (m²)	Nb	1815	1596	-	79	-
	Min.	28	17	-	249	-
	Max.	10661	3264	-	6012	-
	Moyenne	361	169	-	1507	-
	Ecart type	729	205	-	1082	-

Enveloppes totales

		GG	GF	COUL	LT	CB
Surfaces (m²)	Nb	1 601	921		76	16
	Min.	112	83		2 483	1 222
	Max.	20 907	9 383		66 118	131 843
	Moyenne	1 035	571		20 019	18 564
	Ecart type	1 656	781		14 748	33 554
Quantiles	5%	213	169		3 892	-
	10%	242	192		5 200	-
	25%	340	251		9 589	-
	50%	539	352		16 257	-
	75%	1 020	579		24 380	-

Valeurs d'angle de ligne d'énergie pour la propagation

		GG	GF	COUL	LT	CB
Angle ligne d'énergie (°)	Nb	1601	921		76	4
	Min.	1.5	1.5		11	26.3
	Max.	57.5	52.3		38	50.9
	Moyenne	32.7	25.7		23	41.4
	Ecart type	7.9	7.4		6	7.4
Quantiles	5%	18.2	12.8		14	30.5
	10%	21.6	16.2		16	34.6
	25%	27.9	21.2		19	38.6
	50%	33.7	26.3		22	42.5
	75%	38.3	30.4		27	47.1

Synthèse des valeurs de pente et de surface des enveloppes de propagation

8.3 Annexe 3 – Susceptibilité de rupture par phénomène

Poids relatifs des variables par type de phénomène

Evaluation des modélisations statistiques.

NB : résultat communs aux communes de Koné et Pouembout

GLISSEMENTS GROSSIERS

TABLE DES POIDS

Table 1 Poids sur jeu de donnée complet - Landform

Landform	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
gentle slope, coarse texture, low convexity	1	2,281,082	19	-4.2457	0.2294	0.2455	0.0129	-4.4911
gentle slope, fine texture, low convexity	17	459,661	31	-2.1542	0.1796	0.04	0.0129	-2.1941
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	1,998,145	36	-3.4742	0.1667	0.2084	0.0129	-3.6826
gentle slope, fine texture, high convexity	49	555,403	88	-1.2999	0.1066	0.0404	0.013	-1.3403
steep slope, coarse texture, low convexity	65	629,584	376	0.0274	0.0516	-0.0011	0.0133	0.0285
steep slope, fine texture, low convexity	81	1,563,826	1,837	0.7045	0.0233	-0.2001	0.0155	0.9046
steep slope, coarse texture, high convexity	97	716,944	514	0.2102	0.0441	-0.0173	0.0135	0.2276
steep slope, fine texture, high convexity	113	2,155,347	3,119	0.9133	0.0179	-0.4966	0.0186	1.4099

Table 2: Poids sur jeu de donnée complet - Régolithe

Régolithe	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	5,264,711	742	-1.417	0.0367	0.578	0.0138	-1.995
FAU-tres mince	2	1,628,390	3,132	1.1983	0.0179	-0.5632	0.0186	1.7615
FAL-anthropique	3	39,843	369	2.7774	0.0523	-0.0589	0.0133	2.8364
FAU-epais	5	262,521	213	0.3341	0.0685	-0.0103	0.0131	0.3444
FAL-chaos blocs	6	458,439	1,269	1.5632	0.0281	-0.192	0.0145	1.7552
FAL-colluvions a blocs	7	485,303	289	0.0245	0.0588	-0.001	0.0132	0.0256
FAL-formations alluviales	8	1,783,653	6	-5.1524	0.4082	0.1877	0.0129	-5.3401
FAL-colluvions ND	9	437,131	0	-6.0454	100	0.0429	0.0129	-6.0884

Table 3: Poids sur jeu de donnée complet - Substrat

Substratum	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Argilites	1	985,815	91	-1.8402	0.1048	0.0847	0.013	-1.9249
Basaltes	2	2,441,518	14	-4.619	0.2673	0.2672	0.0129	-4.8862
Calcaires	3	111,551	0	-4.6797	100	0.0111	0.0129	-4.6908
Cherts	4	95,817	0	-4.5277	100	0.009	0.0129	-4.5367
Conglomerats	5	140,658	0	-4.9115	100	0.0141	0.0129	-4.9256
Diorites, diorites quartziques, amphibolites	6	11,312	2	-1.1903	0.7072	0.001	0.0129	-1.1913
Flysch	7	250,494	0	-5.4886	100	0.0243	0.0129	-5.5129
Gres	8	206,436	0	-5.2952	100	0.0202	0.0129	-5.3154
Peridotites indifférenciées	9	2,361,959	4,727	1.2381	0.0146	-1.2783	0.0278	2.5164
Pyroxenolites	10	66	0	2.7529	100.0001	0.001	0.0129	2.7519
Schistes	11	1,719,708	0	-7.4151	100	0.1815	0.0129	-7.5966
Serpentinites	12	1,028,570	1,177	0.6782	0.0292	-0.1139	0.0144	0.7921
Siltites	13	1,006,019	9	-4.1742	0.3333	0.101	0.0129	-4.2753

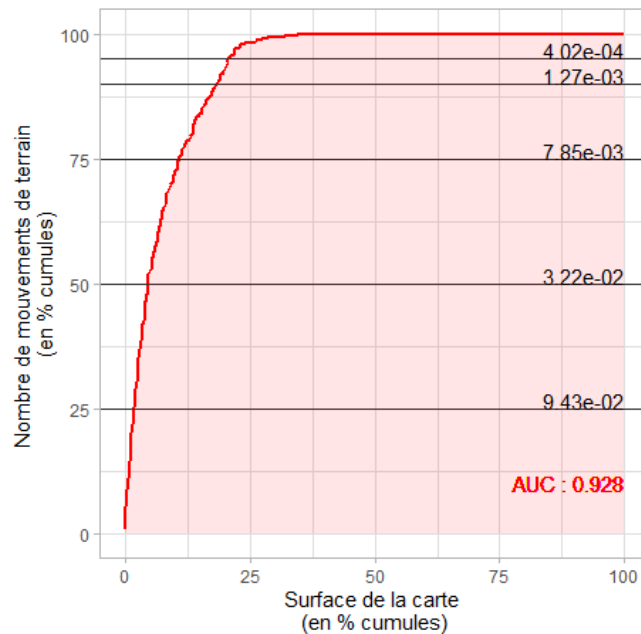
Table 4 : Poids sur jeu de donnée complet – Pente

Pentes	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5	1	2,738,709	2	-6.6798	0.7071	0.3079	0.0129	-6.9877
5-10	2	1,204,418	34	-3.0251	0.1715	0.1173	0.0129	-3.1424
10-15	3	2,156,611	336	-1.3167	0.0546	0.1756	0.0133	-1.4923
15-20	4	1,270,058	417	-0.5711	0.049	0.0598	0.0134	-0.6309
20-25	5	1,277,337	664	-0.1114	0.0388	0.0147	0.0137	-0.1262
25-30	6	921,200	990	0.6154	0.0318	-0.0859	0.0141	0.7013
30-35	7	493,330	1,500	1.6574	0.0259	-0.2372	0.0149	1.8945
35-40	8	210,256	1,334	2.3963	0.0275	-0.2308	0.0146	2.6271
40-45	9	67,725	550	2.6449	0.0428	-0.0894	0.0135	2.7343
45-50	10	16,616	150	2.7516	0.082	-0.0233	0.0131	2.7749
>50	11	3,732	43	2.9981	0.1534	-0.007	0.0129	3.0052

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

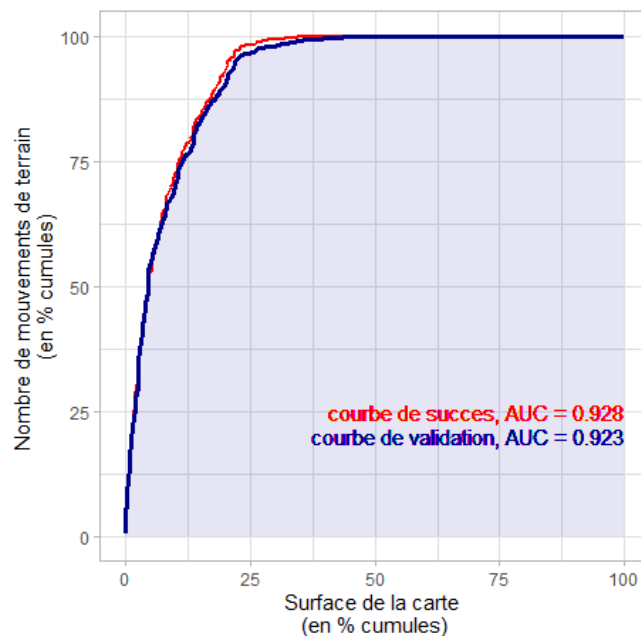
Courbe de succes et aire sous la courbe

Courbe de succes sur set d'entrainement

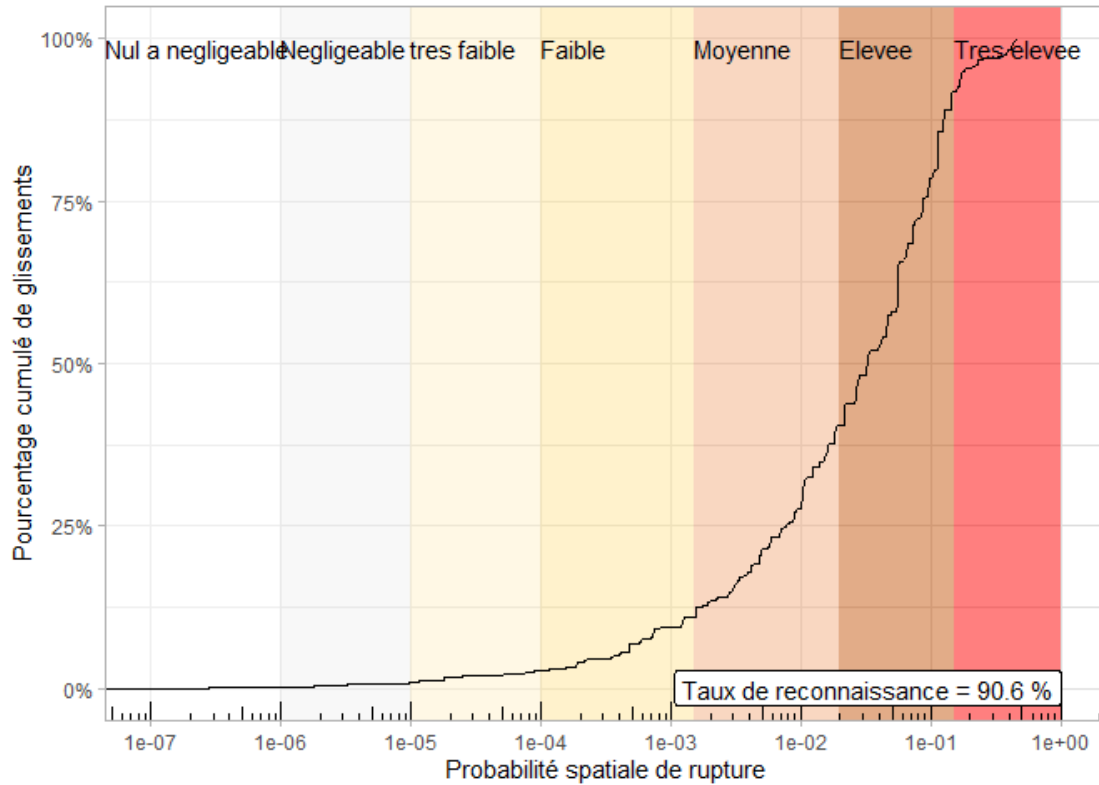


Courbe de validation

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

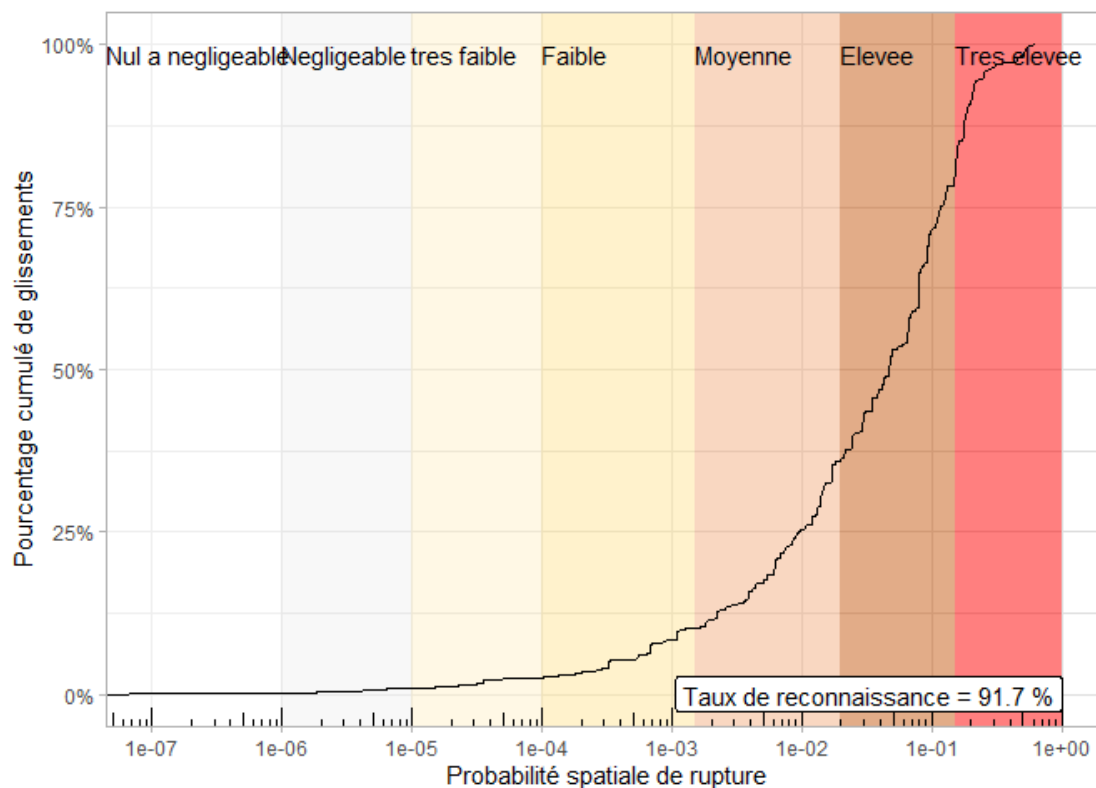


CONFIANCE STATISTIQUE

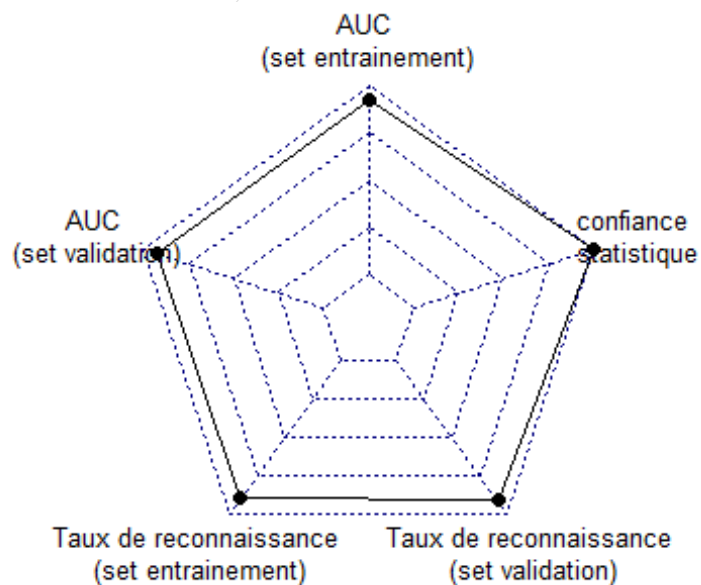
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.000000	0.000001	Nul a négligeable	6,386,317	666,722	10.43985
0.000001	0.000010	Négligeable	1,015,890	463,611	45.63594
0.000010	0.000100	très faible	587,167	556,344	94.75056
0.000100	0.001500	Faible	536,384	533,540	99.46978
0.001500	0.020000	Moyenne	1,142,908	1,142,872	99.99685
0.020000	0.150000	Élevée	655,920	655,920	100.00000
0.150000	1.000000	Très élevée	35,337	35,337	100.00000

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

Courbe de reconnaissance



Indicateurs statistiques



PROBABILITE ANNUELLE DE RUPTURE

probabilité de rupture spatiale	valeur raster	Npix classe	Npix gliss	proba temporelle	classe seuill jtc1	classe propag annuelle sélectionnée	aléa résultant
nulle à négligeable	1	6005286	1	3.78E-09	nulle à négligeable	nulle à négligeable	très faible
négligeable	2	1121881	6	1.22E-07	négligeable	négligeable	faible
très faible	3	762274	14	4.17E-07	négligeable	négligeable	faible
faible	4	548344	161	6.67E-06	très faible	très faible	modéré
moyenne	5	1137141	686	1.37E-05	faible	faible	élevé
forte	6	630598	765	2.76E-05	faible	faible	élevé
très forte	7	1.5E+05	291	4.28E-05	faible	faible	élevé

GLISSEMENTS FINS

TABLE DES POIDS

Table 5: Poids sur jeu de donnée complet - Landform

Landform	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
gentle slope, coarse texture, low convexity	1	2,281,082	57	-2.1549	0.1325	0.2221	0.0214	-2.3771
gentle slope, fine texture, low convexity	17	459,661	30	-1.1948	0.1826	0.0319	0.0213	-1.2267
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	1,998,145	56	-2.0402	0.1336	0.1891	0.0214	-2.2293
gentle slope, fine texture, high convexity	49	555,403	79	-0.4157	0.1125	0.0199	0.0215	-0.4356
steep slope, coarse texture, low convexity	65	629,584	95	-0.3566	0.1026	0.019	0.0216	-0.3756
steep slope, fine texture, low convexity	81	1,563,826	597	0.5718	0.0409	-0.1469	0.0247	0.7187
steep slope, coarse texture, high convexity	97	716,944	199	0.253	0.0709	-0.0217	0.0222	0.2747
steep slope, fine texture, high convexity	113	2,155,347	1,120	0.8803	0.0299	-0.464	0.03	1.3442

Table 6: Poids sur jeu de donnée complet - Régolithe

Régolithe	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	5,264,711	2,129	0.6294	0.0217	-2.3483	0.0981	2.9778
FAU-tres mince	2	1,628,390	3	-4.7623	0.5774	0.1698	0.0212	-4.9321
FAL-anthropique	3	39,843	0	-3.6498	100	0.004	0.0212	-3.6538
FAU-epais	5	262,521	44	-0.2516	0.1508	0.0051	0.0214	-0.2567
FAL-chaos blocs	6	458,439	4	-3.2071	0.5	0.043	0.0212	-3.2501
FAL-colluvions a blocs	7	485,303	11	-2.2525	0.3015	0.0431	0.0212	-2.2956
FAL-formations alluviales	8	1,783,653	21	-2.9075	0.2182	0.1797	0.0213	-3.0872
FAL-colluvions ND	9	437,131	21	-1.5013	0.2182	0.0339	0.0213	-1.5351

Table 7: Poids sur jeu de donnée complet – Substrat

Substratum	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Argilites	1	985,815	488	0.8317	0.0453	-0.1474	0.0239	0.9791
Basaltes	2	2,441,518	69	-2.0319	0.1204	0.2377	0.0215	-2.2695
Calcaires	3	111,551	1	-3.1801	1	0.0111	0.0212	-3.1911
Cherts	4	95,817	41	0.6859	0.1562	-0.0091	0.0214	0.6951
Conglomerats	5	140,658	9	-1.2147	0.3333	0.0101	0.0212	-1.2247
Diorites, diorites quartziques, amphibolites	6	11,312	6	0.9008	0.4084	-0.002	0.0212	0.9028
Flysch	7	250,494	5	-2.3796	0.4472	0.0223	0.0212	-2.4019
Gres	8	206,436	173	1.3585	0.0761	-0.0599	0.022	1.4185
Peridotites indifférenciées	9	2,361,959	106	-1.5694	0.0971	0.2106	0.0217	-1.78
Pyroxénolites	10	66	0	2.7533	100.0001	0.001	0.0212	2.7523
Schistes	11	1,719,708	860	0.8419	0.0341	-0.3046	0.027	1.1465
Serpentinites	12	1,028,570	2	-4.7084	0.7071	0.1032	0.0212	-4.8116
Siltites	13	1,006,019	473	0.7802	0.046	-0.1362	0.0238	0.9164

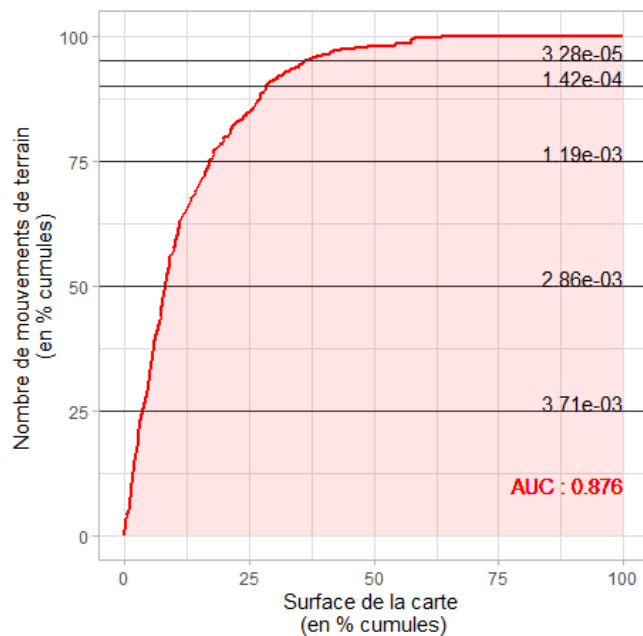
Table 8: Poids sur jeu de donnée complet – Pente

Pentes	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5	1	2,738,709	30	-2.9796	0.1826	0.2934	0.0213	-3.2731
5-10	2	1,204,418	50	-1.6473	0.1414	0.1011	0.0214	-1.7483
10-15	3	2,156,611	271	-0.5397	0.0607	0.1042	0.0226	-0.6439
15-20	4	1,270,058	313	0.134	0.0565	-0.0196	0.0228	0.1536
20-25	5	1,277,337	626	0.8217	0.04	-0.1973	0.0249	1.019
25-30	6	921,200	569	1.0532	0.0419	-0.2012	0.0245	1.2544
30-35	7	493,330	263	0.9059	0.0617	-0.0764	0.0225	0.9823
35-40	8	210,256	90	0.6863	0.1054	-0.0206	0.0216	0.7069
40-45	9	67,725	16	0.0918	0.25	0.008	0.0212	0.0837
45-50	10	16,616	5	0.3338	0.4473	0.003	0.0212	0.3308
>50	11	3,732	0	-1.2818	100	0.001	0.0212	-1.2828

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

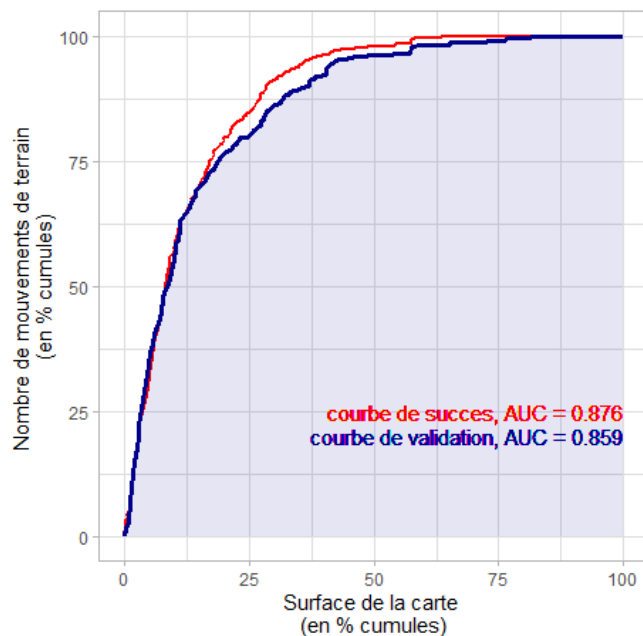
Courbe de succes et aire sous la courbe

Courbe de succes sur set d'entrainement

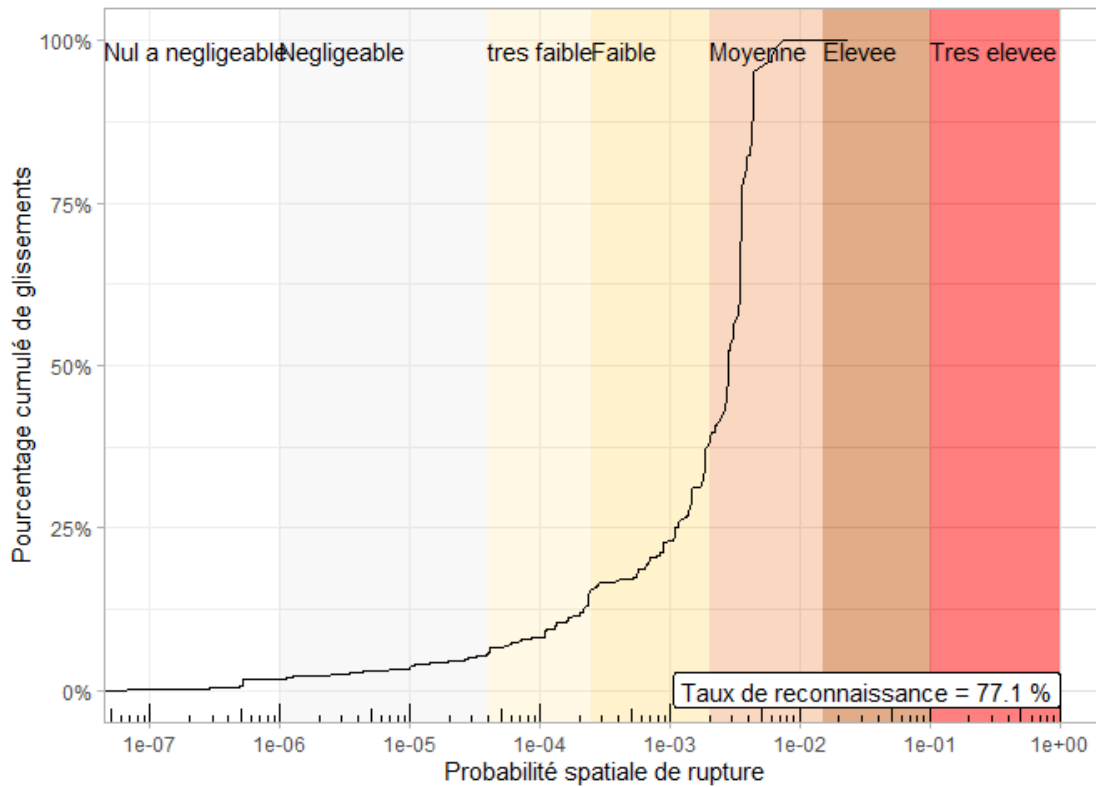


Courbe de validation

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

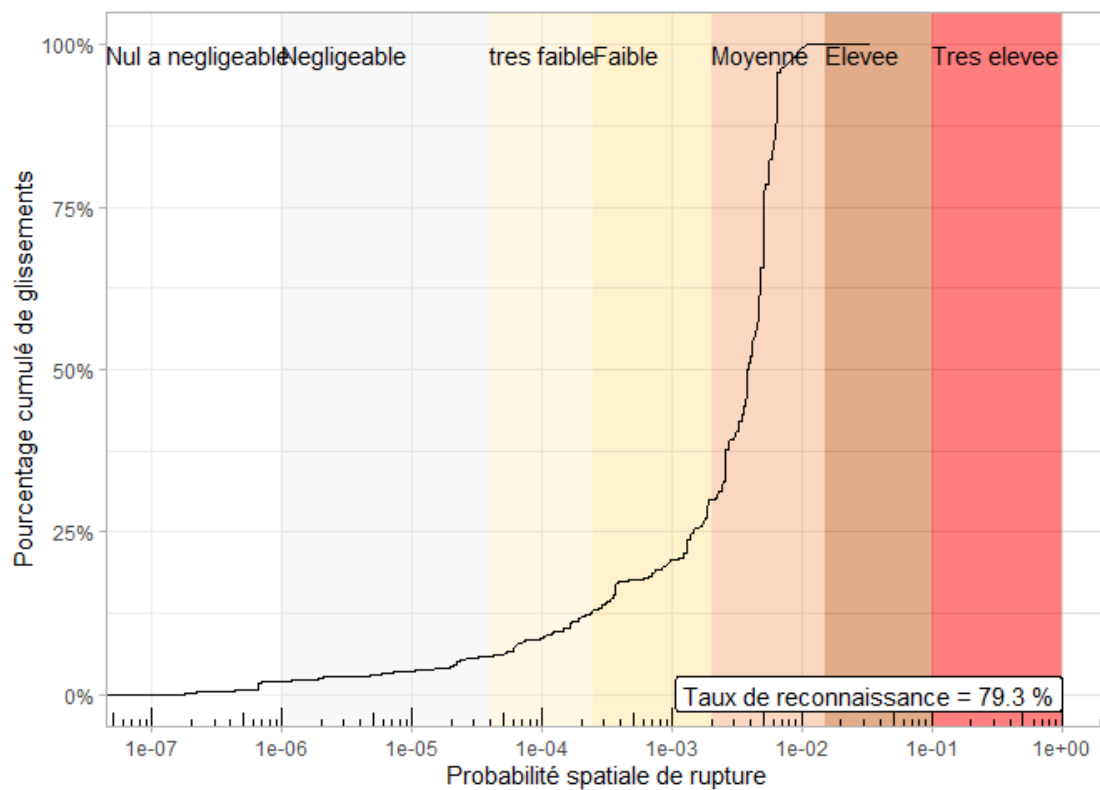


CONFIANCE STATISTIQUE

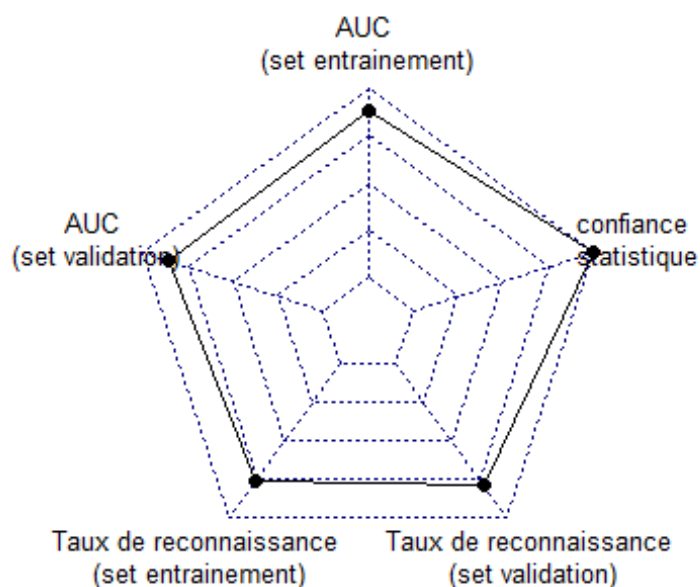
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.000000	0.000001	Nul a negligeable	4,690,695	2,283,797	48.68782
0.000001	0.000040	Negligeable	2,008,778	1,132,925	56.39872
0.000040	0.000250	tres faible	1,098,240	1,063,893	96.87254
0.000250	0.002000	Faible	1,415,721	1,413,073	99.81296
0.002000	0.015000	Moyenne	1,146,482	1,146,456	99.99773
0.015000	0.100000	Elevee	7		
0.100000	1.000000	Tres elevee			

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

COURBE DE RECONNAISSANCE



INDICATEURS STATISTIQUES



PROBABILITE ANNUELLE DE RUPTURE

probabilité de rupture spatiale	valeur raster	Npix classe	Npix gliss	proba temporelle	classe seuill jtc1	classe propag annuelle sélectionnée	aléa résultant
nulle à négligeable	1	3995874	30	1.71E-07	négligeable	nulle à négligeable	nul à négligeable
négligeable	2	2496116	53	4.83E-07	négligeable	négligeable	très faible
très faible	3	976278	63	1.47E-06	très faible	très faible	faible
faible	4	1394164	146	2.38E-06	très faible	très faible	faible
moyenne	5	1497467	818	1.24E-05	faible	faible	modéré
forte	6				faible	faible	élevé
très forte	7				faible	faible	élevé

LAVES TORRENTIELLES**TABLE DES POIDS***Table 9 : Poids sur jeu de donnée complet – Régolithe*

Regolithe	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	5,264,711	157	-1.3553	0.0798	0.5689	0.031	-1.9242
FAU-tres mince	2	1,628,390	260	0.3227	0.062	-0.0738	0.0327	0.3965
FAL-anthropique	3	39,843	478	4.6539	0.046	-0.5052	0.0373	5.1591
FAU-epais	5	262,521	71	0.8498	0.1187	-0.0355	0.0298	0.8853
FAL-chaos blocs	6	458,439	203	1.343	0.0702	-0.1401	0.0317	1.4831
FAL-colluvions a blocs	7	485,303	29	-0.6602	0.1857	0.0238	0.0292	-0.6841
FAL-formations alluviales	8	1,783,653	0	-7.4512	100	0.1887	0.0289	-7.6399
FAL-colluvions ND	9	437,131	0	-6.045	100	0.0429	0.0289	-6.0879

Table 10 : Poids sur jeu de donnée complet – Pentes

Pentes	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5	1	2,738,709	0	-7.88	100	0.3065	0.0289	-8.1865
05-10	2	1,204,418	0	-7.0585	100	0.1233	0.0289	-7.1818
10-15	3	2,156,611	40	-1.8302	0.1581	0.1996	0.0294	-2.0299
15-20	4	1,270,058	78	-0.6329	0.1132	0.064	0.0299	-0.6969
20-25	5	1,277,337	133	-0.1049	0.0867	0.0136	0.0306	-0.1185
25-30	6	921,200	227	0.7567	0.0664	-0.1163	0.0321	0.873
30-35	7	493,330	266	1.54	0.0613	-0.2018	0.0328	1.7419
35-40	8	210,256	268	2.4011	0.0611	-0.2334	0.0328	2.6345
40-45	9	67,725	137	2.8637	0.0855	-0.114	0.0307	2.9777
45-50	10	16,616	37	2.96	0.1646	-0.0295	0.0294	2.9895
>50	11	3,732	12	3.3284	0.2891	-0.0101	0.029	3.3384

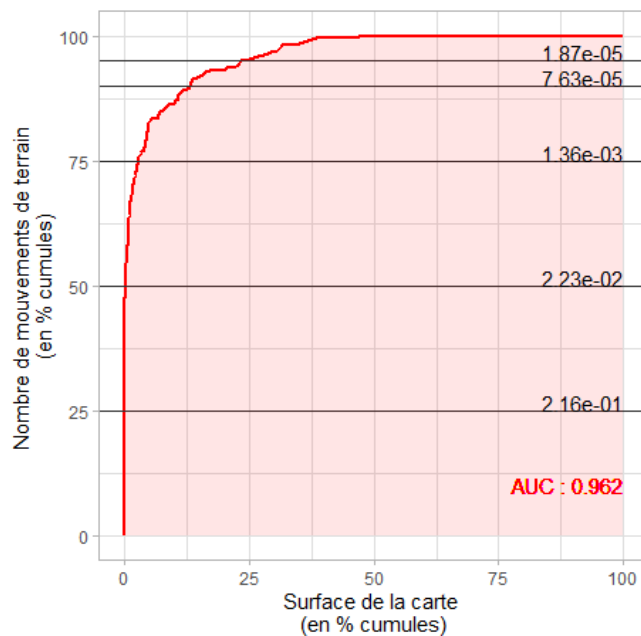
Table 11 Poids sur jeu de donnée complet – TPI

TPI	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
V-shape river valley. Deep narrow canyons	1	479,491	133	0.8751	0.0867	-0.0706	0.0306	0.9457
Lateral midslope incised drainage	2	754,685	454	1.6496	0.0469	-0.4006	0.0367	2.0502
Upland incised drainage. Stream headwaters	3	83,386	207	3.0689	0.0696	-0.1819	0.0318	3.2508
U-shape valleys	4	685,409	30	-0.9716	0.1826	0.043	0.0293	-1.0146
Broad flat area (slope=0)	5	2,573,319	0	-7.8177	100	0.285	0.0289	-8.1027
Broad open slopes (slopes>0)	6	3,674,444	149	-1.048	0.0819	0.3061	0.0309	-1.3541
Flat ridge tops mesa tops	7	749,311	167	0.6562	0.0774	-0.0749	0.0311	0.7312
Local ridge/hilltops within broad valleys	8	61,524	1	-1.9622	1	0.005	0.0289	-1.9672
Lateral midslope drainage divides. Local ridges in plains	9	729,205	11	-2.0369	0.3015	0.0635	0.029	-2.1004
Mountain top. High narrow ridges	10	569,218	46	-0.3584	0.1474	0.0178	0.0295	-0.3762

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

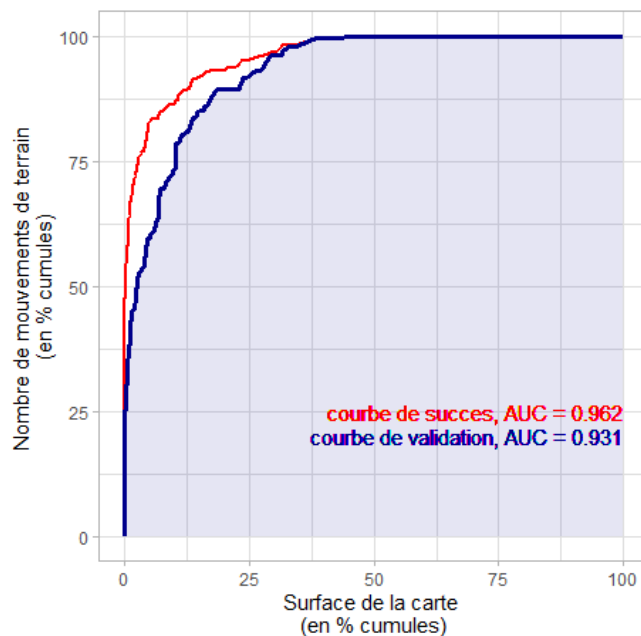
Courbe de succes et aire sous la courbe

Courbe de succes sur set d'entrainement

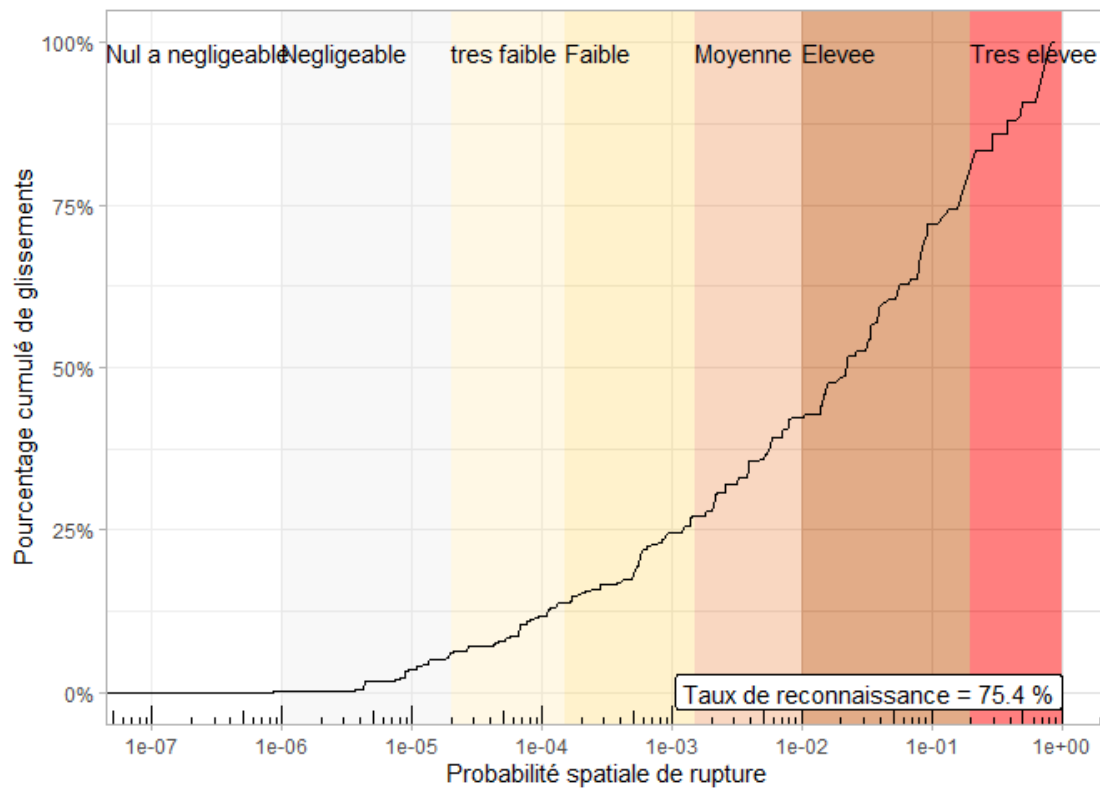


Courbe de validation

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

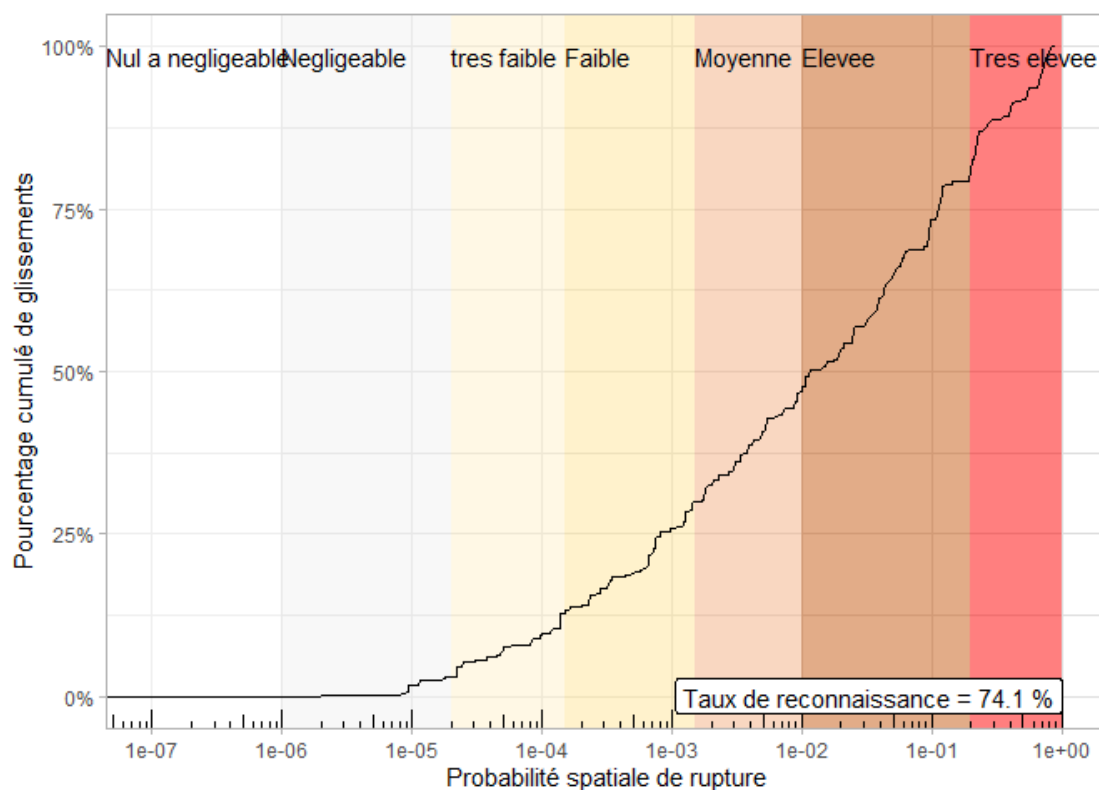


CONFIANCE STATISTIQUE

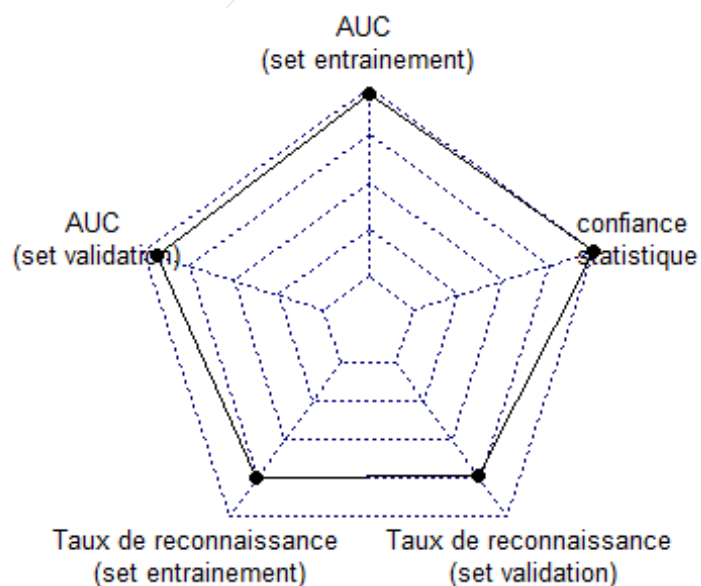
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.000000	0.000001	Nul a négligeable	5,195,351	1,068,642	20.56920
0.000001	0.000020	Négligeable	2,822,037	2,782,025	98.58216
0.000020	0.000150	très faible	1,406,193	1,399,460	99.52119
0.000150	0.001500	Faible	683,329	683,162	99.97556
0.001500	0.010000	Moyenne	191,970	191,960	99.99479
0.010000	0.200000	Elevee	56,558	56,558	100.00000
0.200000	1.000000	Tres elevee	4,553	4,553	100.00000

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

Courbe de reconnaissance



INDICATEURS STATISTIQUES



PROBABILITE ANNUELLE DE RUPTURE

probabilité de rupture spatiale	valeur raster	Npix classe	Npix gliss	proba temporelle	classe seuill jtc1	classe propag annuelle sélectionnée	aléa résultant
nulle à négligeable	1	5565407	2	8.17E-09	nulle à négligeable	nulle à négligeable	nul à négligeable
négligeable	2	2066362	35	3.85E-07	négligeable	nulle à négligeable	très faible
très faible	3	1841651	75	9.26E-07	négligeable	négligeable	faible
faible	4	662549	116	3.98E-06	très faible	très faible	modéré
moyenne	5	192841	122	1.44E-05	faible	faible	modéré
forte	6	28148	199	1.61E-04	moyenne	moyenne	élevé
très forte	7	3033	89	6.67E-04	moyenne	moyenne	élevé

8.4 Annexe 4 – Méthode d'évaluation de l'aléa mouvement de terrain

DEFINITIONS ET PRINCIPES

L'aléa correspond à la probabilité spatiale (susceptibilité) et temporelle (période de retour) qu'un type de phénomène d'une certaine intensité se produise sur un territoire pour une période temporelle donnée (Cruden et Fell, 1997 ; Fell et al., 2005).

La qualité des données et les objectifs recherchés conditionnent l'approche d'évaluation de l'aléa. Pour la commune, des méthodes dites « sophistiquées » axées sur des approches quantitatives sont retenues au regard du travail d'inventaire réalisé. Ces méthodes intègrent la dimension spatiale et la composante temporelle. Elles sont fondées sur des analyses statistiques / probabilistes.

ALEA DE REFERENCE

Selon le guide PPRn « Risques de mouvement de terrain » il convient de déterminer l'aléa de référence (phénomène d'occurrence et d'intensité données servant de référence pour définir la cartographie) dans un secteur homogène donné afin de prévoir au mieux le phénomène qui pourrait se produire et dont il faut protéger les populations et les biens concernés.

Cet aléa est décrit conventionnellement comme le « plus fort événement historique connu dans le site, sauf si une analyse spécifique conduit à considérer comme vraisemblable à échéance centennale, ou plus en cas de danger humain, un événement de plus grande ampleur. ». Un événement exceptionnel d'occurrence géologique n'est pas, par principe, pris en considération.

Il est traditionnellement retenu d'approcher l'aléa de référence au travers de scénarios dits « de référence », qui doivent spécifier en particulier l'intensité des phénomènes et les conditions de propagation. Plusieurs scénarios de référence peuvent être proposés pour construire l'aléa de référence. Pour la cartographie à échelle du 1 : 25 000ème, l'intensité de l'aléa de référence est définie à partir d'un scénario qualifié de probable, non nécessairement maximal.

La période retenue pour qualifier l'aléa de référence est le siècle (probabilité qu'un événement d'un type se déclenche dans les 100 ans à venir).

Les phénomènes objet de cartes d'aléa sont issus de la typologie des mouvements définie dans le rapport méthodologique et de l'inventaire communal réalisé :

- GG : Glissement dans matériaux grossiers
- GF : Glissement dans matériaux fins
- LT : Lave-torrentielle
- CB : Chute de blocs ou éboulements

Les phénomènes de « Grand glissement de versant » (GGV) ne font pas l'objet de cartes d'aléa car aucune méthode ne permet d'appréhender raisonnablement cet aléa à l'échelle des communes. De plus l'occurrence de ce type de phénomène dépasse l'échelle centennale. Les phénomènes repérés géomorphologiquement (actifs-latents ou dormants-stabilisés) sont toutefois reportés sur les cartes d'aléa produites.

La méthode déployée pour définir l'**aléa** (par type de phénomène) consiste à définir pour un phénomène d'intensité donnée (définie comme intensité de l'aléa de référence), la probabilité

(spatiale et temporelle) d'atteinte en tout point du territoire, et pendant une période de référence considérée (ici le siècle).

DETERMINATION DE L'INTENSITE DES PHENOMENES

La notion d'intensité traduit l'ampleur du phénomène (volume mobilisé, dynamique, énergie...). Elle présume de ses conséquences (dommages). Dans le cadre du projet, l'intensité est appréhendée différemment selon le type de phénomène considéré. Pour les phénomènes de chutes de blocs (CB), la classification retenue pour qualifier l'intensité des phénomènes est :

Indices d'intensité	Description	Indications sur les dommages
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur à 0,05 m ³ mais inférieur ou égal à 0,25 m ³ (50 à 250 litres)	Peu de dommage au gros œuvre, perturbation des activités humaines.
Moyen	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m ³ mais inférieur ou égal à 1 m ³	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Fort	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur à 1 m ³ mais inférieur ou égal à 10 m ³	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très fort	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m ³	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

Echelle d'intensité retenue pour les chutes de blocs (CB)

Pour les autres phénomènes (LT, GG, GF) la vitesse est privilégiée pour qualifier l'intensité au regard des données effectivement accessibles :

Vitesse			Conséquences		Intensité	Phénomène NC
mm/s	typique	Qualification	Impacts	Réponse		
5000 =>	5 m/s	ER	Catastrophe majeure	-	Très élevée	LT
		TR	Structure détruite		Elevée	GG
50 =>	3 m/min	R	Structure détruite, possible évacuation	Evacuation	Modérée	GF
0.5 =>	1,8 m/h	M	Qq structures résistent			
0.005 =>	13 m/mois	L	Possibles intervention travaux	Intervention		
0.00005 =>	1,6 m/an	TL	Structure peu endommagées			
0.0000005 =>	16 mm/an	EL	Imperceptible	-		

ER.extrêmement rapide / TR.Très rapide / R.Rapide / M.Modérée / L.Lent / TL.Très lent / EL.extrêmement lent

Echelle d'intensité retenue pour GG, GF, LT

DETERMINATION DE L'ATTEINTE DES PHENOMENES

L'évaluation de l'occurrence du phénomène (ou atteinte) intègre la rupture et la propagation de celui-ci. La rupture intègre une dimension temporelle alors que la propagation est indépendante du temps (une fois enclenché le mouvement se propage plus ou moins loin dans les versants). Les deux évaluations (rupture et propagation) sont donc menées successivement : analyse de la rupture (dimension spatiale et temporelle du phénomène) puis celle de la propagation (composante spatiale uniquement).

RUPTURE

Pour les LT, GG et GF, la méthode déployée consiste à pondérer l'influence des facteurs de prédisposition définis par la typologie de chaque phénomène. Ce travail s'appuie sur des visites de terrain et du traitement géomatique (SIG). Pour l'analyse à l'échelle communale, les facteurs pris en compte sont :

- SUBSTRAT : nature géologique du substratum rocheux ;
- FORM_SUP : nature lithologique des formations superficielles ;
- LANDFORM : paramètre décrivant les paysages et les morphologies (versants, crêtes, talwegs, etc...) ;
- PENTE : pente des terrains évaluée à l'échelle des données topographiques valorisées.

A l'échelle des cartes communales, la méthode déclinée est une analyse statistique qui s'intéresse aux lois de probabilité qui régissent la rupture et la propagation du phénomène. Elle permet de mettre à jour l'estimation de l'atteinte spatiale de celui-ci et s'appuie sur les observations de terrains et d'inventaire.

Le calcul des probabilités de rupture pour chaque type de phénomène est réalisé avec 50% des événements (50% des cellules représentant les enveloppes de rupture) tirés aléatoirement sur un secteur de calage. Les pondérations sont ensuite intégrées sur l'ensemble du territoire pour chaque classe de variable et le taux de reconnaissance des événements non inclus initialement est évalué.

La cartographie de la rupture est déclinée spatialement (susceptibilité). À l'aide des données d'inventaire par période, la probabilité spatiale et temporelle est évaluée. Les coupures des différentes classes de probabilité de rupture (et d'atteinte in fine) s'appuient sur les travaux du JTC-1⁴, adaptées au programme ci-après:

⁴ Joint Technical Committee (JTC-1) : Le « Joint International Societies Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes » (ISSMGE, ISRM, IAEG) a préparé des directives cadrant les définitions et terminologies à utiliser sur le plan international ainsi que les méthodes, moyens et résultats attendus pour la cartographie des aléas et le zonage de risques associés aux mouvements de terrain (« Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning ». Fell et al., 2008).

		Probabilité annuelle d'occurrence	Qualification de l'activité sur 100 ans (période de référence)
Probabilité de rupture (et d'atteinte)	Nul à négligeable	$< 10^{-7}$	Improbable moins d'une "chance" sur 100 000
	Négligeable	10^{-7} à 10^{-6}	Très incertaine moins d'une "chance" sur 10 000
	Très faible	10^{-6} à 10^{-5}	Incertaine jusqu'à 1 "chance" sur 1 000
	Faible	10^{-5} à 10^{-4}	Peu probable jusqu'à 1 "chance" sur 100
	Moyen	10^{-4} à 10^{-3}	Possible jusqu'à # 1 "chance" sur 10
	Elevée	10^{-3} à 10^{-2}	Probable > 1 "chance" sur 10
	Très élevée	$> 10^{-2}$	Certaine phénomène attendu

Classes retenues pour la qualification de l'occurrence des phénomènes (rupture et/ou atteinte)

Pour les chutes de blocs (CB), une approche spécifique est déclinée compte tenu de la difficulté d'inventorier complètement les événements à l'échelle considérée. Cette approche, détaillée dans le rapport méthodologique, définit la probabilité de rupture comme une fonction de la probabilité de présence d'escarpement rocheux et de l'activité géologique (exprimée par surface concernée, en nombre de chute du volume de l'intensité de référence pendant la période de référence).

PROPAGATION

Pour la propagation des phénomènes les approches diffèrent selon les aléas considérés. Les analyses, calage des modèles et résultats types sont décrits en détail dans le rapport méthodologique et résumés à la suite pour les phénomènes étudiés.

GG (GLISSEMENTS GROSSIERS), GF (GLISSEMENTS FINS) ET LT (LAVE TORRENTIELLES)

Pour les glissements, fins ou grossiers et les laves torrentielles une modélisation numérique⁵ a été mise en œuvre. Cette modélisation a permis de réaliser une délimitation semi-automatique des secteurs sources, mais également une évaluation du périmètre d'atteinte. L'application du modèle nécessite deux étapes fondées sur un modèle numérique de terrain (MNT) :

- les zones sources sont d'abord identifiées ;
- les flux de débris sont propagés à partir de ces sources sur la base de lois de frottement (angle de ligne d'énergie) et les algorithmes de direction d'écoulement (voir rapport méthodologique). Le volume d'écoulement des débris, et de fait les hauteurs des masses propagées, ne sont pas évalués.

Le paramétrage est empirique, basé sur des rétro-calages d'événement passés, selon le type de phénomène à cartographier. Les paramètres de calage de l'outil sont :

- La ligne d'énergie, évaluée à partir des retours d'expérience des événements cartographiés ;
- La vitesse présumée des mouvements (# 10 m.s-1 au maximum) ;
- Le mode de dispersion latérale définie suivant des modèles d'étalement.

⁵ Avec l'outil Flow-R (Flow path assessment of gravitational hazards at Regional scale, Horton et al., 2013), Flow-R est un modèle empirique distribué pour l'évaluation de la susceptibilité aux mouvements gravitaires

Les différents aléas sont modélisés séparément. Le modèle définit des valeurs normalisées ou absolues pour les zones sources initiales. Ces valeurs sont ensuite propagées et représentent une notion de poids relatif de l'aléa. Une fois normalisées, les valeurs ne dépassent jamais 1, et se rapprochent ainsi d'une notion de probabilité spatiale.

CB (CHUTES DE BLOCS)

La propagation des chutes de blocs et éboulements est évaluée à partir de l'application de la méthode dite de la ligne d'énergie déclinée en 3D⁶. La méthode de la ligne d'énergie trouve son fondement scientifique dans les phénomènes de grande ampleur. En effet, elle assimile la phase de propagation des blocs à une phase de glissement sur un plan et permet d'obtenir l'extension du phénomène (distance de propagation).

Compte tenu de la possibilité de déviation des trajectoires des blocs que ce soit à cause de leur forme ou des obstacles rencontrés, les masses éboulées peuvent donc progresser dans un cône, appelé cône de propagation. Ce cône a une pente β (avec l'horizontale) et son sommet est placé au niveau de la zone de départ. Ainsi, plus l'angle est élevé, plus la distance de propagation est limitée.

En ce qui concerne la valeur de l'angle du cône de déviation, celle-ci dépend de la configuration topographique du versant étudié. Les retours d'expérience de plusieurs centaines d'éboulements rocheux montrent que les angles de ligne d'énergie correspondant à des chutes de blocs isolés sont quasi systématiquement supérieurs à 22-26°. Dans des contextes morphologiques particuliers tels que des parois rocheuses au droit de zone de plaine, ces valeurs peuvent atteindre voire dépasser 45°. La valeur la plus communément utilisée est de l'ordre de 30°.

OCCURRENCE (OU ATTEINTE)

L'atteinte est calculée en considérant pour une source unique que la probabilité d'atteinte en un point est le produit de la probabilité de rupture et de la probabilité de propagation. Dans le cas où plusieurs secteurs sources sont concernés, la probabilité d'atteinte est définie comme la plus forte probabilité calculée.

De façon simplifiée, la qualification de l'atteinte repose sur une matrice croisant rupture et propagation (multiplication des probabilités). Cette matrice qualifiant l'atteinte, **commune à tous les aléas** est proposée ci-dessous :

⁶ Avec l'outil ConeFall développé et l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) et QUANTERRA (<https://quanterra.ch/resources/software/>).

		Probabilité de propagation						
		1	2	3	4	5	6	7
Probabilité annuelle de rupture		10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1
		Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Extrêmement forte
1	Négligeable	Nulle à négligeable						Négligeable
2	Très faible	Nulle à négligeable					Négligeable	Très faible
3	Faible	Nulle à négligeable				Négligeable	Très faible	Faible
4	Moyen	Nulle à négligeable			Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne
5	Fort	Nulle à négligeable		Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée
6	Très fort	Nulle à négligeable	Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
7	Extrêmement forte	Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée	Très élevée

Matrice d'atteinte (ou occurrence) croisant rupture et propagation des aléas

ALEA RESULTANT

L'aléa résultant par phénomène est élaboré par croisement de l'occurrence avec l'intensité. La matrice de croisement est homogène quel que soit le phénomène considéré. Les classes pour qualifier les atteintes sont celles définies pour la rupture. L'évaluation de l'intensité des phénomènes varie selon le type (§ INTENSITE) :

		Intensité				
		Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Classe d'atteinte	1 Nulle à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Très faible	Très faible
	2 Négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Très faible	Faible	Faible
	3 Très faible	Nul à négligeable	Très faible	Faible	Modéré	Modéré
	4 Faible	Nul à négligeable	Faible	Modéré	Elevée	Elevée
	5 Moyenne	Très faible	Modéré	Modéré	Elevée	Elevée
	6 Elevée	Faible	Modéré	Elevée	Elevée	Très élevée
	7 Très élevée	Faible	Modéré	Elevée	Très élevée	Très élevée

Matrice retenue pour la cartographie de l'aléa

8.5 Annexe 5 – Application sur la commune de POUEMBOUT

PARAMETRES VALORISES POUR LA COMMUNE DE POUEMBOUT

Pour l'analyse à l'échelle communale, l'évaluation de l'aléa de rupture est menée suivant la méthode décrite dans le rapport méthodologique (BRGM/RP-73161-FR DIMENC/SGNC-2023(10)). Les facteurs intégrés sont :

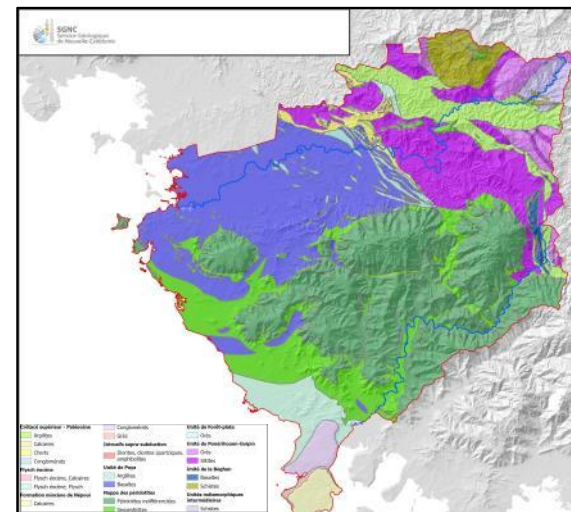
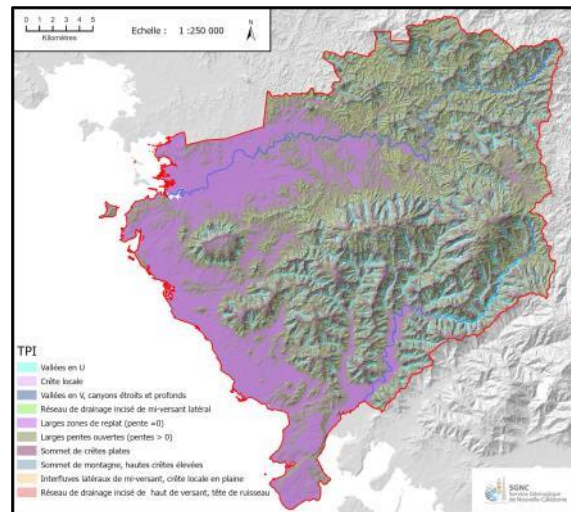
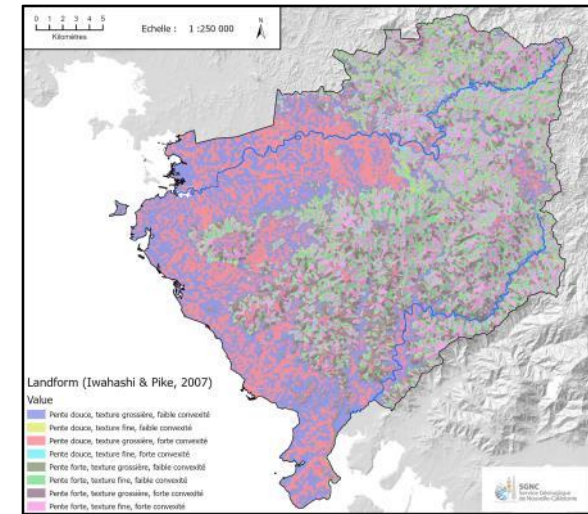
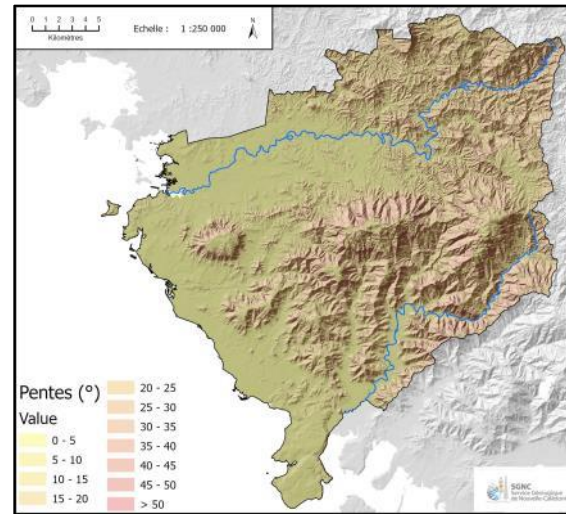
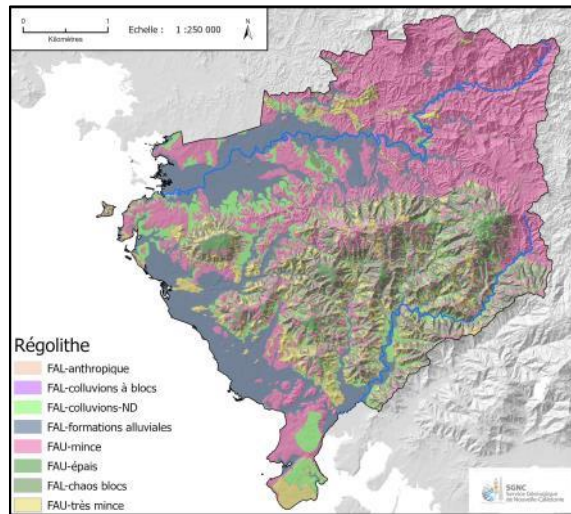
- SUBSTRAT : nature géologique du substratum rocheux ;
- FORM_SUP : nature lithologique des formations superficielles ;
- LANDFORM : paramètre intégrateur descriptif de paysages et de morphologies (versants, crêtes, talwegs, etc...), il est calculé avec la méthode d'Iwashi and Pike (2007) ;
- TPI : paramètre intégrateur descriptif de paysages et de morphologies (versants, crêtes, talwegs, etc...) calculé selon la méthode proposée par Jones et al. (2000). Cet indice permet de classer le territoire suivant 10 types de morphologies ;
- PENTE : pente des terrains évaluée à l'échelle des données topographiques valorisée.

La méthodologie générale est détaillée pour chaque phénomène (GG, GF, LT) dans le rapport méthodologique, et est rappelée en annexe 8.4. Cependant, pour chaque typologie de phénomène, les données d'entrées et divers paramètres diffèrent :

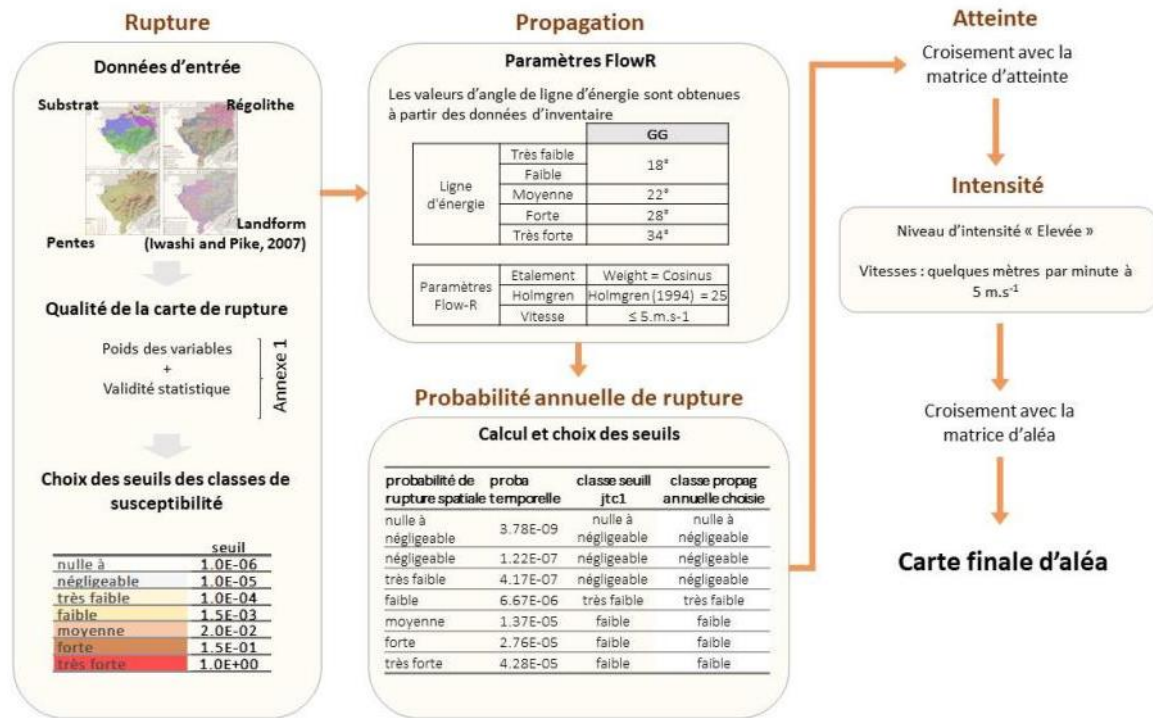
- pour le calcul de la probabilité de rupture les données d'entrées ne sont pas les mêmes ;
- les paramètres entrés dans le modèle de propagation FlowR sont ajustés pour chaque type de phénomène. La distribution des valeurs de ligne d'énergie calculées pour les données d'inventaire communal est valorisée pour paramétrer le modèle ;
- Enfin, les valeurs de seuils de classe pour les cartes de probabilité de rupture spatiale et spatio-temporelle peuvent être ajustées à la marge de manière experte par rapport aux seuils proposés par le JTC1 (Fell et al, 2008).

Pour les chutes de blocs, l'approche est différente et également détaillée dans le rapport méthodologique. Les paragraphes suivants présentent les paramètres d'entrée valorisés et les résultats pour les quatre phénomènes considérés (GG, GF, LT et CB). Les paramètres de l'approche statistique (GG, GF et LT) sont fournis en annexe 8.3.

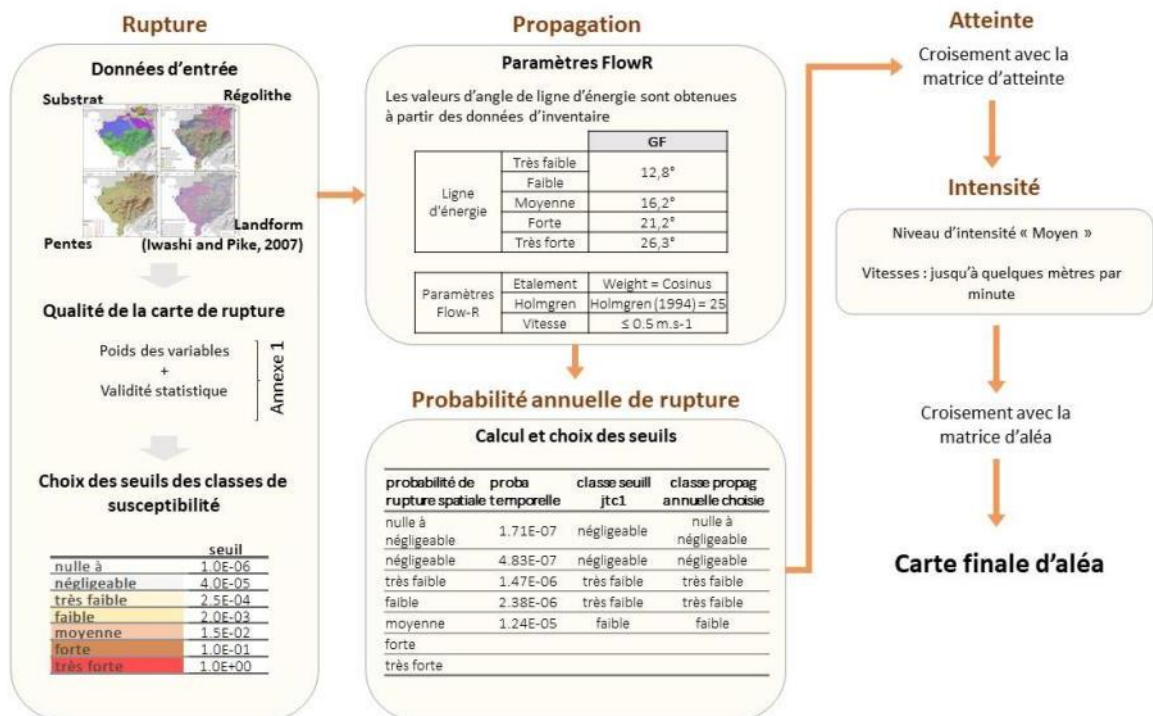
Les paramètres spécifiques à la création des différentes cartes d'aléas sur la commune d'aléas sont rappelés sur les illustrations suivantes pour chaque type d'aléa carté :



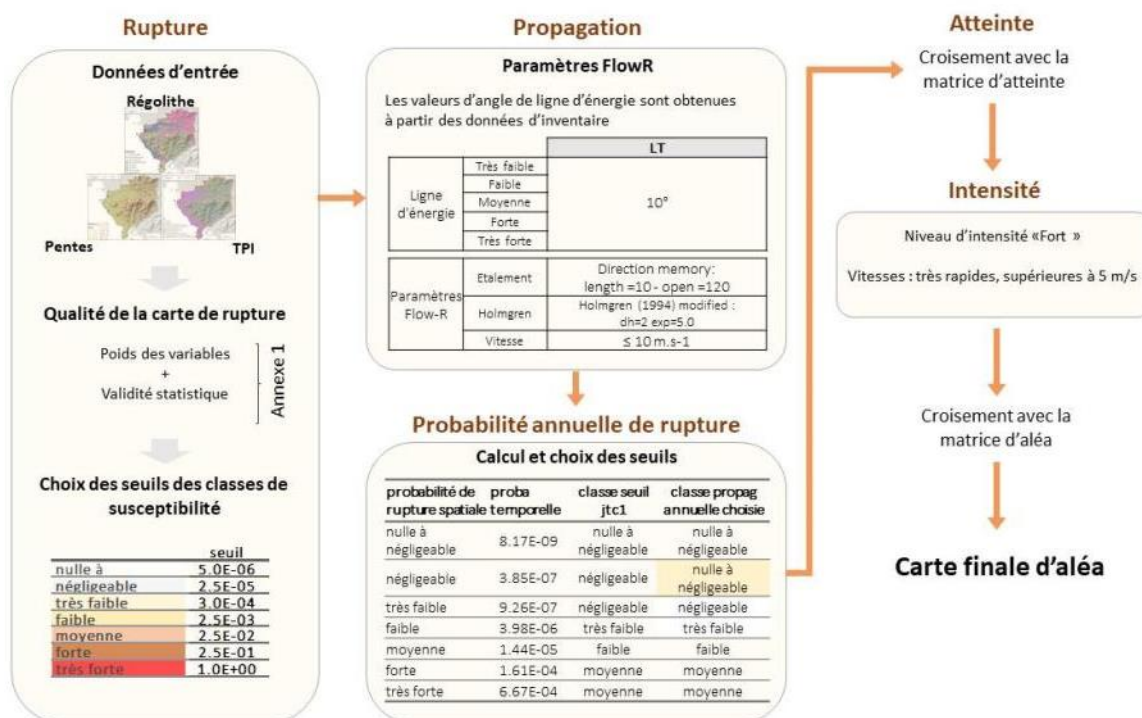
Cartes de référence des variables valorisées



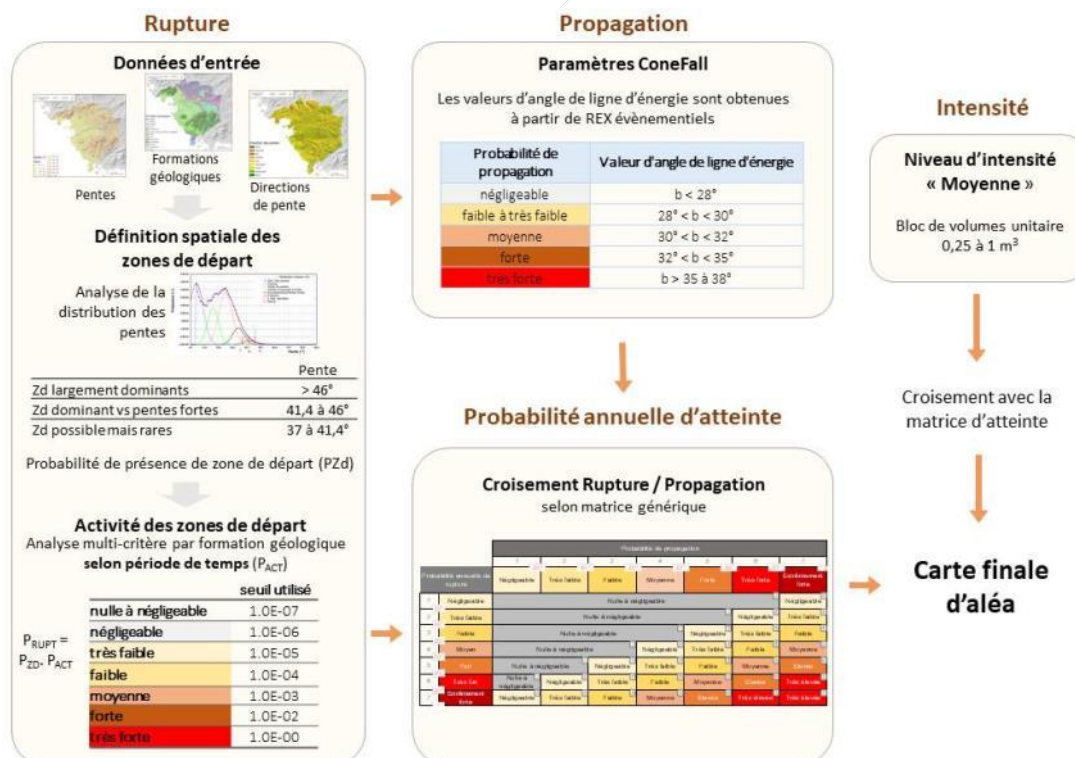
Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des glissements grossiers sur la commune de Pouembout



Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des glissements fins sur la commune de Pouembout



Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des laves torrentielles sur la commune de Pouembout



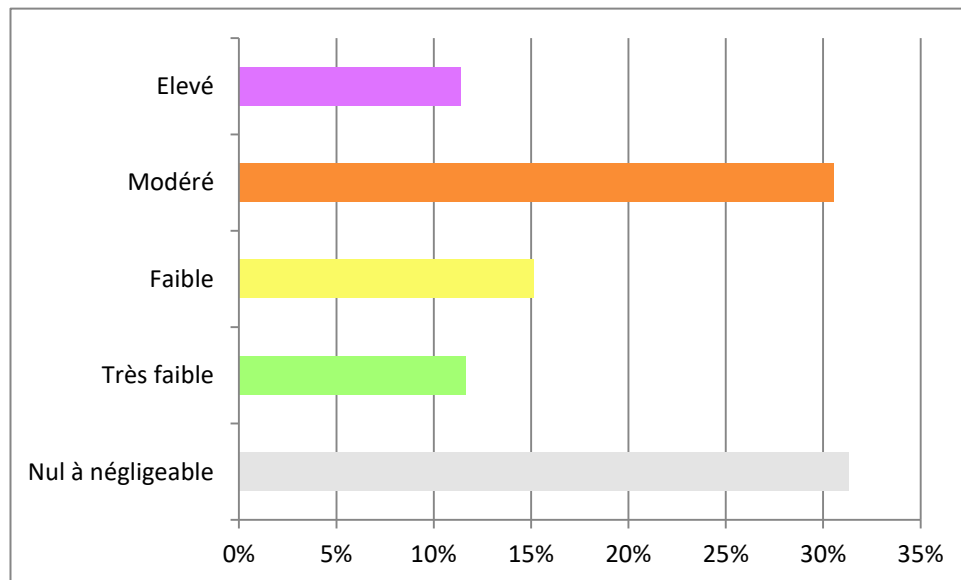
Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa chute de blocs

CARTE D'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN

L'agrégation des cartes par phénomènes en une carte unifiée de l'aléa mouvement de terrain est réalisée suivant la méthode décrite au rapport méthodologique, en retenant en tout point du territoire cartographié le niveau d'aléa maximal considéré, en gardant en mémoire l' (les) aléa(s) au(x)quel(s) il se réfère.

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km²)	Nul à négligeable	331.95	299.14	353.23	583.87	209.23
	Très faible	82.54	172.83	116.82	7.91	77.79
	Faible	55.90	111.93	122.25	21.53	100.92
	Modéré	125.21	84.06	64.46	53.88	203.85
	Elevé	72.36	-	11.19	-	76.17
Surface totale soumise à aléa		336.01	368.82	314.73	83.32	458.73
% de la commune soumis à aléa		50%	55%	47%	12%	69%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	50%	45%	53%	88%	31%
	Très faible	12%	26%	17%	1%	12%
	Faible	8%	17%	18%	3%	15%
	Modéré	19%	13%	10%	8%	31%
	Elevé	11%	0%	2%	0%	11%



Exposition de la commune de Pouembout à l'aléa mouvement de terrain,

8.6 Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain

8.7 Annexe 7 – Atlas cartographiques : aléa mouvement de terrain

