

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

Rapport final

**BRGM/RP-73161-FR
DIMENC SGNC-2024(13)
Décembre 2024**

Document public

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

Rapport final

BRGM/RP-73161-FR
DIMENC SGNC-2024(13)
Décembre 2024

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

B. Colas, Y. Thiery, Y. Guyomard, M. Mengin, M. Premaillon, O. Monge

Vérificateur :

Nom : S. Bernardie

Fonction : Ingénieure
géotechnicienne

Date : 24/02/2025

Signature :



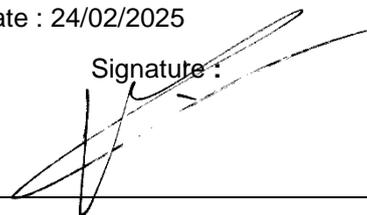
Approbateur :

Nom : V. Mardhel

Fonction: Directeur Antenne
Nouvelle Calédonie

Date : 24/02/2025

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, Kaala-Gomen

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

Colas B., Thiery Y., Guyomard Y., Mengin M., Prémaillon M., Monge O. (2024) – Cartographie de l'aléa mouvement de terrain. Commune de Kaala-Gomen (Nouvelle Calédonie). Echelle 1:25 000^{ème}. Rapport final. BRGM/RP-73161-FR DIMENC SGNC 2024(13), 45 p., 26 illustrations, 7 annexes.

SYNTHESE

Lors des évènements 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 méconnu et insuffisamment pris en compte par les populations et les autorités. En conséquence, une démarche de caractérisation des aléas « mouvements 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 Kaala-Gomen :

- 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 (1^{er} 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.....	27
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	<u>54</u>
8.3	Annexe 3 – Susceptibilité de rupture par phénomène	56
8.4	Annexe 4 – Méthode d'évaluation de l'aléa mouvement de terrain	73
8.5	Annexe 5 – Application sur la commune de DUMBÉA.....	79
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 Dumbéa	Erreur ! Signet non défini.
Illustration 2 – Matrice d'évaluation de l'aléa croisant Intensité et Atteinte	14
Illustration 3 – Synthèse méthodologique	15
Illustration 4 – Localisation des différents types de phénomènes de mouvements de terrain recensés sur la commune de Kaala-Gomen (Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain)	17
Illustration 5 – Exemple de cartographie des enveloppes des mouvements de terrain sur la commune.....	18
Illustration 6 – Différents types de mouvement de terrain sur substrat volcanosédimentaire sur la commune de Dumbéa	19
Illustration 7 – Différents types de mouvement de terrain sur substrat ultrabasique sur la commune de Dumbéa	Erreur ! Signet non défini.
Illustration 8 – Dénombrement des types de phénomènes de mouvements de terrain par période.....	21
Illustration 9 – Distribution des surfaces [m ²] et des valeurs d'angle d'énergie par type 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 Kaala-Gomen.....	27
Illustration 13 – Cartographie des classes de pentes sur la commune de Kaala-Gomen	28
Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Dumbéa	29
Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (landform) sur la commune de Kaala-Gomen.....	30
Illustration 16 – Exposition du territoire communal (km ² et %) aux différents types de phénomène et niveau d'aléa (*) : aléa très faible, faible, modéré et élevé)	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 par phénomène	34
Illustration 19 – Propagation de LT hors emprise de zone soumise théoriquement à aléa	35
Illustration 20 – Cartographie de l'aléa chutes de blocs sur la commune de Kaala-Gomen	36
Illustration 21 – Cartographie de l'aléa glissements fins sur la commune de Kaala-Gomen.....	37
Illustration 22 – Cartographie de l'aléa glissements grossiers sur la commune de Kaala-Gomen.....	38
Illustration 23 – Cartographie de l'aléa laves torrentielles sur la commune de Kaala-Gomen	39
Illustration 24 – Cartographie générale de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Kaala-Gomen	40
Illustration 25 – Exposition des constructions à l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Dumbéa	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 743 km², la commune de Kaala-Gomen est située au nord de la côte ouest de la Grande Terre, en Province Nord (Illustration 1). La commune de Kaala-Gomen est bordée par les communes de Koumac et Ouégoa au nord, Hienghène à l'est et Voh au sud.

Deux domaines morphologiques apparaissent : un secteur de basses montagnes au nord-est et un secteur de plaine alluviales dominées par des massifs de péridotites au sud-ouest. Les trois principaux massifs péridotitiques sont, du nord au sud : le Kaala, le Taom et le Ouazangou. Au pied du Taom, trois plus petits reliefs péridotitiques sont présents : Onajiele, Siba et Waléat.

La commune est centrée sur la vallée de la rivière Iounaga / Pwé Yégang qui se prolonge au-delà de la limite communale vers l'est sur les communes de Hienghène et Voh. Les principaux affluents de la rivière Iounaga / Pwé Yégang, la Swaha et la Ouémou, drainent le nord de la commune. Le sud de la commune est drainé par la Pwékué depuis le massif du Taom et la rivière Taom depuis le massif du Ouazangou.

La population de la commune était de 1 803 habitants au recensement de 2019, soit une densité de population de 2,5 hab./km² (14,6 habitants/km² en Nouvelle-Calédonie). Au sein de la population, 1027 habitants sont recensés dans les 10 tribus de la commune :

- Baoui / St Pierre, 212 hab.
- Païta, 205 hab.
- Gamaï, 148 hab.
- Oueholle, 138 hab.
- Baguanda, 106 hab.
- Kourou, 56 hab.
- Ouemba, 48 hab.
- Tegon, 43 hab.
- Ouemou, 39 hab.
- Pangou-Ouaene, 32 hab.

Le reste de la population est localisée au niveau du village de Kaala-Gomen d'une part et au niveau du village de Ouaco d'autre part. A l'échelle de la commune, les populations se concentrent au pied du massif du Kaala et le long du cours aval de la rivière Iouanga.

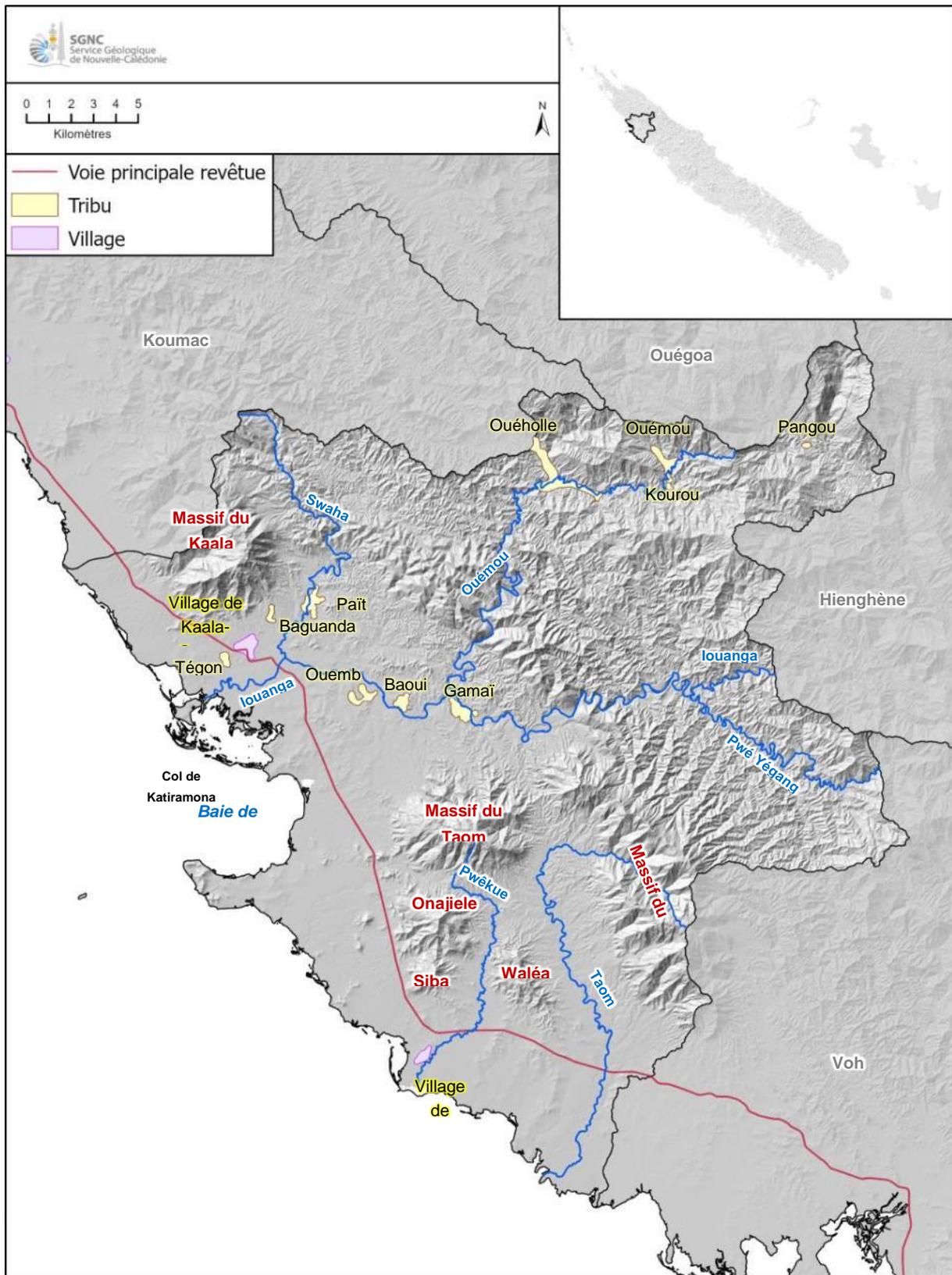


Illustration 1 – Présentation de la commune de Kaala-Gomen

2 Présentation de la démarche

L'aléa se définit comme la manifestation d'un phénomène ou un évènement naturel d'**occurrence** et d'**intensité** donnée (C2ROP, 2020). 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 quatre types de mouvements de terrain (voir Lexique en Annexe 1) : les chutes de blocs (CB), les glissements fins (GF), les glissements grossiers (GG) et les laves torrentielles (LT). Les grands glissements de versant (GGV), phénomènes exceptionnels et anciens pour la plupart, sont délimités pour mémoire, mais l'aléa associé n'est pas caractérisé.

L'inventaire des phénomènes passés constitue un préalable indispensable à l'évaluation des aléas pour identifier les conditions d'apparition des évènements. 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 (Annexe 4) : analyse de la rupture (dimension spatiale et temporelle du phénomène) puis celle de la propagation (composante spatiale uniquement).

La méthode d'évaluation des aléas est 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-731616-FR / DIMENC/SGNC-2023(10)).

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.
- Géologie du substratum, pentes (déduites du MNT) pour les CB.

Pour les LT, GF et GG la méthode mise en œuvre est statistique (WoE : poids des évidences) en valorisant les données d'inventaire. Pour les CB l'approche est experte à partir des données lithologiques des formations géologiques et des contextes morphologiques.

Cette analyse conduit à établir une carte de la probabilité spatiale de rupture pour chaque phénomène. Cette carte est ensuite pondérée en fonction des dates des données évènementielles pour aboutir à une probabilité spatiale et temporelle.

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 numérique a été mise en œuvre avec l'outil Flow-R². 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 3D avec l'outil ConeFall³.

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 six 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

² 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 ConeFall développé par l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) et QUANTERRA (<https://quanterra.ch/resources/software/>).

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 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	Modérée	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 <i>Weight of Evidence</i> 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)	
	<i>Landform</i> (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

3 991 phénomènes de mouvements de terrain ont été recensés sur le territoire communal de Kaala-Gomen (Illustration 4) et représentés cartographiquement par leur extension (Illustration 5, Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain). Ils se répartissent selon cinq types (Illustration 6, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, Annexe 1 – Lexique des termes utilisés) :

- 2861 glissements fins (GF), 72% de l'inventaire ;
- 975 glissements grossiers (GG), 24% des phénomènes recensés ;
- 73 coulées de matériaux fins et/ou grossiers qui résultent de mécanismes érosifs (ravinement), affectant les zones de décharges minières (COUL), soit moins de 2% des événements ;
- 64 laves torrentielles (LT), soit moins de 2% de l'inventaire ;
- 16 grands glissements de versants (GGV), <1% soit moins de 2% des événements.
- Très peu de chute de blocs (CB), 2 événements (<1%), largement sous-estimé en raison de la méthode (par photo-interprétation) priorisée. Ce type de phénomène étant avéré la cartographie de l'aléa associée est cependant réalisée dans le cadre du projet.

Les mouvements affectent la totalité de la commune, avec cependant une répartition dépendante de la géologie et du relief. Ils concernent en grande majorité les versants sur substratum volcano sédimentaire au nord-est de la commune. Il s'agit essentiellement de glissements fins (GF) et dans une moindre mesure des grands glissements de versants.

Temporellement (Illustration 8), la majorité (56%) des événements recensés sont qualifiés d'anciens (antérieurs à 1976). Parmi ces phénomènes, 58% (1313 phénomènes) sont des glissements fins (GF). Les phénomènes qualifiés de récents (période 1976-2019) représentent 32% des phénomènes, dont 87% de GF (1084 événements). Enfin les phénomènes actuels (2020/2023) représentent 12 % de l'inventaire, dont 98% de GF (464 phénomènes).

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 événements).

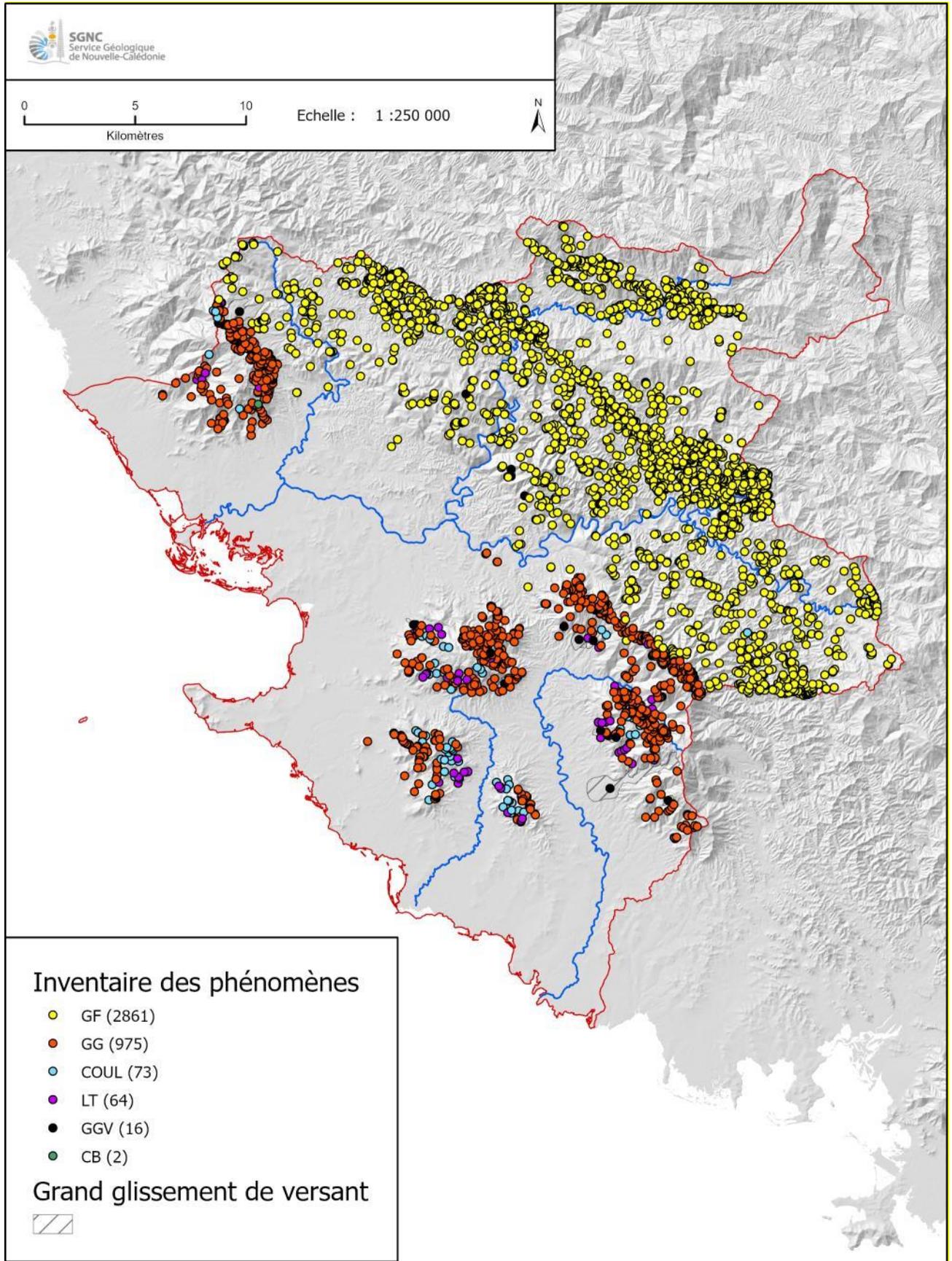


Illustration 4 – Localisation des différents types de phénomènes de mouvements de terrain recensés sur la commune de Kaala-Gomen

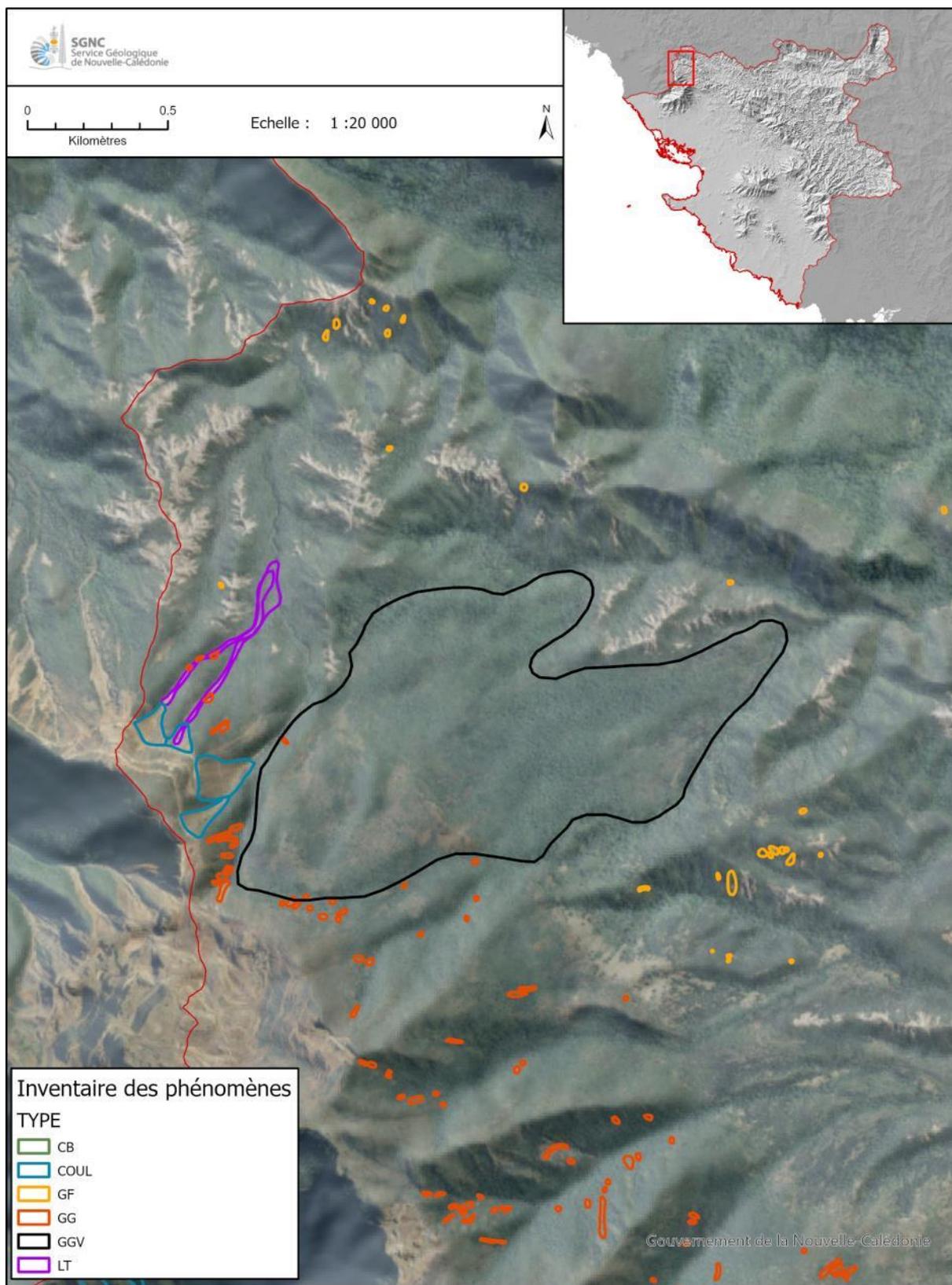


Illustration 5 – Exemple de cartographie des enveloppes des mouvements de terrain sur la commune de Kaala-Gomen

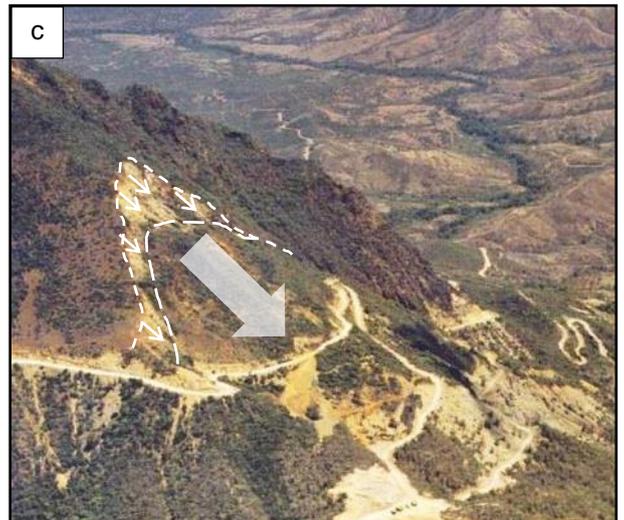
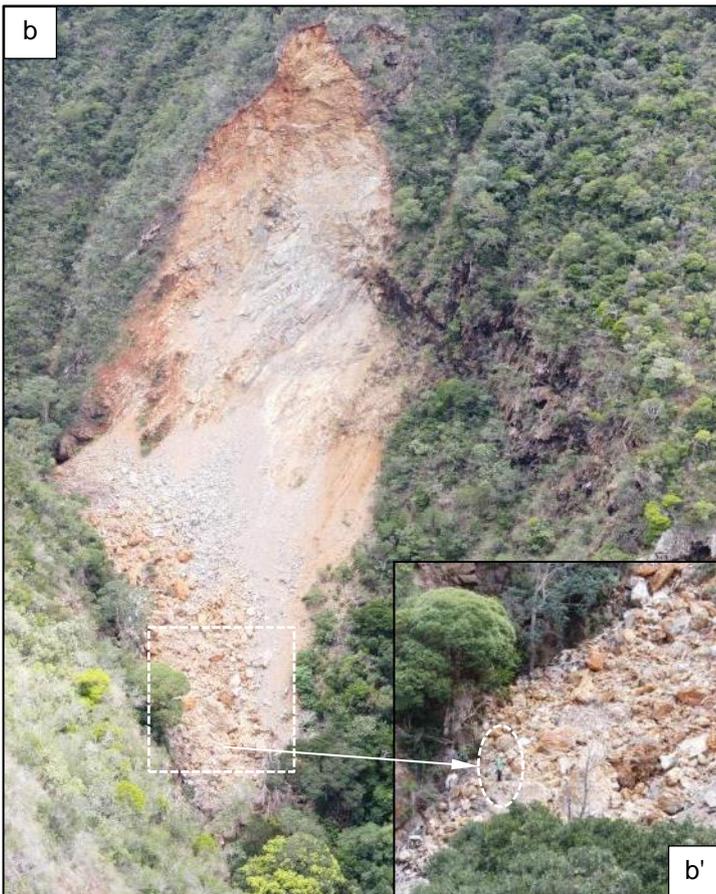
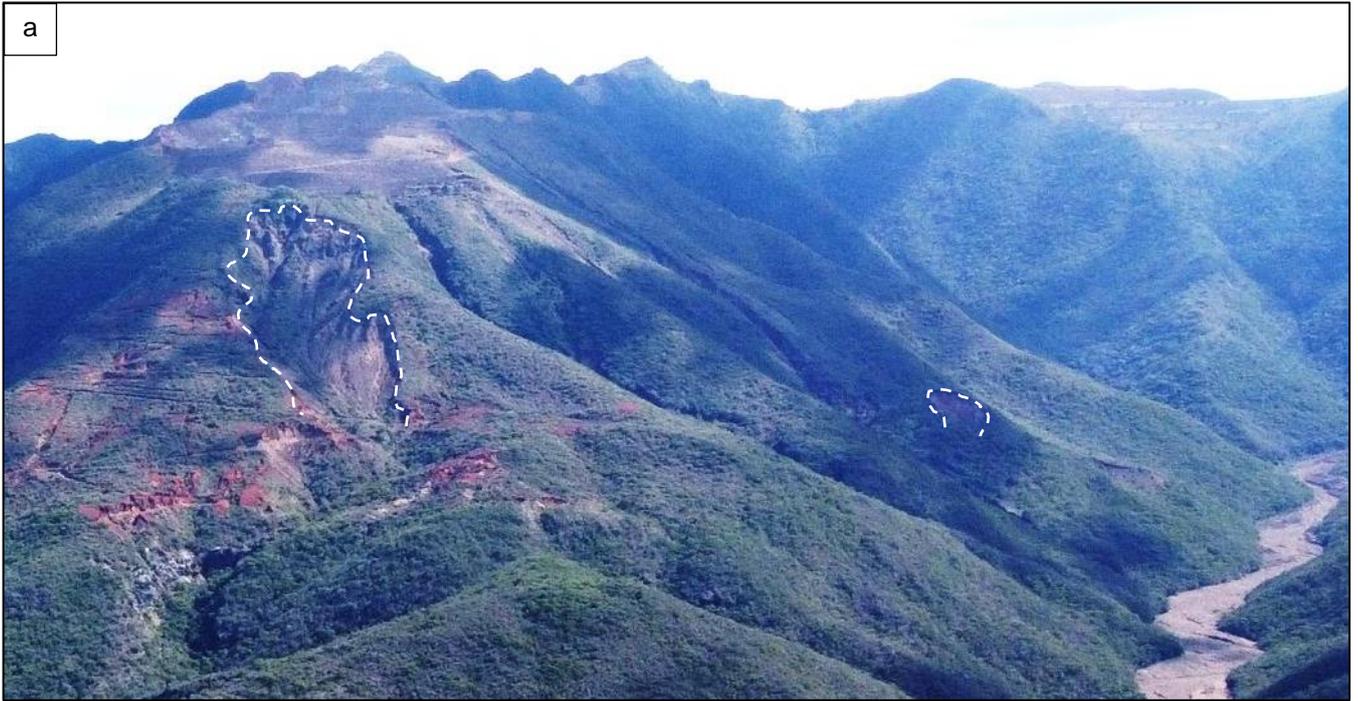


Illustration 6 – Différents types de mouvement de terrain sur substrat ultrabasique sur la commune de Kaala-Gomen

- a) *Vue sur le massif du Kaala, cicatrices visibles de GGV, de LT et de GG*
- b) *Massif du Kaala, éboulément rocheux – Tribu de Saint Pierre*
- b') *Le géologue donne l'échelle du phénomène*
- c) *Massif du Kaala, Piton de Pandop, GGV*

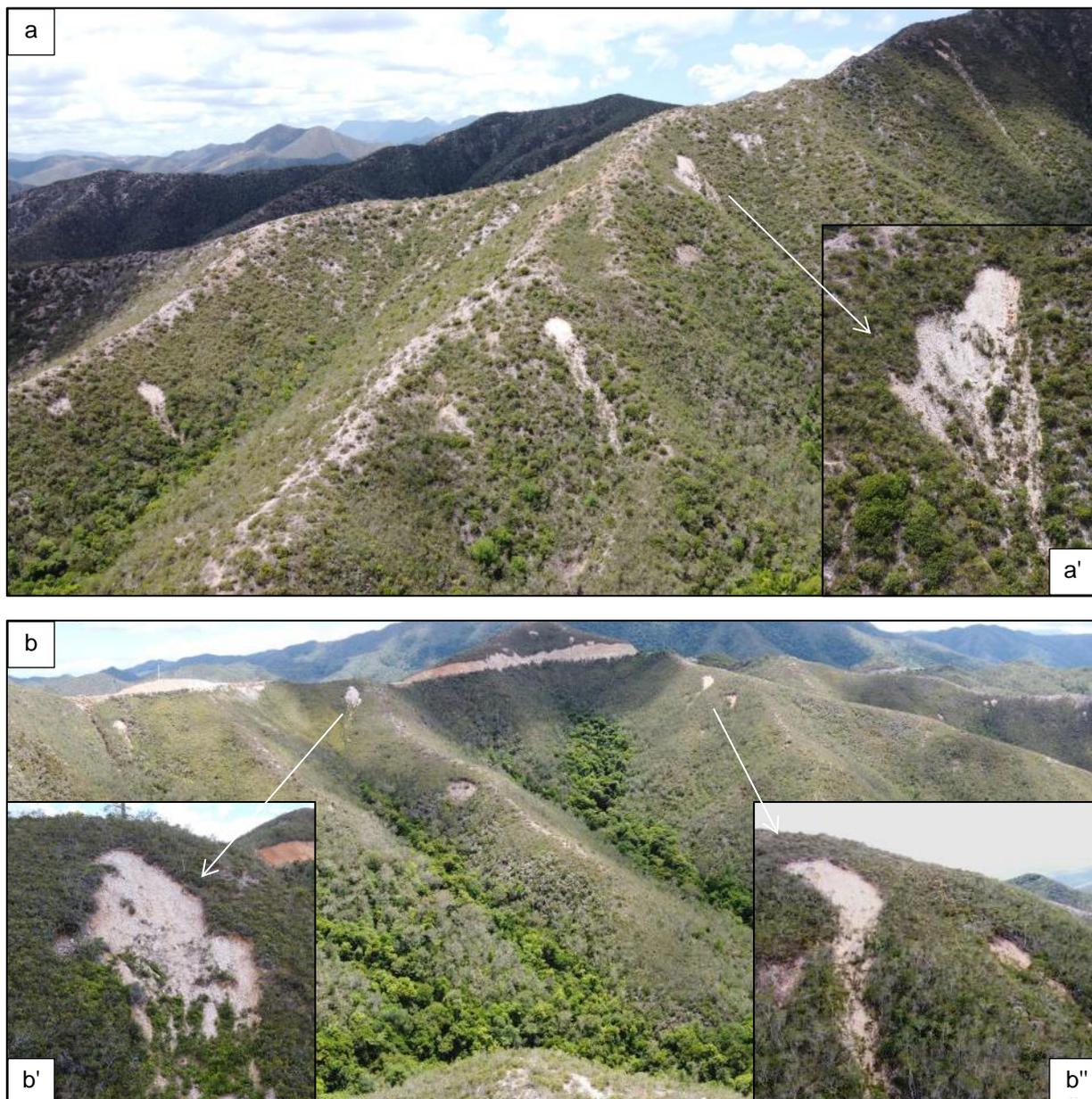


Illustration 7 – Différents types de mouvement de terrain sur substrat volcanosédimentaire sur la commune de Kaala-Gomen

- a) Transversale Kaala-Gomene / Hienghène, nombreuses niches de départ de GF visibles*
- a') zoom sur un GF*
- b) Transversale Kaala-Gomene / Hienghène, nombreuses niches de départ de GF visibles*
- b') et b'') zoom sur des GF*

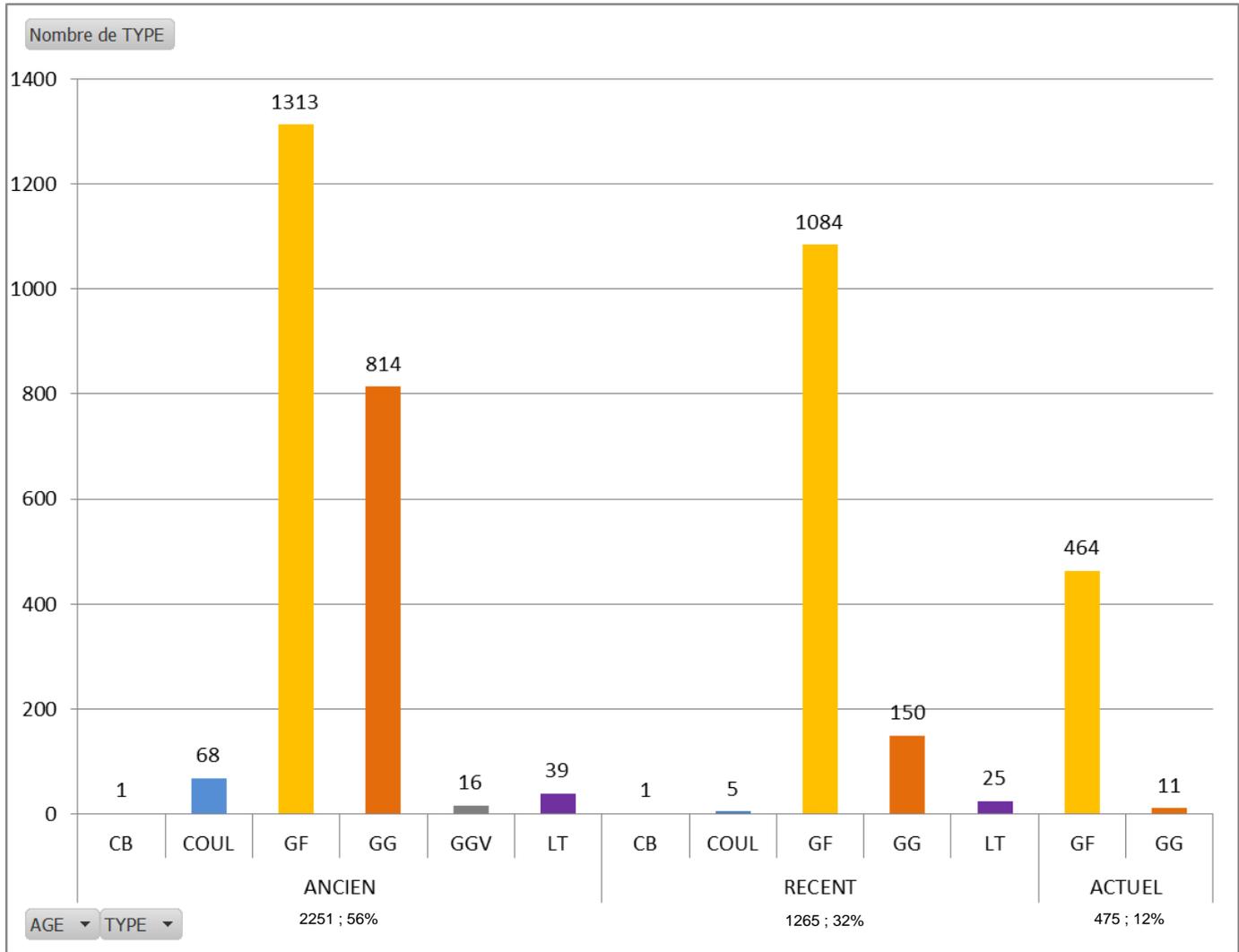


Illustration 8 – Dénombrement des types de phénomènes de mouvements de terrain par période

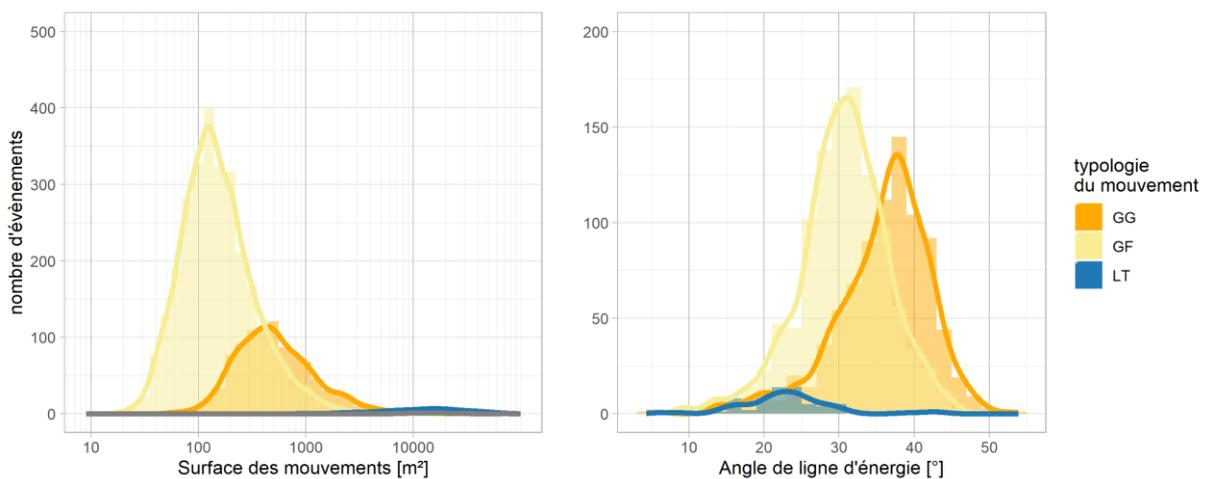


Illustration 9 – Distribution des surfaces [m²] et des valeurs d'angle d'énergie par type de mouvements de terrain

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 Kaala-Gomen, on distingue trois grands ensembles (Illustration 10) :

- Les terrains de la séquence ophiolitique (roches magmatiques) : nappe des péridotites et formations de l'unité de Poya, qui constituent un vaste ensemble continu couvrant environ la moitié sud-ouest de la commune. La nappe des péridotites constitue le substrat des massifs de péridotites (Kaala, Taom, Ouazangou, Onajiele, Waléat, Siba) qui domine l'ensemble des basaltes de l'unité Poya qui s'étendent du pied du massif du Kaala au pied du massif du Ouazangou.
- Ensemble de formations volcano-sédimentaires qui couvrent la moitié nord est de la commune. Cet ensemble comprend notamment les formations du crétacé supérieur – Paléocène et du flysch Eocène qui s'organisent en bandes imbriquées orientées NW-SE.
- L'extrême nord-est de la commune ainsi que l'est sont occupés par les schistes des unités de la Boghen et du Diahot-Panié.

Les principaux types de roches que l'on peut rencontrer sur la commune de Kaala-Gomen sont décrits en annexe 1 : définitions générales.

4.1.2 Les formations superficielles du régolithe

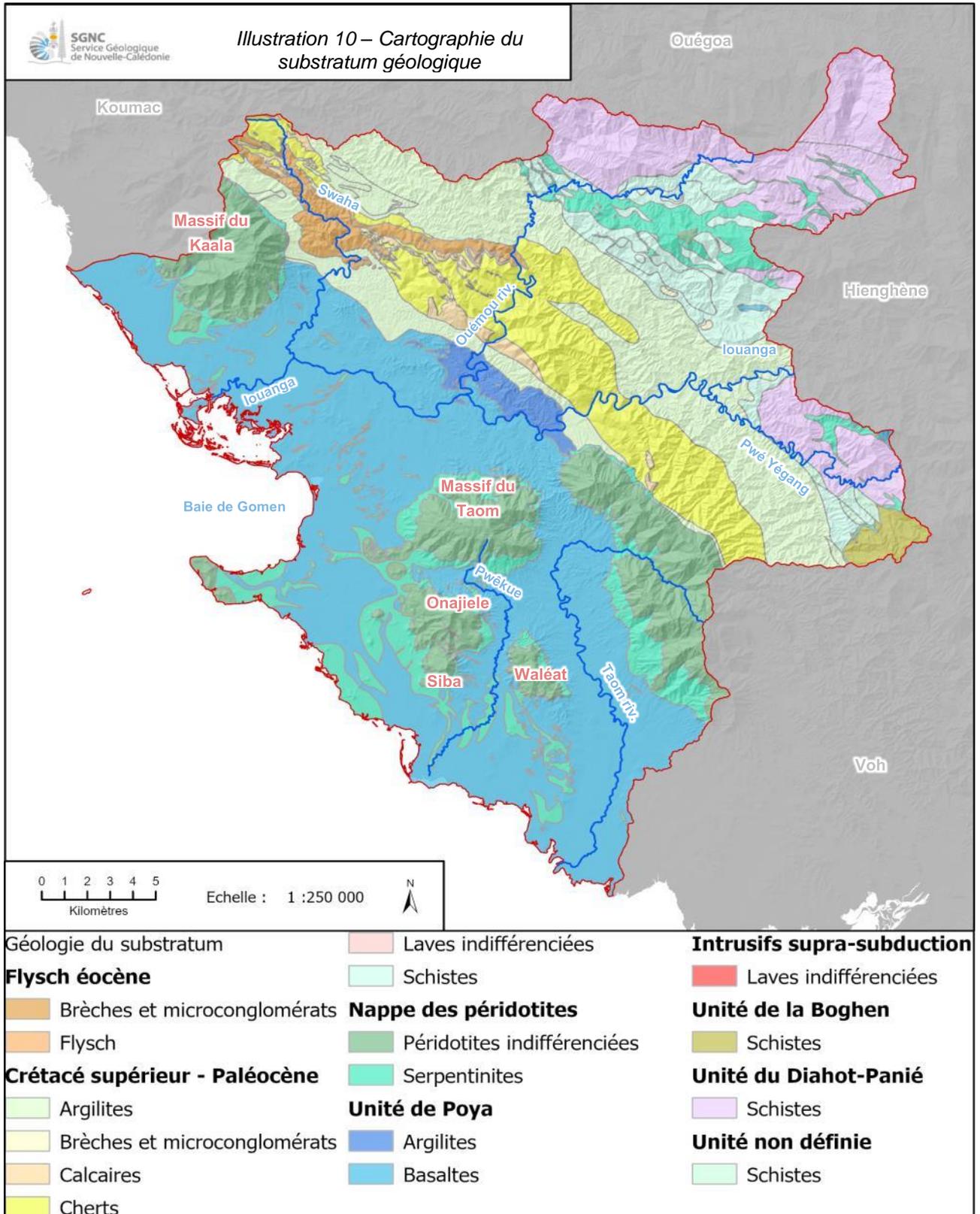
Un des traits caractéristiques des paysages calédoniens est la présence généralisée d'un couvert d'altération. L'ensemble de ces formations superficielles est désigné par le terme de « régolithe » pour lequel sont typiquement distinguées les formations en place, ou autochtones, et celles remaniées, ou allochtones. Dans le cadre de ces travaux sur l'aléa mouvements 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.

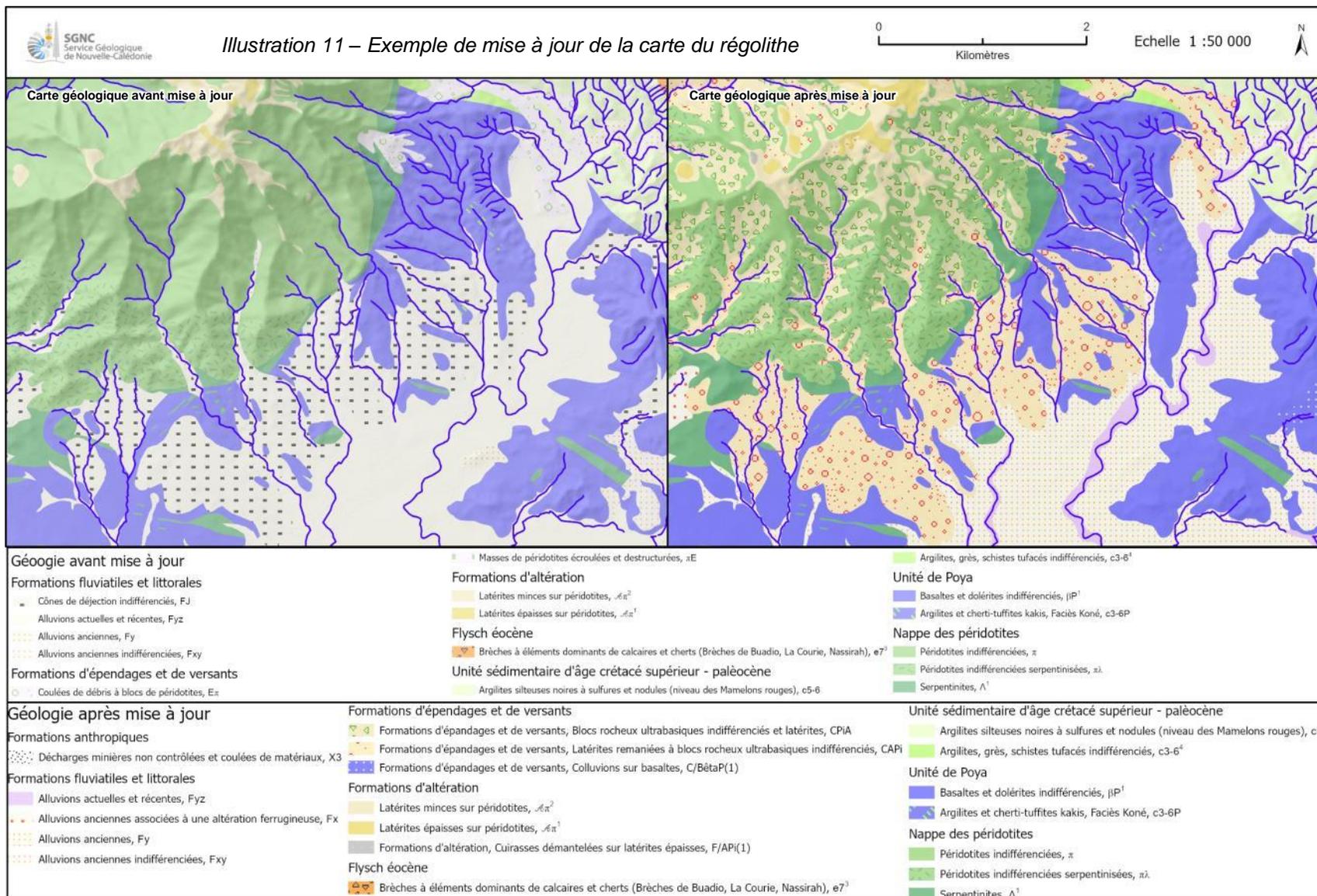
- Massifs péridotites : Sur substrat péridotitique, le régolithe regroupe l'ensemble des faciès du profil d'altération, depuis la saprolite rocheuse jusqu'aux cuirassements ferrugineux en place. Sont distinguées les formations en place pour lesquelles il n'y a pas ou peu eu de phase de transport gravitaire hormis des tassements verticaux pour certains horizons latéritiques rouges d'une part et d'autre part des formations remaniées sur les versants qui résultent d'un déplacement gravitaire. Des épaisseurs de l'ordre de

la dizaine de mètres sont courantes et des épaisseurs maximales d'altération de 40 m sont connues au niveau des plateaux du sud de la Grande Terre.

- Formation volcano-sédimentaire : Le maître mot de l'altération sur le substrat volcano-sédimentaire est l'argillitisation qui affecte également les faciès sédimentaires et volcaniques et conduit à la formation d'un profil peu épais, d'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 12) qui permet de discriminer les formations autochtones (FAU) ou en place des formations allochtones (FAL) ou remaniées et selon la nature et l'épaisseur des terrains.





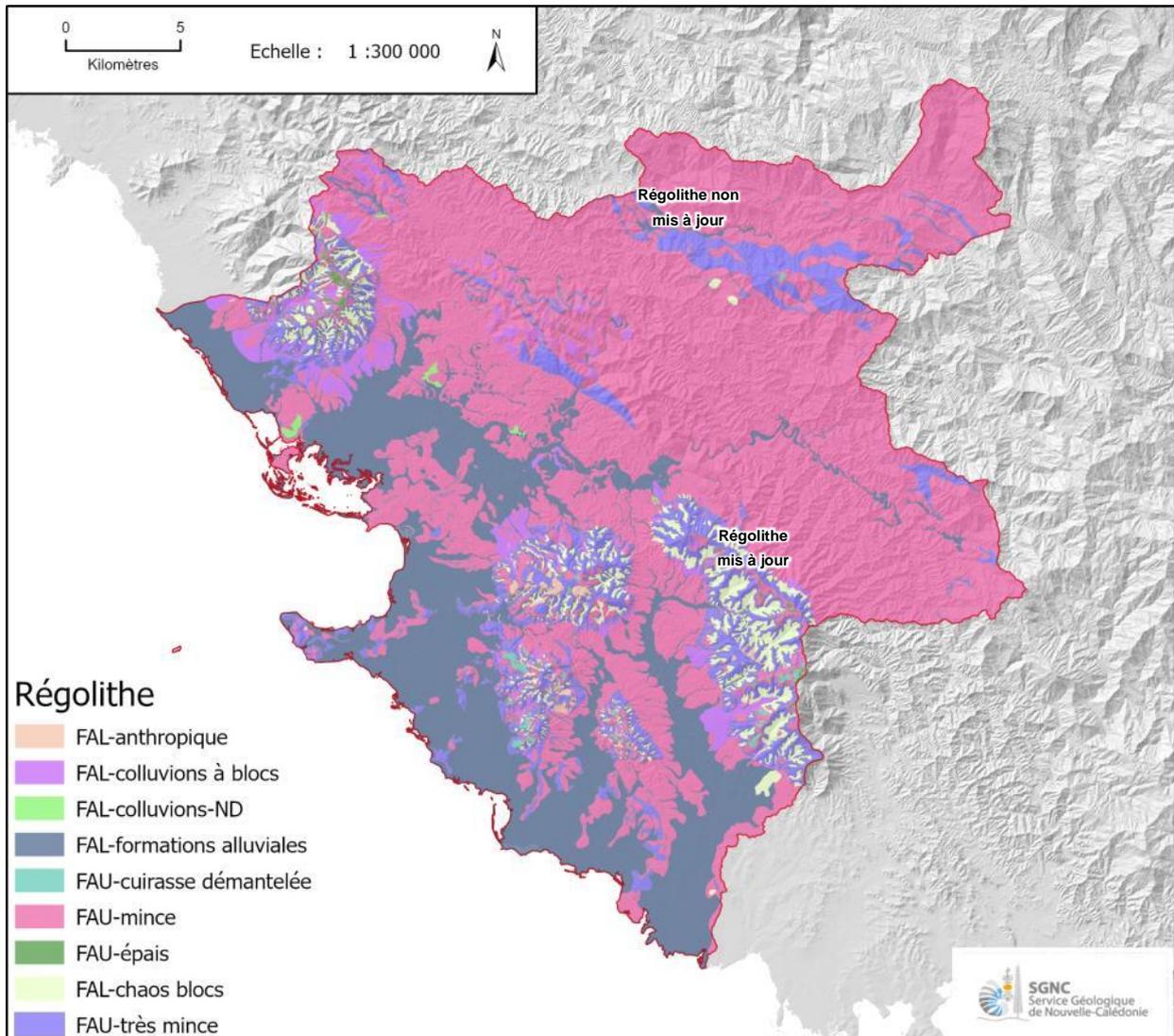


Illustration 12 – Cartographie des classes de formations du régolithe sur la commune de Kaala-Gomen

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 liées à la qualité du MNT source. Pour limiter les incertitudes associées à la qualité du MNT initial, un **traitement spécifique pour les besoins du projet** a été engagé (BRGM/RP-73161-FR / DIMENC/SGNC-2023(10)) 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 pentés 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 pentés sont agrégées dans une seule et unique classe (Illustration 13).

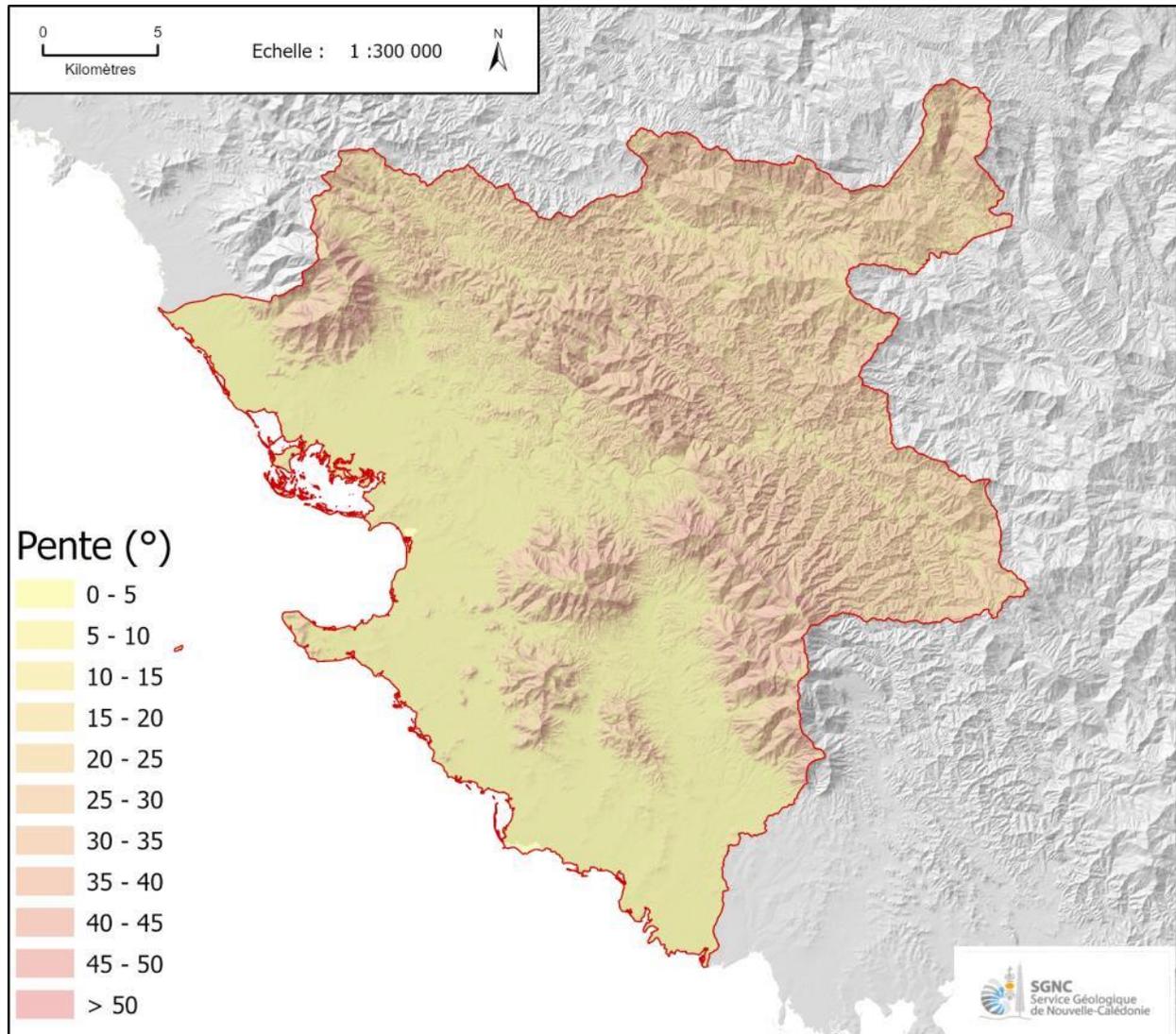


Illustration 13 – Cartographie des classes de pentés sur la commune de Kaala-Gomen

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.

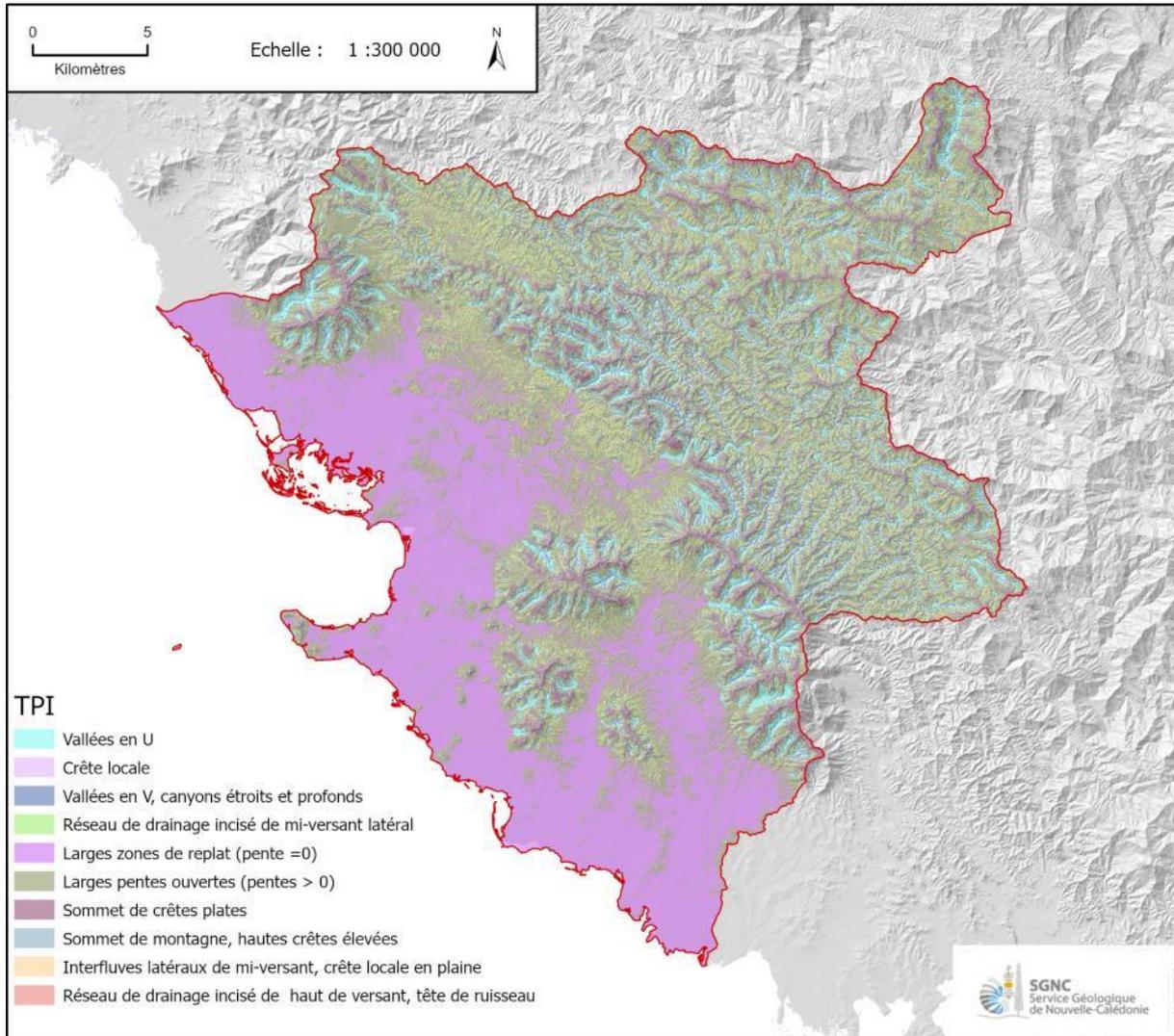


Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Kaala-Gomen

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'Iwahashi et Pike (2007) et permet de classer le territoire selon huit types morphologiques (Illustration 15).

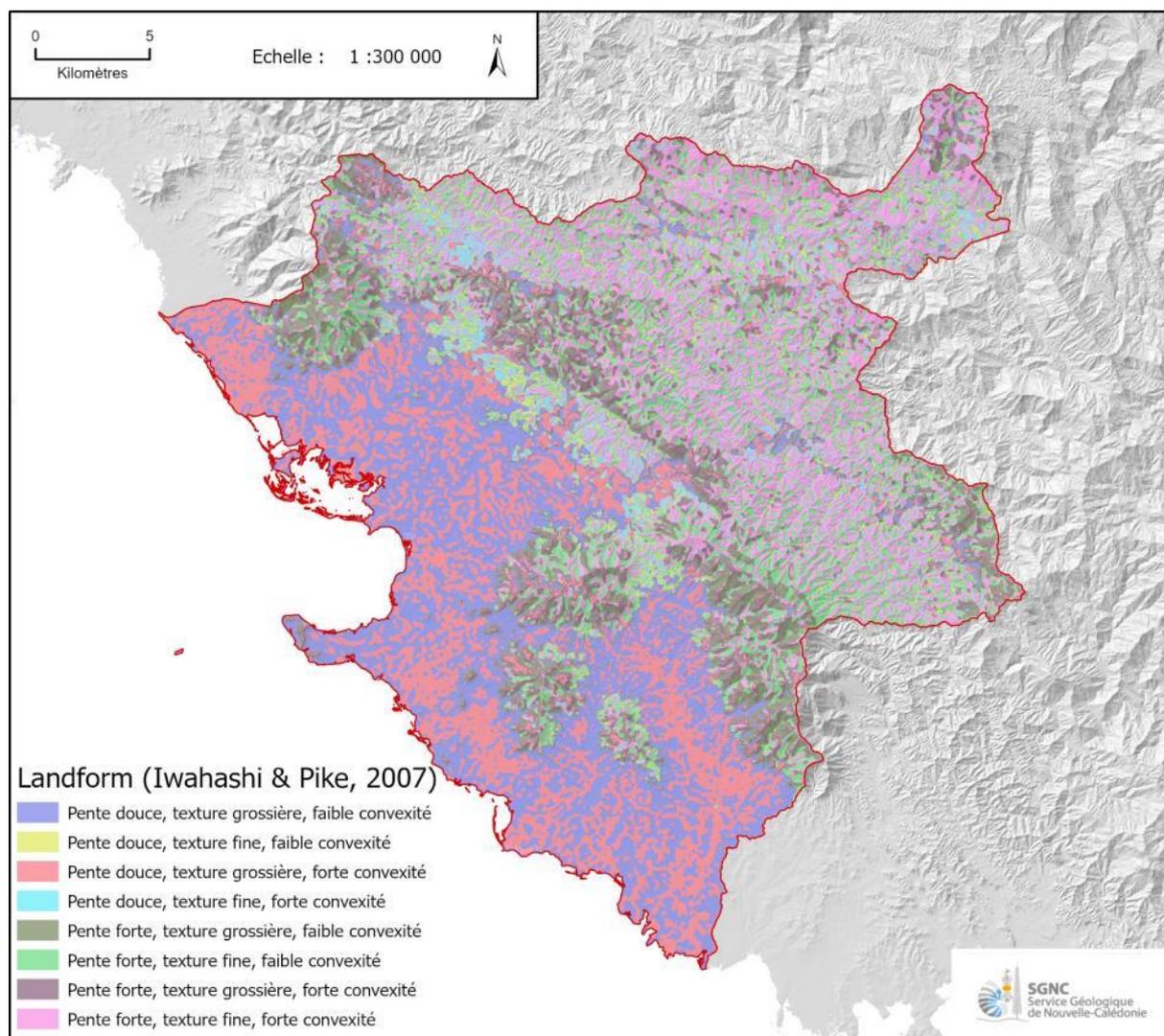


Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (landform) sur la commune de Kaala-Gomen

5 Résultats

5.1 Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

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

- Pour chaque phénomène : CB, GF, GG et LT, présentées respectivement en Illustration 20, Illustration 21, Illustration 22 et Illustration 23 ;
- Pour l'aléa « mouvements de terrain » en combinant les cartes par phénomène décrites ci-dessus en retenant en tout point du territoire cartographié le niveau d'aléa maximal évalué (Illustration 24).

Cette cartographie de l'aléa « mouvements 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).

Au final, 60% du territoire communal est exposé à un aléa mouvement de terrain non négligeable (Illustration 16). Les niveaux d'aléa élevé et modéré représentent respectivement 7% et 37% de la surface, soit un peu moins de la moitié de la commune.

- L'aléa élevé concerne essentiellement les versants fortement pentés des massifs de péridotites : Massifs de Kaala, du Ouazanghou, du Taom, Anajiele, Waléat et Siba. Ces contextes favorisent l'apparition de glissements grossiers (GG) et localement de laves torrentielles (LT). Les propagations des laves torrentielles notamment peuvent engendrer des aléas loin des zones sources (jusqu'à plusieurs centaines de mètres) avec au niveau des zones de dépôt des épandages en forme de cône au débouché des axes des talwegs ;
- L'aléa modéré affecte les pieds de versant des massifs de péridotites (GG) ainsi que les versants sur substrat volcano sédimentaire au nord-est de la commune vers la chaîne centrale ou se concentrent les GF.
- Les chutes de blocs (CB) affectent les massifs péridotitiques et localement les formations compétentes du substratum volcano-sédimentaire. Au niveau du massif de péridotites, l'aléa CB est masqué par l'aléa GG plus élevé.
- Le niveau d'aléa mouvements de terrain est considéré nul à négligeable au sein des plaines alluviales des rivières Louanga, Pwêkué et Taom ainsi que le long du littoral, près des embouchures.

L'évaluation des aléas les plus élevés est cohérente avec la répartition géographique des phénomènes recensés (Illustration 4) :

- Les zones d'aléa chutes de blocs et éboulement (Illustration 20) de niveau modéré couvrent 6% de la commune et sont largement répartis sur les versants en domaine ultrabasique. A noter également des secteurs d'aléa modéré à l'extrême nord de la commune sur des versants volcano-sédimentaires aux pentes très marquées ;
- Les glissements fins de niveau faible et modérés (respectivement 29% et 12%, Illustration 21) concernent essentiellement les versants sur substrat volcano-sédimentaire vers la chaîne centrale au nord-est de la commune ;
- Les glissements grossiers de niveau modéré et élevé (respectivement 7% et 7%, Illustration 22) sont particulièrement présents sur les versants des massifs de péridotites de la commune ;

- Les laves torrentielles de niveau modéré et élevé (respectivement 1% et 6%, Illustration 23) sont particulièrement présentes sur les versants des massifs de péridotites ainsi que sur les secteurs de serpentinites.

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km ²)	Nul à négligeable	606	354	521	677	296
	Très faible	19	79	102	7	27
	Faible	12	92	68	16	90
	Modéré	53	219	43	43	275
	Elevé	53	-	8	-	55
<i>Surface totale soumise à aléa</i>		137	389	221	66	446
<i>% de la commune soumis à aléa</i>		18%	52%	30%	9%	60%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	82%	48%	70%	91%	40%
	Très faible	3%	11%	14%	1%	4%
	Faible	2%	12%	9%	2%	12%
	Modéré	7%	29%	6%	6%	37%
	Elevé	7%	0%	1%	0%	7%

Illustration 16 – Exposition du territoire communal (km² et %) aux différents types de phénomène et niveau d'aléa (*) : aléa très faible, faible, modéré et élevé

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

Type phénomène	GG	GF	LT	GG + GF + LT
nb phénomènes	975	2 861	64	3 900
nb rupture moyenne à très forte	928	2 484	49	461
nb rupture nul à négligeable et négligeable	10	39	3	52
Taux de reconnaissance	95%	87%	77%	60%
Taux de non-reconnaissance	1,0%	1,4%	5%	1%

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

Les taux de reconnaissances calculés sont très élevés pour les GG et les GF. Le taux de reconnaissance à la rupture est un peu moindre cependant pour les LT avec 77 % de taux de reconnaissance.

Les taux de non reconnaissance sont quant à eux très faible (de l'ordre de 1 % pour les GG et GF). Seules les LT montrent un taux de non reconnaissance plus important (5%).

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

Pour chaque type de phénomène, il est calculé (Illustration 18) la distribution des emprises des mouvements de terrains recensés (enveloppes totales) au sein de **chaque zone d'aléa** (associée au phénomène considéré) :

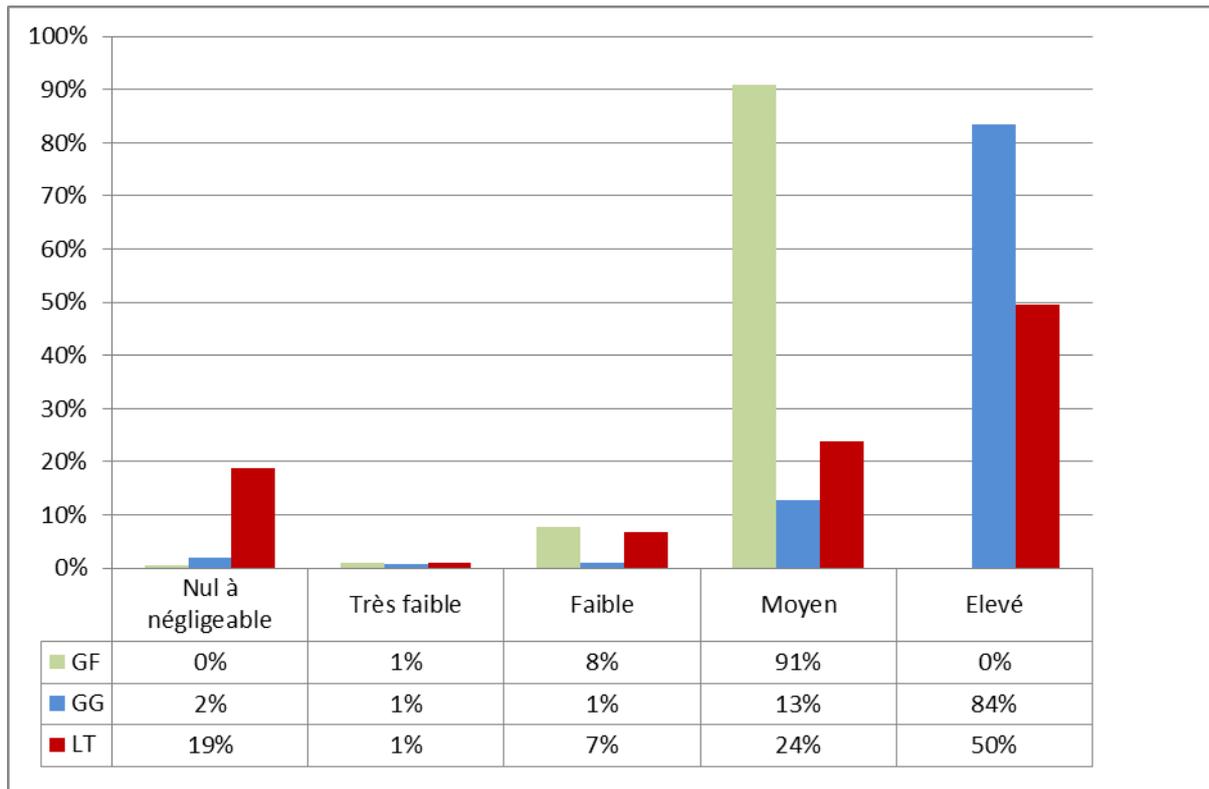


Illustration 18 – Taux de reconnaissance des événements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa par phénomène

Cette analyse montre globalement un pourcentage de phénomènes reconnus croissant avec le niveau d'aléa pour les GG et les LT et dans une moindre mesure pour les GF.

- 91% des GF en aléa modéré ;
- 97% des GG reconnus qui se retrouvent en zone d'aléa élevé (84%) ou modéré (13%) ;
- 74% des phénomènes de LT situées en aléa élevé (50%) ou modéré (24%).

Néanmoins, 19% des emprises de LT recensées sont situées en zone d'aléa « Nul à négligeable ». Ces secteurs ont été visés lors de l'analyse critique du modèle de propagation. Avec la donnée topographique disponible au pas de 10 m, les modèles ne permettent pas d'atteindre complètement ces emprises, même en ajustant excessivement certains paramètres. Outre la qualité du modèle numérique de terrain, une autre raison peut expliquer ce constat. Les événements sont anciens (avant 1976, Illustration 19). La topographie a probablement évolué à cause du phénomène lui-même. Le chenal récepteur de l'écoulement s'est comblé est le dépôt crée désormais un bourrelet qui n'apparaît pas sur le MNT utilisé.

Ces zones 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). En effet, les simulations n'intègrent pas la reprise du stock solide dans les zones de propagation de LT (stocks présents sur les emprises de laves anciennes) qui peuvent modifier les conditions de propagation. Pour prendre en compte précisément l'emprise des LT de l'inventaire, celles-ci ont été ajoutées sur la carte finale d'aléa. 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.

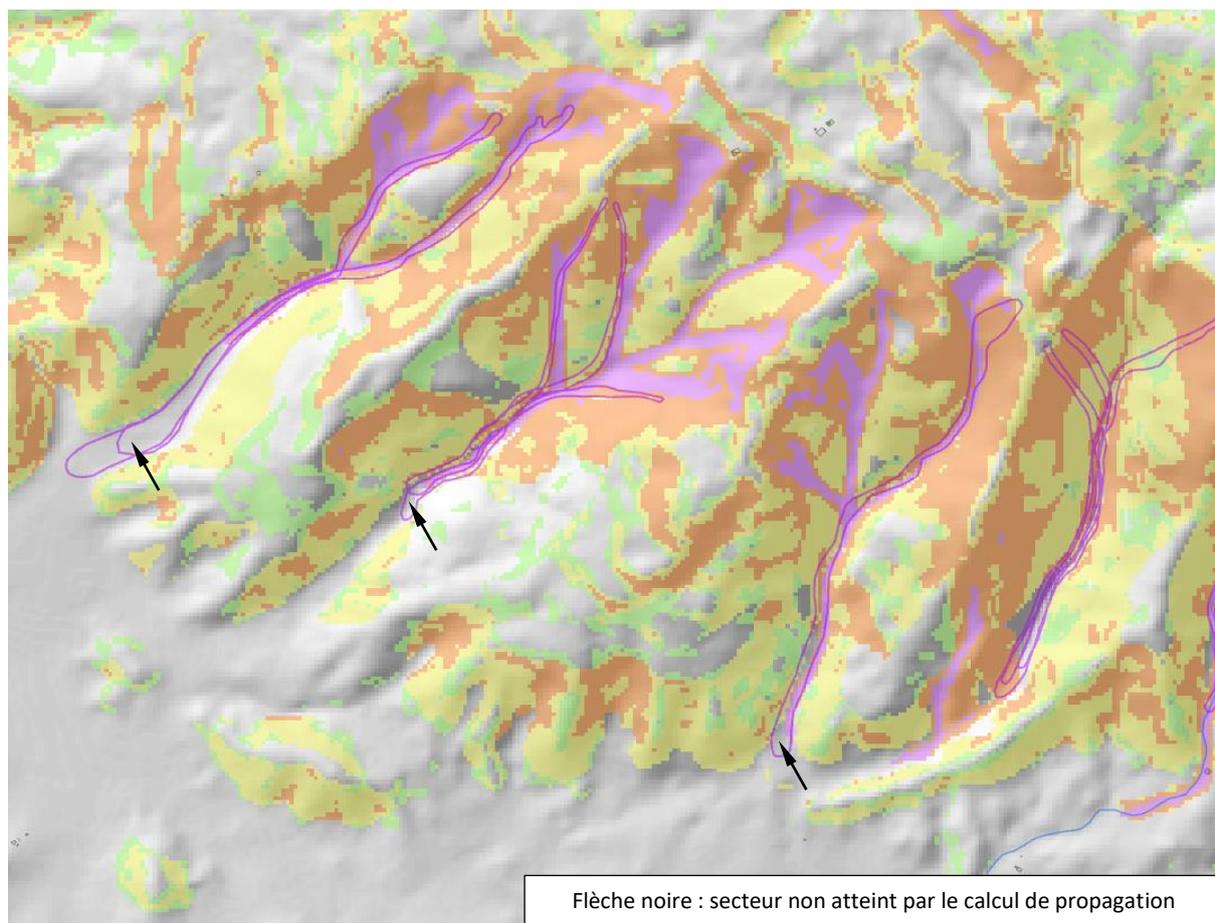
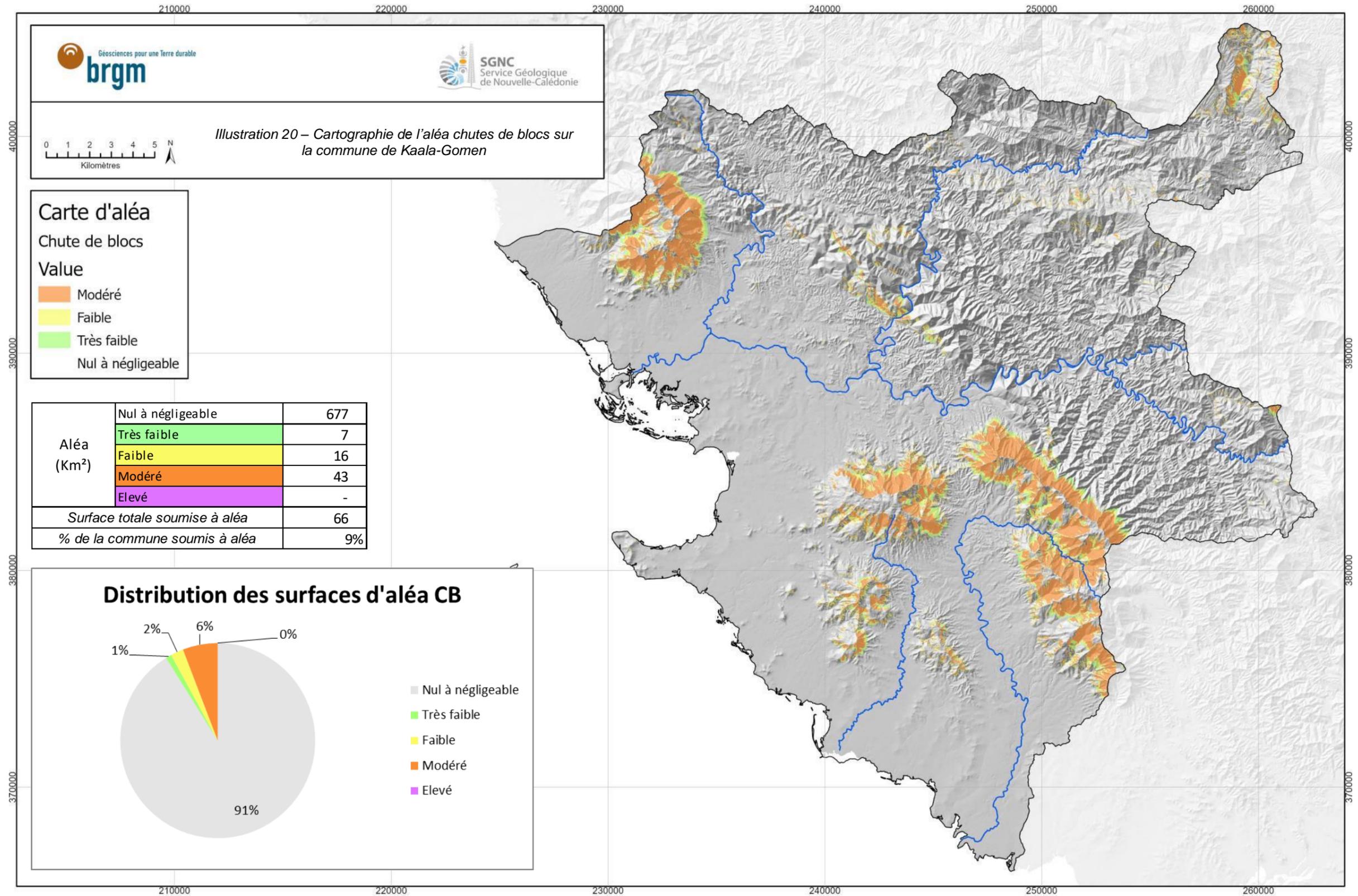
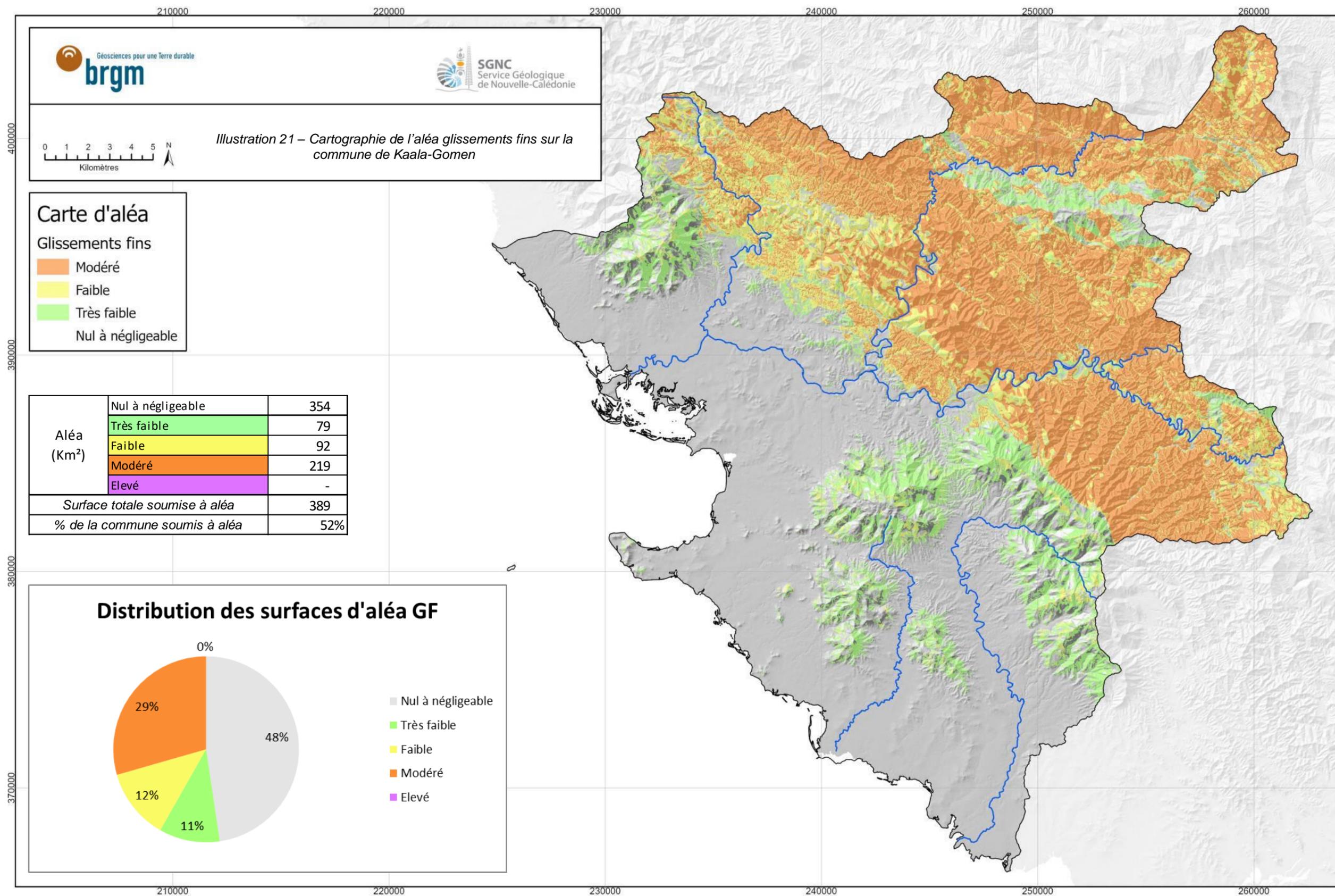
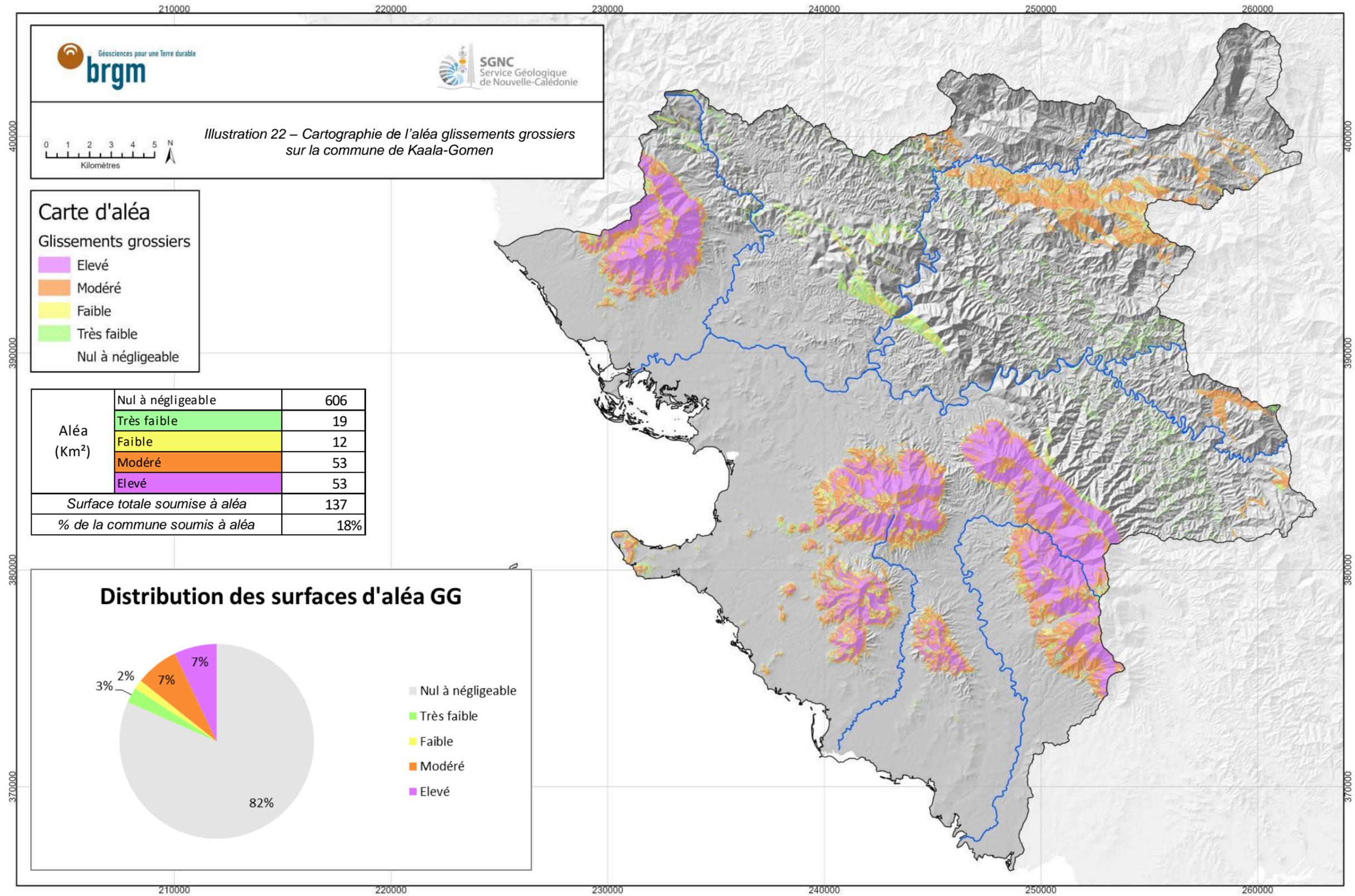
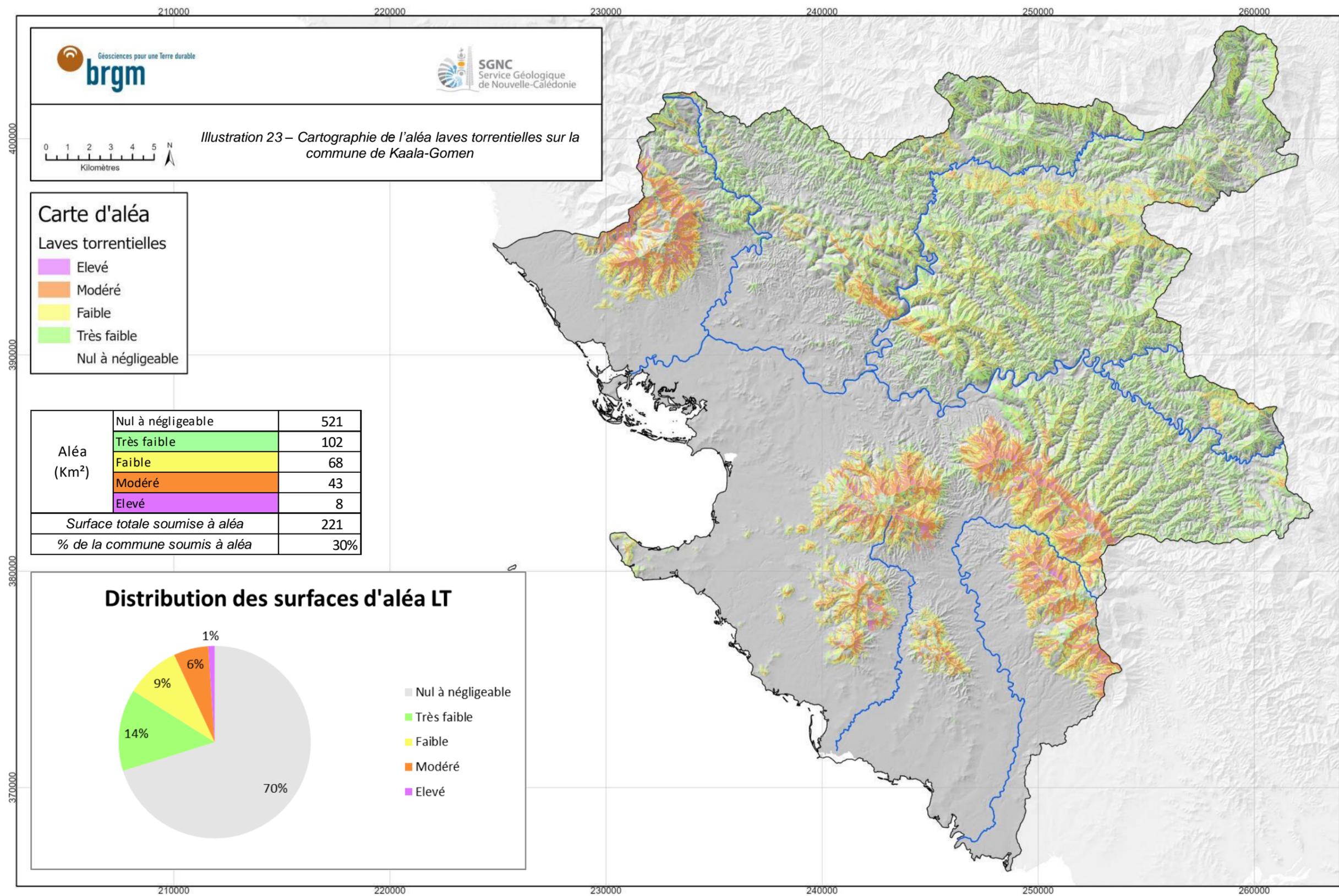


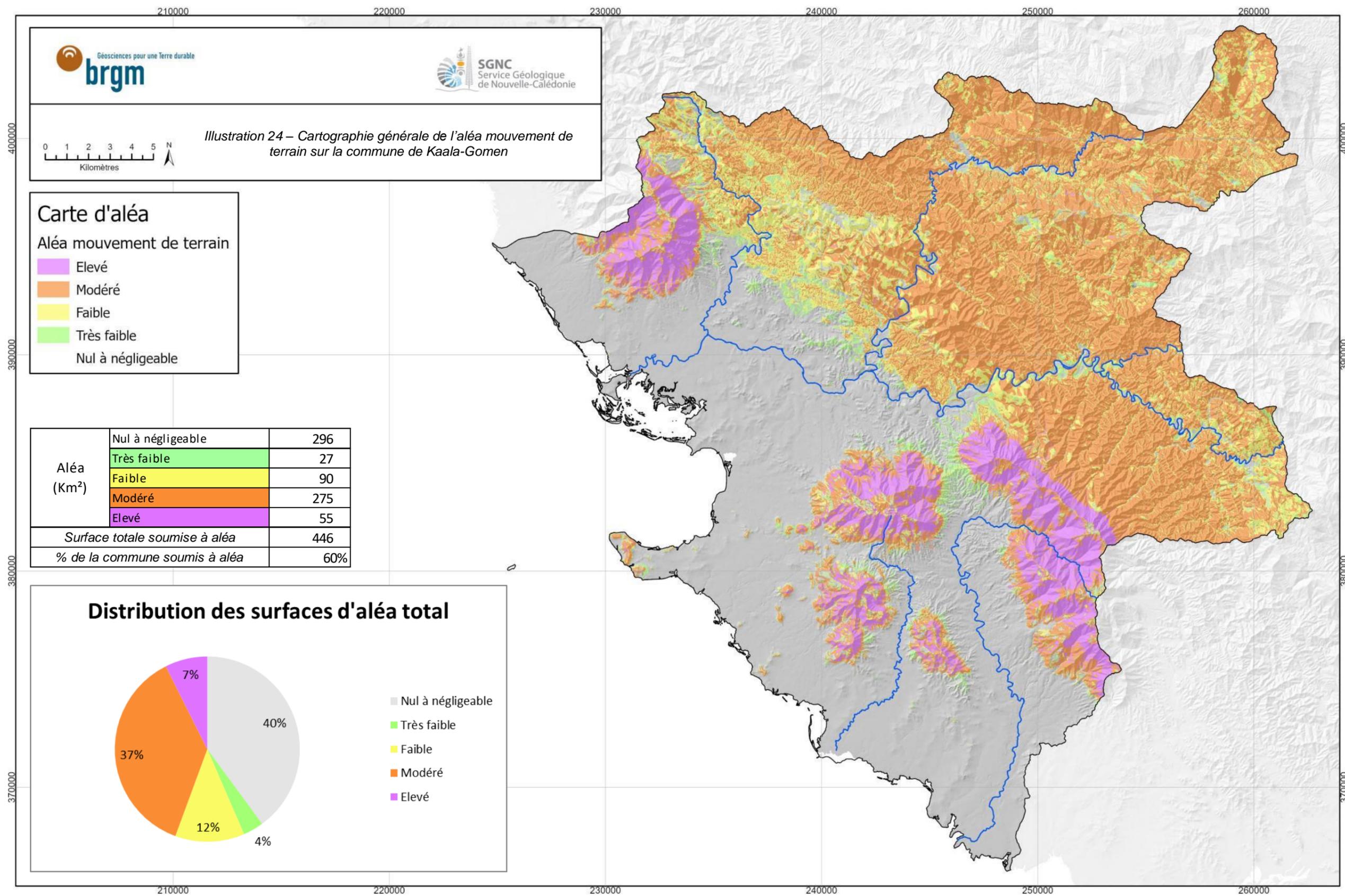
Illustration 19 – Propagation de LT hors emprise de zone soumise théoriquement à aléa











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 naturels. 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, sur les 2 523 bâtiments répertoriés, 1 seul bâtiment (0%) est exposé à un aléa élevé et 59 (2%) à un aléa modéré, tous phénomènes confondus. Cette estimation est à rapprocher des 44% du territoire communal exposé à un niveau d'aléa au moins modéré. Autrement dit, l'implantation actuelle des constructions a préférentiellement évité les versants les plus exposés aux instabilités.

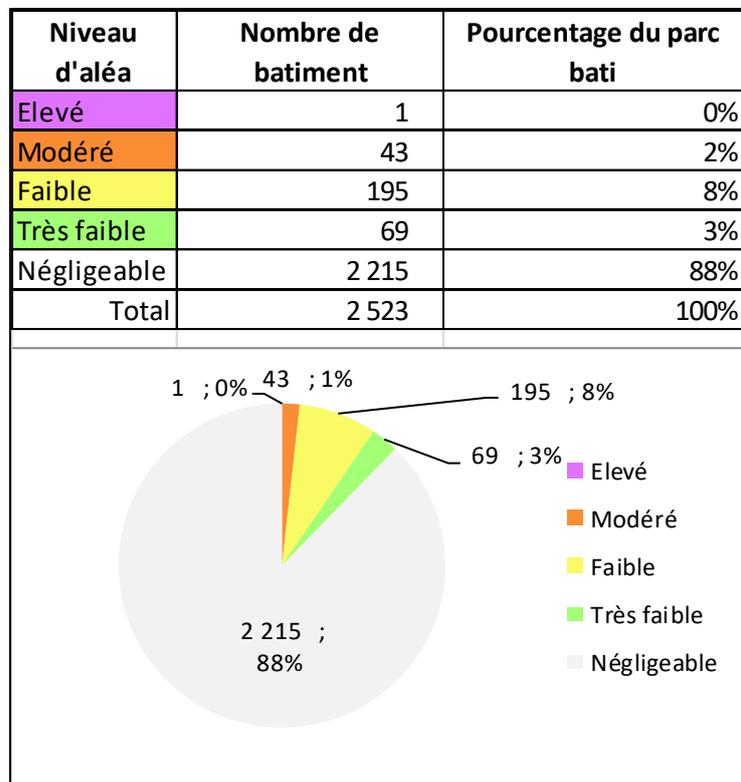


Illustration 25 – Exposition des constructions à l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Kaala-Gomen

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 Kaala-Gomen 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 4 principaux types :
 - GF : Glissement dans matériaux fins (2861 évènements, 72% des cas)
 - GG : Glissement dans matériaux grossiers (975 évènements, 24%)
 - LT : Lave-torrentielle (64 évènements, <2%)
 - CB : Chute de blocs (dénombrement non significatif).

Plus de la moitié (56%) des phénomènes sont antérieurs à 1976. Un tiers (32%) des évènements sont datés entre 1976 et 2019 et les 12% restant sont postérieurs à 2019.

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 dans le futur.

Au final une carte d'aléa « mouvements 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 mouvements de terrain sur 60% de son territoire, les niveaux d'aléa élevé et modéré couvrant respectivement 7% et 31% de la commune majoritairement sur les versants péridotitiques.

Un croisement du bâti avec la carte agrégée a été réalisé sur la base des bâtiments de la BDTopo de la DITTT. Sur les 2 523 bâtiments recensés, 1 seul est affecté d'un aléa élevé, 43 (2%) d'un aléa modéré.

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



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.

Jones, K. Bruce et al 2000. Assessing Landscape Conditions Relative to Water Resources in the Western United States: A Strategic Approach. *Environmental Monitoring and Assessment* 64: 227 – 245.

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

SUBSRATUM 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 : dunite, wehrlite, harzburgite et lherzolite. 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'agrégation de grains de taille majoritairement sableuse et consolidé lors de la diagenèse. 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 : ῥήγος/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.

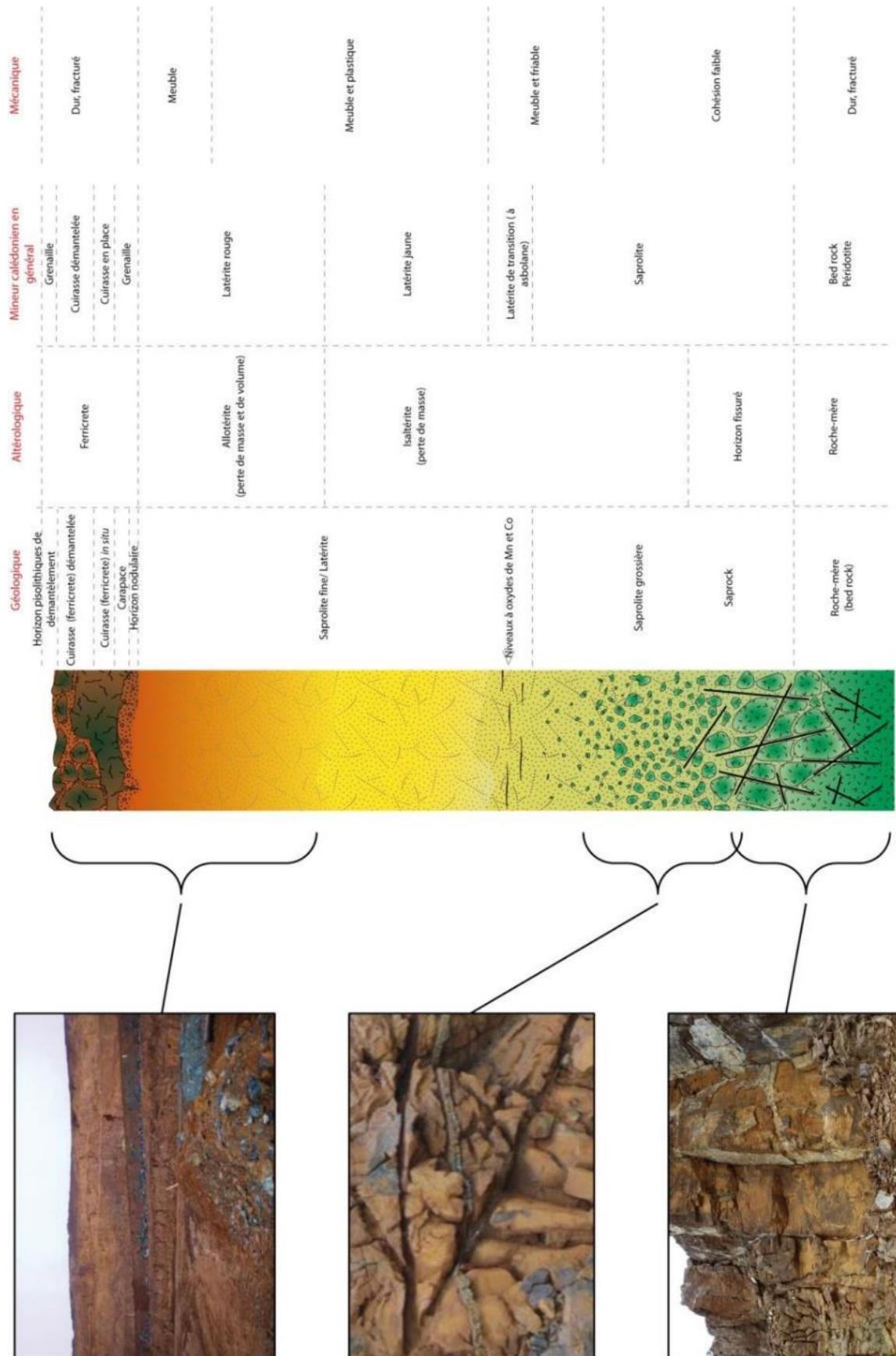
SAPROLITE : Une saprolite (du grec ancien sapos, décomposé) est une roche généralement meuble à dominante argileuse. Formant une couche géologique, surmontant dans des coupes de sol profondes la roche-mère, cette altérite résulte de l'altération chimique d'une roche-mère, due à l'action du climat, de 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 m³), l'éboulement comprend un volume entre 1 et 100 m³ et l'éroulement implique des volumes supérieurs à 100 m³.

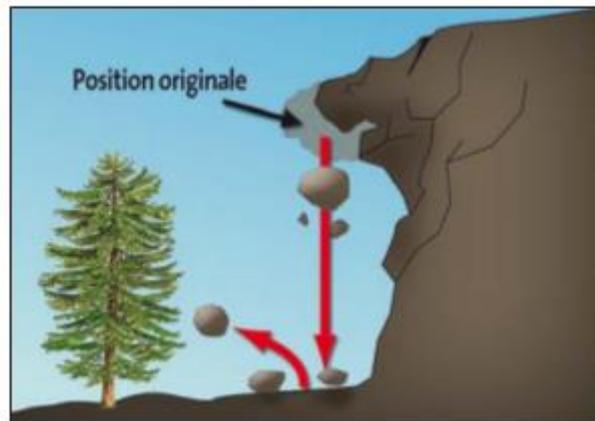


Profil d'altération en contexte de massif ultrabasique

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...

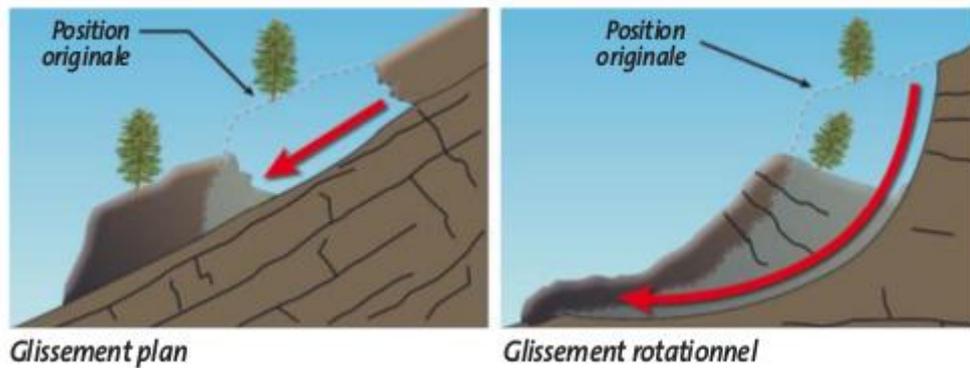


GLISSEMENTS DE TERRAIN

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 dévalements 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}). C'est ce qu'on observe pour les GG et GF, l'inventaire pour les GG est très important, 4273 enveloppes, contre 75 pour les GF, mais la surface moyenne des enveloppes des GG est inférieure à celle des GF.
- Parmi toutes les typologies, les surfaces des glissements fins sont les plus petites (~ 810 m² en moyenne) mais du même ordre de grandeur que pour les glissements grossiers (~ 989 m² en moyenne). Enfin, les laves torrentielles, du fait de leur propagation importante, ont les surfaces les plus élevées (~15 380 m² en moyenne) ;
- Les valeurs médianes d'angle de ligne d'énergie sont de 19,5° LT, de 23,4° pour les GF et enfin elle est un plus élevée pour les GG (32,3°).
- 95% des laves torrentielles ont un angle de ligne d'énergie supérieur à 13,2°. Cette valeur est supérieure à 13,6° et 17,5° pour 95% des GF et GG respectivement.

Inventaire des évènements / Données morphométriques

Koumac / Kaala-Gomen

Enveloppes de zone d'initiation

		GG	GF	LT	CB
Surfaces (m ²)	Nb	1355	2988	19	-
	Min.	139	74	1177	-
	Max.	30590	26915	60652	-
	Moyenne	910	401	12367	-
	Ecart type	1501	=	97297	-

Enveloppes totales

		GG	GF	LT	CB
Surfaces (m ²)	Nb	1355	2988	19	2
	Min.	139	74	1177	501
	Max.	30590	26915	60652	5819
	Moyenne	910	401	12367	1994
	Ecart type	1501	714	97297	1786
Quantiles	5%	225,1	136,0	2151,9	-
	10%	265,7	154,0	2941,3	-
	25%	356,7	195,8	4495,7	-
	50%	553,1	271,4	8092,0	-
	75%	946,3	409,1	18200,8	-

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

		GG	GF	LT	CB
Angle ligne d'énergie (°)	Nb	1355	2988	19	2
	Min.	4,3	5,2	9,8	26,3
	Max.	53,9	54,8	34,9	50,9
	Moyenne	34,3	30,1	19,8	41,4
	Ecart type	6,7	5,8	6,3	7,4
Quantiles	5%	21,3	19,9	11,8	30,5
	10%	25,4	22,7	12,5	34,6
	25%	30,5	26,7	14,6	38,6
	50%	35,4	30,5	18,8	42,5
	75%	38,9	33,9	23,9	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 Koumac et Kaala-Gomen

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	2,734,760	17	-4.0577	0.2425	0.2330	0.0147	-4.2907
gentle slope, fine texture, low convexity	17	553.529	11	-2.8955	0.3015	0.0419	0.0147	-2.9375
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	2,367,077	58	-2.6861	0.1313	0.1900	0.0148	-2.8761
gentle slope, fine texture, high convexity	49	662.716	40	-1.7846	0.1581	0.0433	0.0147	-1.8279
steep slope, coarse texture, low convexity	65	978.568	1.045	1.0896	0.0310	-0.1758	0.0167	1.2655
steep slope, fine texture, low convexity	81	1,848,320	1.336	0.6990	0.0274	-0.1840	0.0174	0.8829
steep slope, coarse texture, high convexity	97	1,017,183	764	0.7374	0.0362	-0.0968	0.0160	0.8342
steep slope, fine texture, high convexity	113	2,777,473	1.38	0.3239	0.0269	-0.1103	0.0175	0.4342

Table 2: Poids sur jeu de donnée complet - Régolithe

Regolithe	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	7,351,641	382	-1.9344	0.0512	0.7538	0.0153	-2.6881
FAU-tres mince	2	1,792,151	2,776	1.4620	0.019	-0.7603	0.0231	2.2223
FAL-anthropique	3	73,564	265	2.3080	0.0615	-0.0527	0.0151	2.3607
FAU-epais	5	184,311	31	-0.7596	0.1796	0.0071	0.0147	-0.7667
FAL-chaos blocs	6	331,894	1,060	2.1873	0.0308	-0.2324	0.0167	2.4197
FAL-colluvions a blocs	7	740,109	133	-0.6934	0.0867	0.0293	0.0149	-0.7227
FAL-formations alluviales	8	2,449,734	4	-0.3946	0.5	0.2085	0.0147	-5.6031
FAL-colluvions ND	9	15,712	0	-0.4971	100	0.001	0.0147	-2.4981

Table 3: Poids sur jeu de donnée complet - Substrat

Substrat	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
----------	-------	-------	-------------	--------	---------	---------	----------	----------

Schistes	1	2,076,465	0	-7.3811	100	0.1755	0.0147	-7.5566
Basaltes	2	2,836,870	7	-4.9817	0.378	0.2452	0.0147	-5.2269
Listvenites	3	370	0	1.2516	100	0.001	0.0147	1.2506
Laves indifférenciées	4	1,371	0	-0.0582	100	0.001	0.0147	-0.0592
Breches et microconglomérats	5	248,635	0	-5.2586	100	0.0192	0.0147	-5.2778
Cherts	6	2,414,317	0	-7.5318	100	0.207	0.0147	-7.7388
Flysch	7	37,860	0	-3.3765	100	0.003	0.0147	-3.3795
Calcaires	8	345,214	0	-5.5868	100	0.0274	0.0147	-5.6142
Peridotites indifférenciées	9	1,700,440	4,186	1.9262	0.0155	-2.1622	0.0464	4.0883
Serpentinites	10	1,301,050	449	-0.0407	0.0472	0.0044	0.0154	-0.0451
Argilites	11	1,976,529	9	-4.369	0.3333	0.1641	0.0147	-4.5331

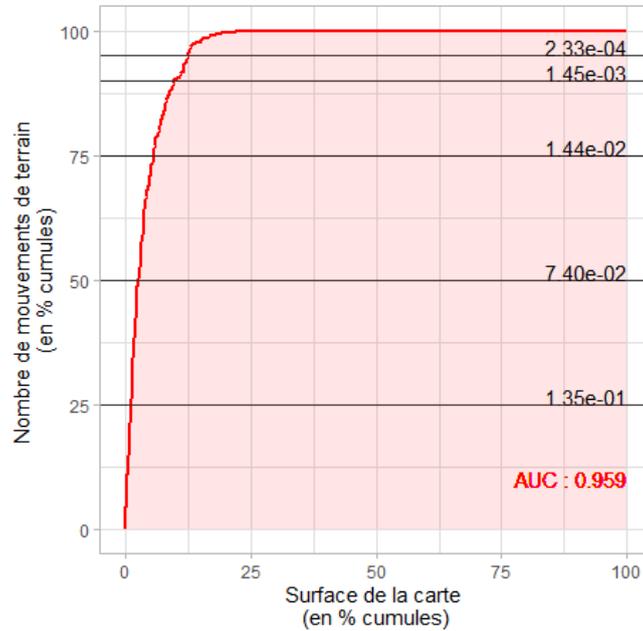
Table 4 : Poids sur jeu de donnée complet – Pente

Pentes	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5	1	3,335,451	3	-5.9909	0.5774	0.2974	0.0147	-6.2883
05-10	2	1,211,590	13	-3.5119	0.2774	0.0957	0.0147	-3.6076
15-10	3	1,018,993	36	-2.3202	0.1667	0.0743	0.0147	-2.3944
15-20	4	1,190,879	126	-1.2232	0.0891	0.0691	0.0149	-1.2923
20-25	5	1,426,396	216	-0.8646	0.068	0.0694	0.015	-0.9341
25-30	6	1,748,541	411	-0.4249	0.0493	0.0529	0.0154	-0.4778
30-35	7	1,552,888	744	0.2875	0.0367	-0.0465	0.016	0.334
35-40	8	938,654	1,272	1.3281	0.0281	-0.2441	0.0172	1.5722
40-45	9	387,833	1,225	2.1761	0.0286	-0.2747	0.0171	2.4508
45-50	10	101,728	469	2.5558	0.0463	-0.0984	0.0155	2.6542
>50	11	26,673	136	2.657	0.086	-0.0274	0.0149	2.6844

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

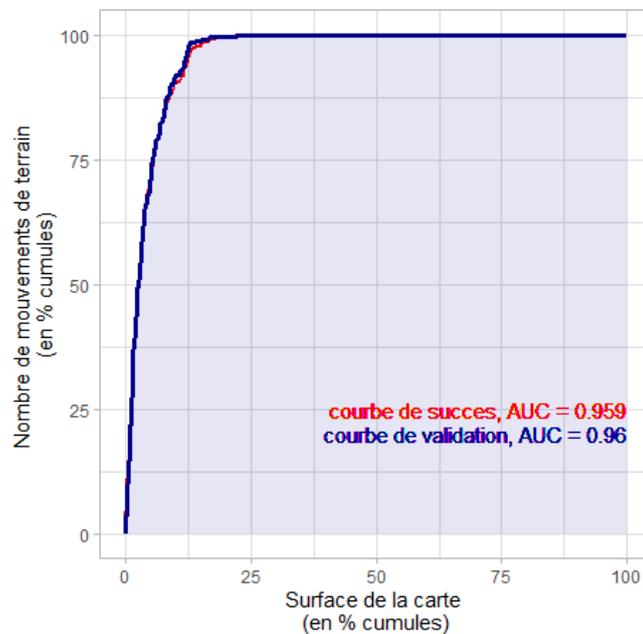
Courbe de succes et aire sous la courbe

Courbe de succes sur set d'entrainement

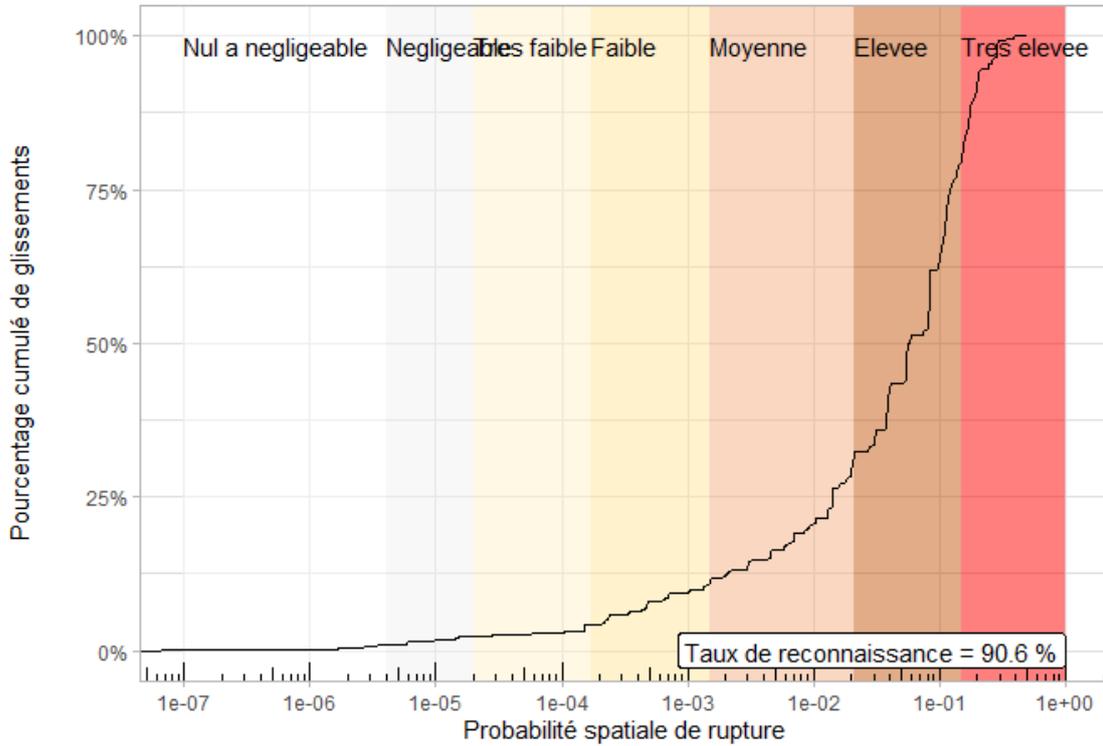


Courbe de validation

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

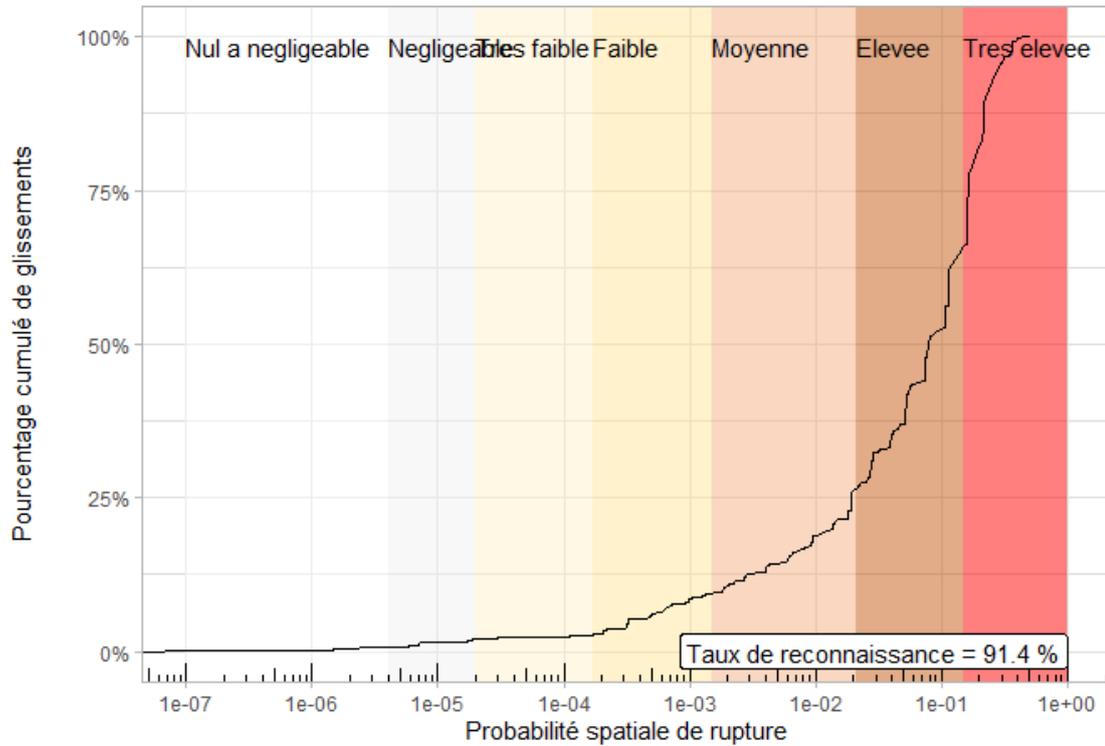


CONFIANCE STATISTIQUE

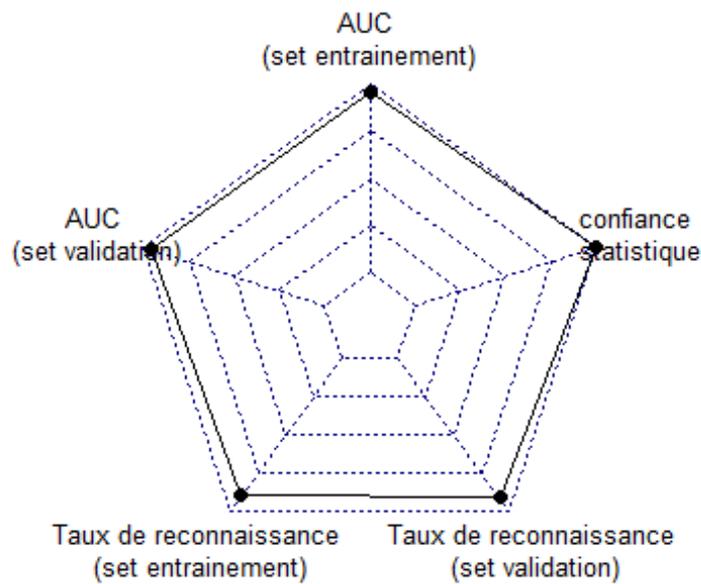
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000004	Nul a negligeable	2,729,025	1,684,120	61.71142
0.0000040	0.000020	Negligeable	348,175	232,967	66.91089
0.0000200	0.000170	Tres faible	247,297	201,928	81.65404
0.0001700	0.001500	Faible	428,211	425,054	99.26275
0.0015000	0.021000	Moyenne	681,220	681,122	99.98561
0.0210000	0.150000	Elevee	423,487	423,487	100.00000
0.1500000	1.000000	Tres elevee	140,679	140,679	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	2021170	4	8.6288E-09	nulle à négligeable	nulle à négligeable	nul à négligeable
négligeable	2	1036832	38	7.7979E-07	négligeable	négligeable	négligeable
très faible	3	333436	14	8.9334E-07	négligeable	négligeable	négligeable
faible	4	411692	58	2.9975E-06	très faible	très faible	très faible
moyenne	5	602506	141	4.9792E-06	très faible	très faible	modéré
forte	6	484700	420	1.8436E-05	faible	faible	élevé
très forte	7	206864	384	3.9496E-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	2734760	7	-0.5764	0.378	0.236	0.0107	-5.8124
gentle slope, fine texture, low convexity	17	553529	84	-0.4939	0.1091	0.0339	0.0108	-1.5278
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	2367077	36	-0.7944	0.1667	0.1981	0.0107	-3.9925
gentle slope, fine texture, high convexity	49	662716	91	-0.5939	0.1048	0.0423	0.0108	-1.6362
steep slope, coarse texture, low convexity	65	978568	538	-0.2062	0.0431	0.015	0.011	-0.2212
steep slope, fine texture, low convexity	81	1848320	2543	0.7119	0.0198	-0.1896	0.0127	0.9015
steep slope, coarse texture, high convexity	97	1017183	253	-0.9997	0.0629	0.0529	0.0109	-1.0525
steep slope, fine texture, high convexity	113	2777473	5190	1.0185	0.0139	-0.6606	0.0168	1.6791

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	7,351,641	8591	0.5484	0.0108	-3.2352	0.0814	3.7837
FAU-tres mince	2	1,792,151	77	-2.7558	0.114	0.1406	0.0107	-2.8965
FAL-anthropique	3	73,564	0	-0.0411	100	0.006	0.0107	-4.0471
FAU-epais	5	184,311	7	-0.8792	0.378	0.0131	0.0107	-2.8923
FAL-chaos blocs	6	331,894	8	-0.3339	0.3536	0.0253	0.0107	-3.3592
FAL-colluvions a blocs	7	740,109	54	-0.2263	0.1361	0.0527	0.0107	-2.2789
FAL-formations alluviales	8	2,449,734	5	-0.8028	0.4472	0.2085	0.0107	-6.0113
FAL-colluvions ND	9	15,712	0	-0.4974	100	0.001	0.0107	-2.4984

Table 7: Poids sur jeu de donnée complet – Substrat

Substrat	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Schistes	1	2,076,465	1810	0.255	0.0235	-0.0576	0.012	0.3126
Basaltes	2	2,836,870	2	-6.8658	0.7071	0.2472	0.0107	-7.113
Listvenites	3	370	0	1.2513	100	0.001	0.0107	1.2503
Laves indifferenciees	4	1,371	0	-0.0585	100	0.001	0.0107	-0.0595
Breches et microconglomerats	5	248,635	52	-1.1731	0.1387	0.0132	0.0107	-1.1862
Cherts	6	2,414,317	2854	0.56	0.0187	-0.1875	0.013	0.7475
Flysch	7	37,860	8	-1.1628	0.3536	0.002	0.0107	-1.1648
Calcaires	8	345,214	59	-1.375	0.1302	0.0203	0.0107	-1.3953
Peridotites indifferenciees	9	1,700,440	15	-4.3391	0.2582	0.1396	0.0107	-4.4787
Serpentinites	10	1,301,050	22	-3.6884	0.2132	0.1035	0.0107	-3.7919
Argilites	11	1,976,529	3920	1.0782	0.016	-0.4282	0.0144	1.5064

Table 8: Poids sur jeu de donnée complet – Pente

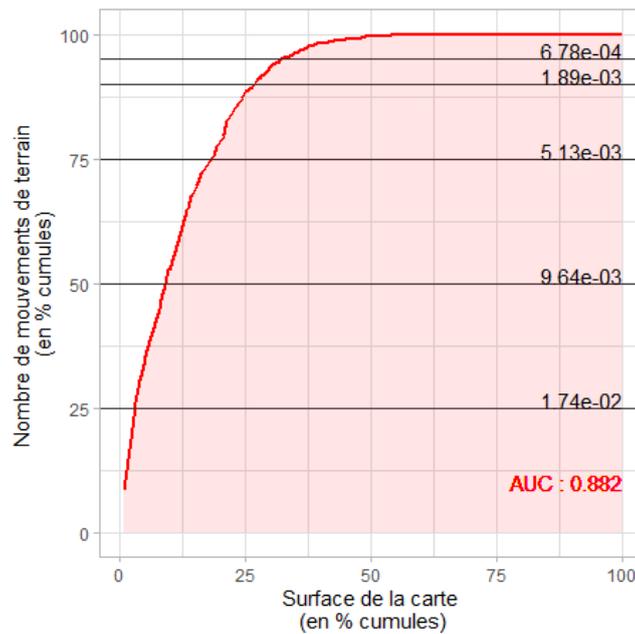
Pentes	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
--------	-------	-------	-------------	--------	---------	---------	----------	----------

0-5	1	3,335,451	6	-5.9291	0.4082	0.2974	0.0107	-6.2265
05-10	2	1,211,590	33	-3.2117	0.1741	0.0947	0.0107	-3.3064
10-15	3	1,018,993	81	-2.1406	0.1111	0.0733	0.0107	-2.2138
15-20	4	1,190,879	185	-1.4705	0.0735	0.0753	0.0108	-1.5457
20-25	5	1,426,396	593	-0.4858	0.0411	0.0461	0.0111	-0.5319
25-30	6	1,748,541	1859	0.4538	0.0232	-0.0945	0.0121	0.5483
30-35	7	1,552,888	3063	1.0727	0.0181	-0.3029	0.0133	1.3757
35-40	8	938,654	2,073	1.186	0.022	-0.1958	0.0122	1.3818
40-45	9	387,833	679	0.9533	0.0384	-0.0508	0.0111	1.004
45-50	10	101,728	139	0.705	0.0849	-0.0081	0.0108	0.7131
>50	11	26,673	31	0.543	0.1797	-0.002	0.0107	0.545

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

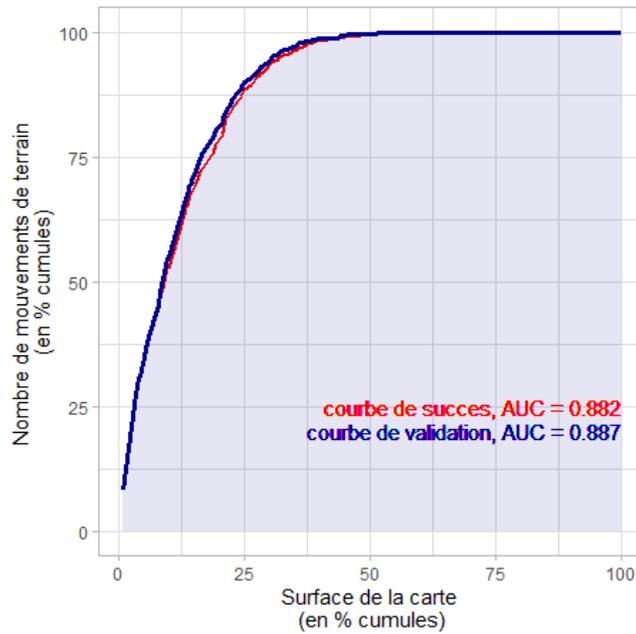
Courbe de succès et aire sous la courbe

Courbe de succès sur set d'entrainement

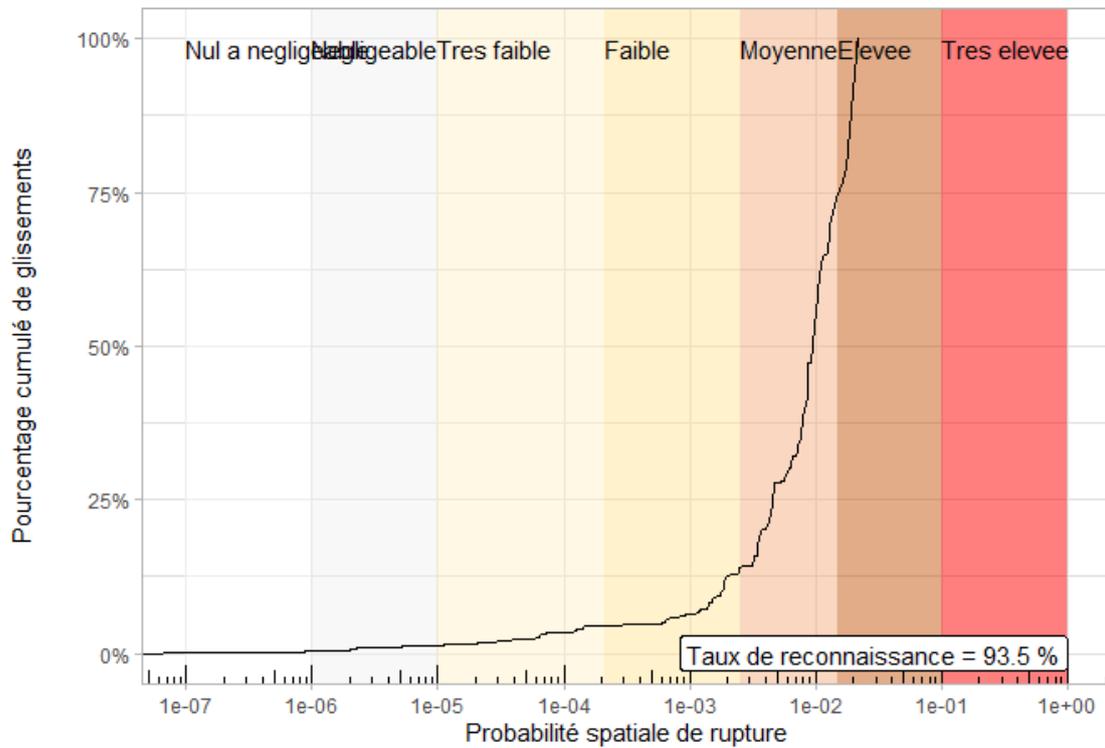


Courbe de validation

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

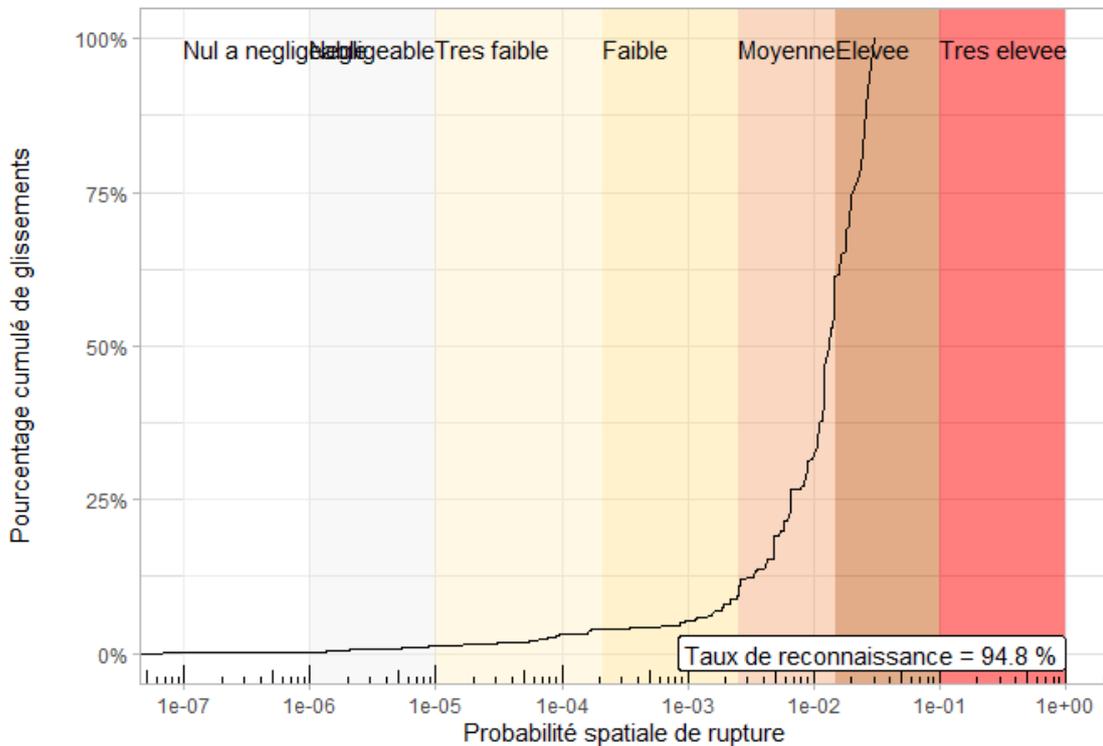


CONFIANCE STATISTIQUE

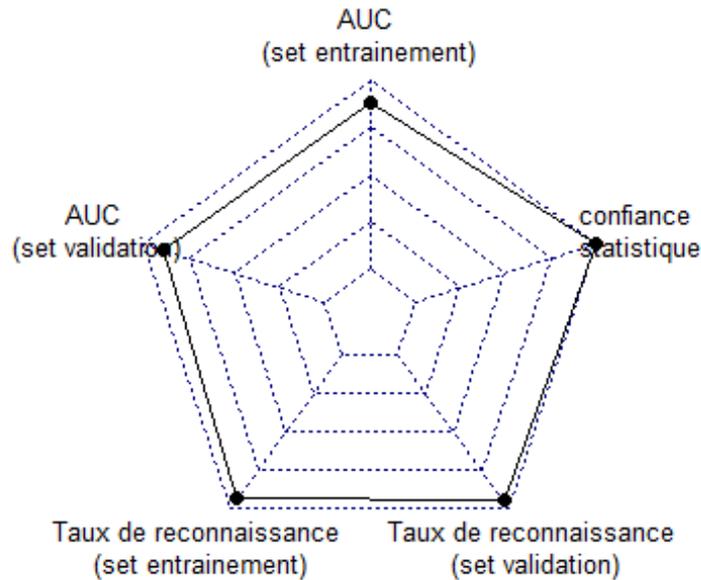
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000001	Nul a negligeeable	1,269,448	741,719	58.42847
0.0000010	0.000010	Negligeable	1,192,380	1,046,527	87.76791
0.0000100	0.000210	Tres faible	1,179,837	1,161,834	98.47411
0.0002100	0.002500	Faible	1,335,487	1,333,893	99.88064
0.0025000	0.015000	Moyenne	2,655,078	2,654,790	99.98915
0.0150000	0.100000	Elevee	407,505	407,505	100.00000
0.1000000	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	5.9E+06	25	8.97E-08	nulle à négligeable	nulle à négligeable	nul à négligeable
négligeable	2	1.4E+06	90	1.41E-06	très faible	négligeable	très faible
très faible	3	1.0E+06	179	3.81E-06	très faible	très faible	faible
faible	4	1.2E+06	622	1.13E-05	faible	très faible	faible
moyenne	5	2.7E+06	5110	4.02E-05	faible	faible	modéré
forte	6	7.7E+05	3778	1.04E-04	moyenne	moyenne	modéré
très forte	7						

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

Régolithe	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	7,351,641	45	-2.3896	0.1491	0.7859	0.0349	-3.1755
FAU-tres mince	2	1,792,151	436	1.2931	0.0479	-0.5535	0.0483	1.8467
FAL-anthropique	3	73,564	304	4.1294	0.0575	-0.4278	0.0423	4.5573
FAU-epais	5	184,311	0	-4.9590	100	0.0141	0.034	-4.9731
FAL-chaos blocs	6	331,894	79	1.2713	0.1125	-0.0691	0.0357	1.3403
FAL-colluvions a blocs	7	740,109	0	-6.3492	100	0.0587	0.034	-6.4078
FAL-formations alluviales	8	2,449,734	0	-7.5461	100	0.2095	0.034	-7.7556
FAL-colluvions ND	9	15,712	0	-2.4968	100	0.001	0.034	-2.4978

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	3,335,451	0	-7.8547	100	0.2984	0.034	-8.1531
5-10	2	1,211,590	0	-6.842	100	0.0987	0.034	-6.9408
10-15	3	1,018,993	0	-6.6689	100	0.0823	0.034	-6.7512
15-20	4	1,190,879	3	-3.2774	0.5774	0.0935	0.0341	-3.3709
20-25	5	1,426,396	36	-0.973	0.1667	0.0736	0.0348	-1.0466
25-30	6	1,748,541	57	-0.717	0.1325	0.0767	0.0352	-0.7938
30-35	7	1,552,888	136	0.2713	0.0858	-0.043	0.0371	0.3142
35-40	8	938,654	268	1.4532	0.0611	-0.2953	0.041	1.7485
40-45	9	387,833	260	2.3072	0.062	-0.3276	0.0407	2.6348
45-50	10	101,728	98	2.67	0.1011	-0.1119	0.0361	2.7819
>50	11	26,673	6	1.2147	0.4083	-0.005	0.0341	1.2198

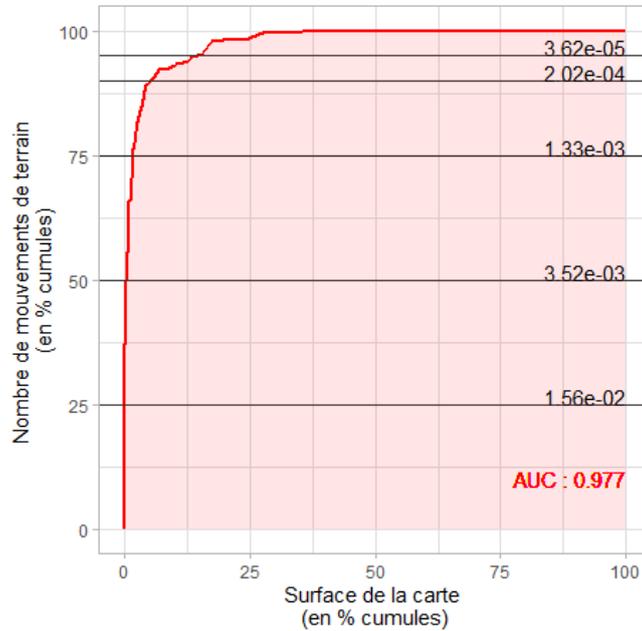
Table 11 Poids sur jeu de donnée complet – TPI

tpi	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
V-shape river valley. Deep narrow canyons	1	628,119	21	-0.6918	0.2182	0.0259	0.0344	-0.7177
Lateral midslope incised drainage	2	990,442	227	1.2334	0.0664	-0.225	0.0396	1.4585
Upland incised drainage. Stream headwaters	3	99,421	104	2.7525	0.0981	-0.1198	0.0363	2.8723
U-shape valleys	4	872,143	6	-2.2728	0.4082	0.0623	0.0341	-2.3351
Broad flat area (slope=0)	5	3,159,335	0	-7.8005	100	0.2797	0.034	-8.0802
Broad open slopes (slopes>0)	6	4,492,230	275	-0.0869	0.0603	0.0435	0.0412	-0.1303
Flat ridge tops mesa tops	7	922,390	187	1.1108	0.0731	-0.1697	0.0384	1.2805
Local ridge/hilltops within broad valleys	8	68,073	0	-3.9629	100	0.005	0.034	-3.968
Lateral midslope drainage divides. Local ridges in plains	9	978,736	14	-1.5408	0.2673	0.0629	0.0343	-1.6037
Mountain top. High narrow ridges	10	728,737	30	-0.4837	0.1826	0.022	0.0346	-0.5057

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

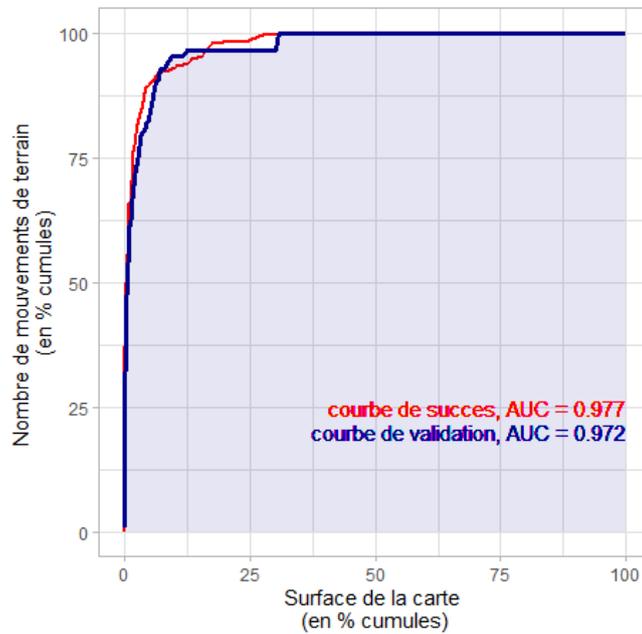
Courbe de succes et aire sous la courbe

Courbe de succes sur set d'entrainement

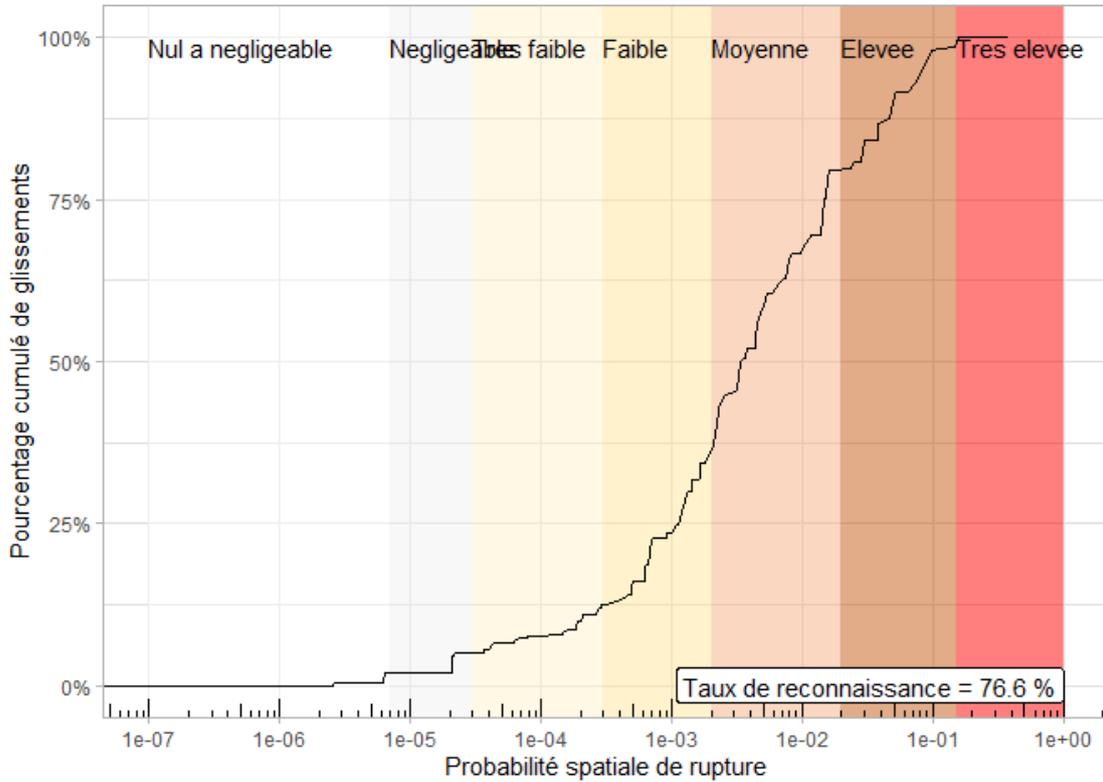


Courbe de validation

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

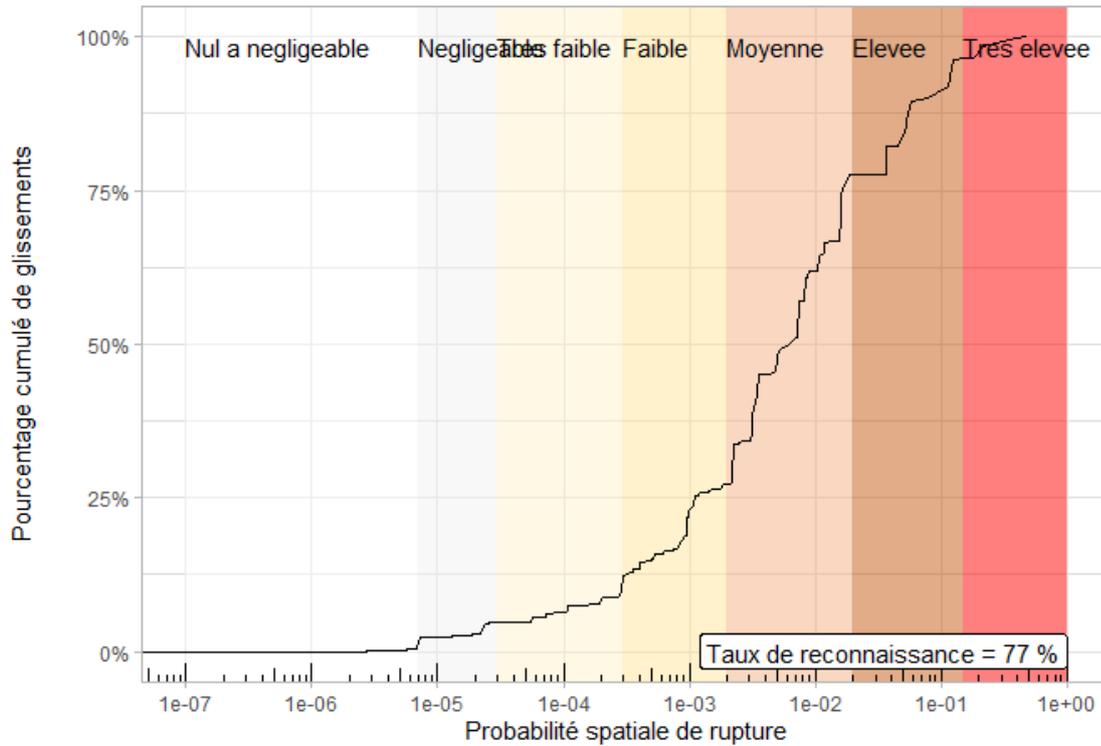


CONFIANCE STATISTIQUE

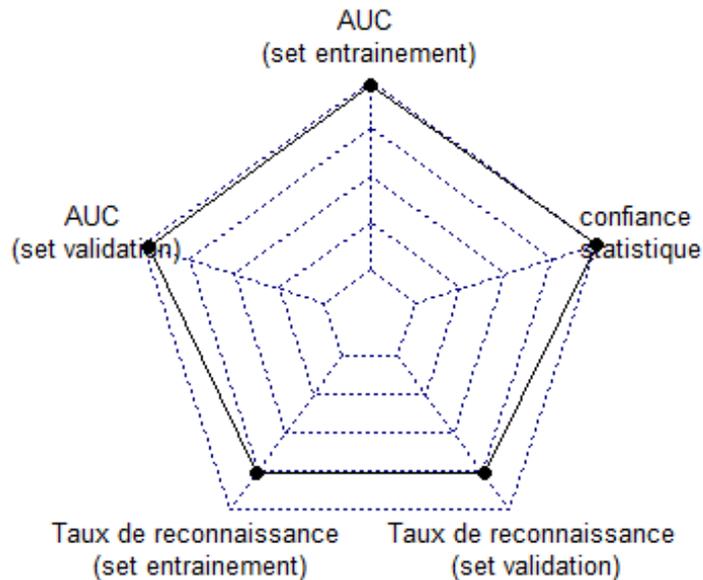
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000007	Nul a negligeeable	4,244,562	2,789,539	65.72030
0.0000070	0.000030	Negligeable	1,076,303	881,805	81.92907
0.0000300	0.000300	Tres faible	1,282,834	1,206,733	94.06774
0.0003000	0.002000	Faible	396,106	383,237	96.75112
0.0020000	0.020000	Moyenne	126,592	124,866	98.63656
0.0200000	0.150000	Elevee	12,051	12,015	99.70127
0.1500000	1.000000	Tres elevee	904	904	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	9.2E+06	1	2.47E-09	nulle à négligeable	nulle à négligeable	nul à négligeable
négligeable	2	1.9E+06	NA	NA			
très faible	3	1.2E+06	25	4.66E-07	négligeable	faible	faible
faible	4	4.1E+05	54	3.03E-06	très faible	moyenne	modéré
moyenne	5	2.3E+05	254	2.54E-05	faible	moyenne	modéré
forte	6	1.7E+04	95	1.27E-04	moyenne	forte	élevé
très forte	7	1.5E+03	1.8E+01	2.8E-04	moyenne	forte	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
50 =>	3 m/min	TR	Structure détruite		Elevée	GG
0.5 =>	1,8 m/h	R	Structure détruite, possible évacuation	Evacuation	Modérée	GF
0.005 =>	13 m/mois	M	Qq structures résistent			
0.00005 =>	1,6 m/an	L	Possibles intervention travaux	Intervention		
0.0000005 =>	16 mm/an	TL	Structure peu endommagées			
		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 jusque 1 "chance" sur 1 000
	Faible	10^{-5} à 10^{-4}	Peu probable jusque 1 "chance" sur 100
	Moyen	10^{-4} à 10^{-3}	Possible jusque # 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'évènement 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 évènements 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 ébouées 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		Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Extrêmement forte
		10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
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 Kaala-Gomen

PARAMETRES VALORISES POUR LA COMMUNE DE KAALA-GOMEN

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-731616-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'Iwashiki 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.

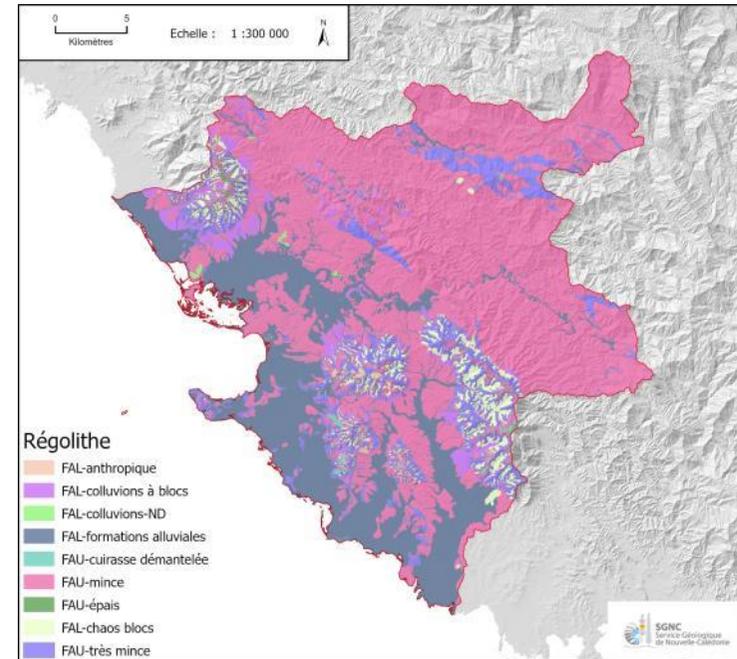
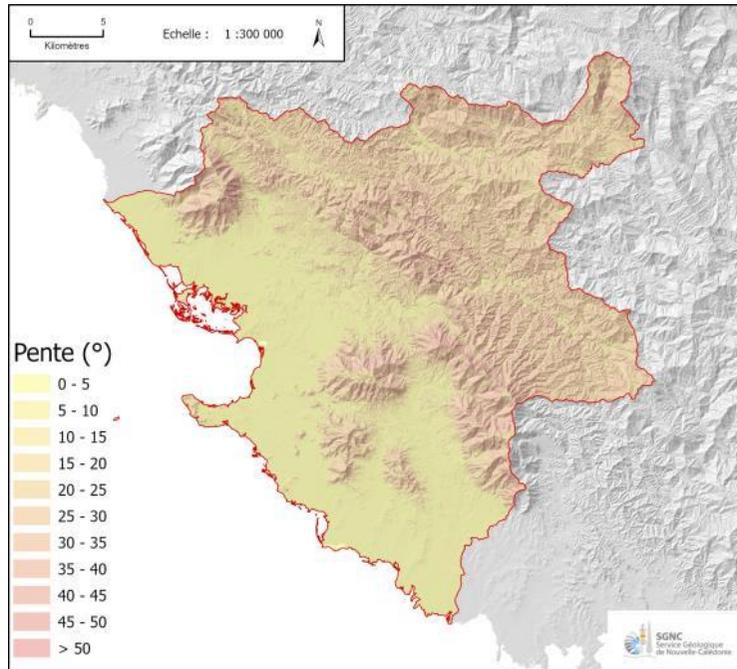
La méthodologie générale est détaillée pour chaque phénomène (GG, GF, LT) dans le rapport méthodologique, et est rappelée en Annexe 4. Cependant, pour chaque typologie de phénomène, les données d'entrées et divers paramètres diffèrent :

- 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).

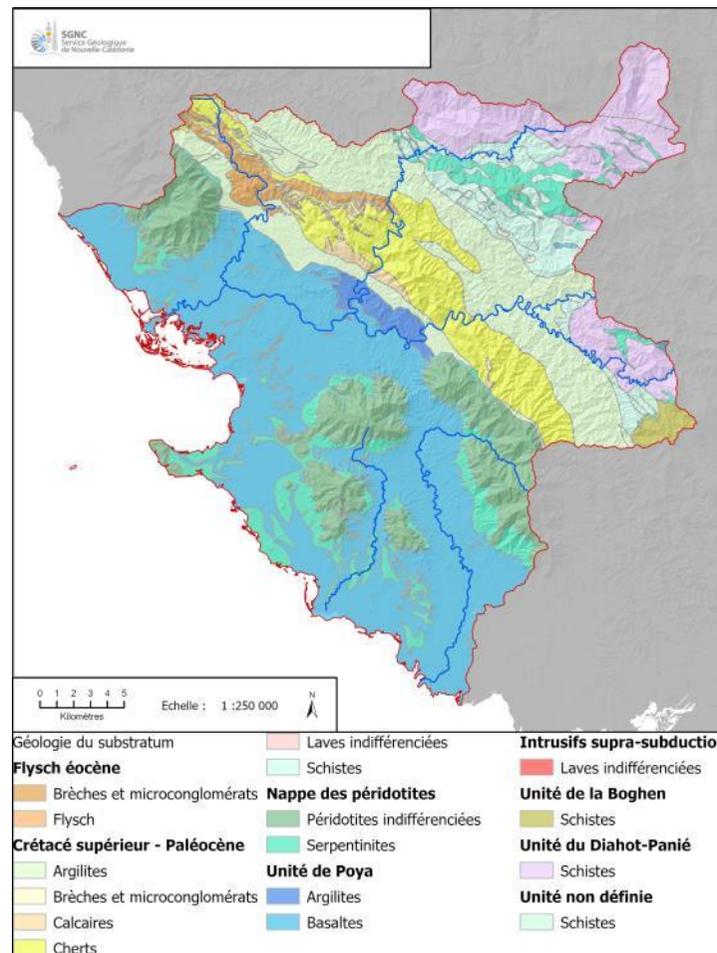
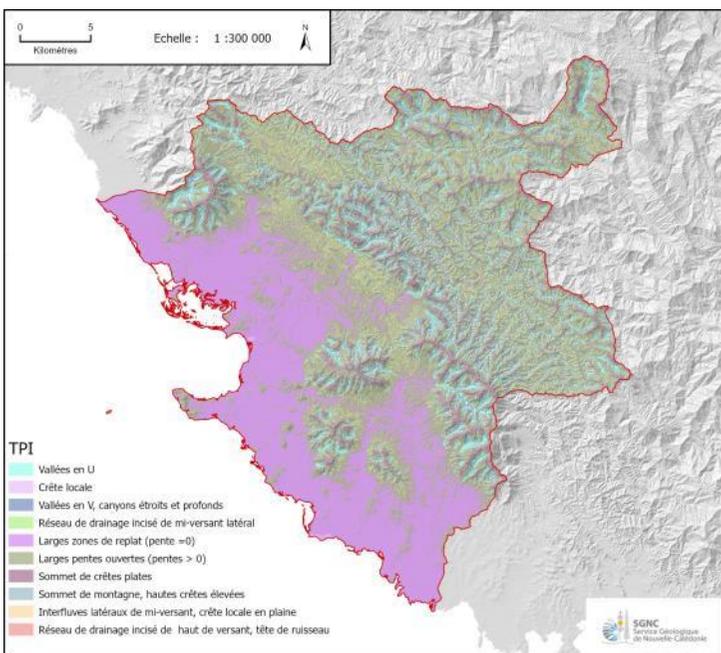
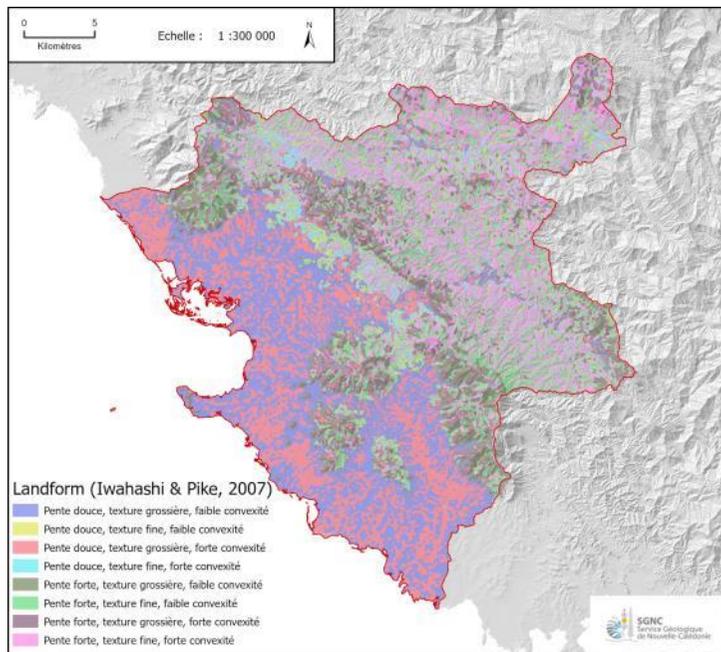
Pour les chutes de blocs, l'approche est différente et également détaillée dans le rapport méthodologique. Les paragraphes suivants présentent les paramètres d'entrée valorisés et les résultats pour les quatre phénomènes considérés (GG, GF, LT et CB). Les paramètres de l'approche statistique (GG, GF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

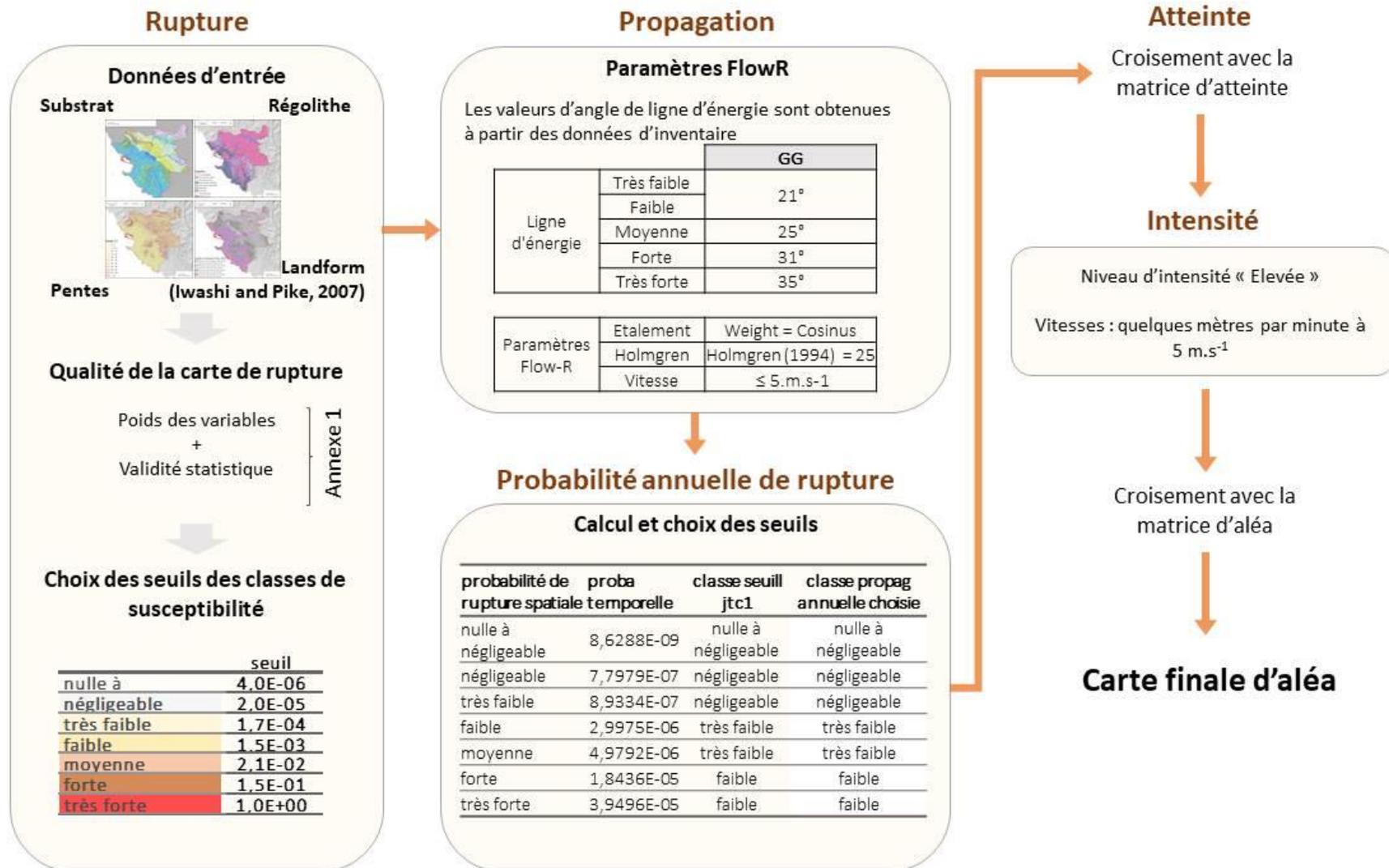
Cartes de référence des variables valorisées



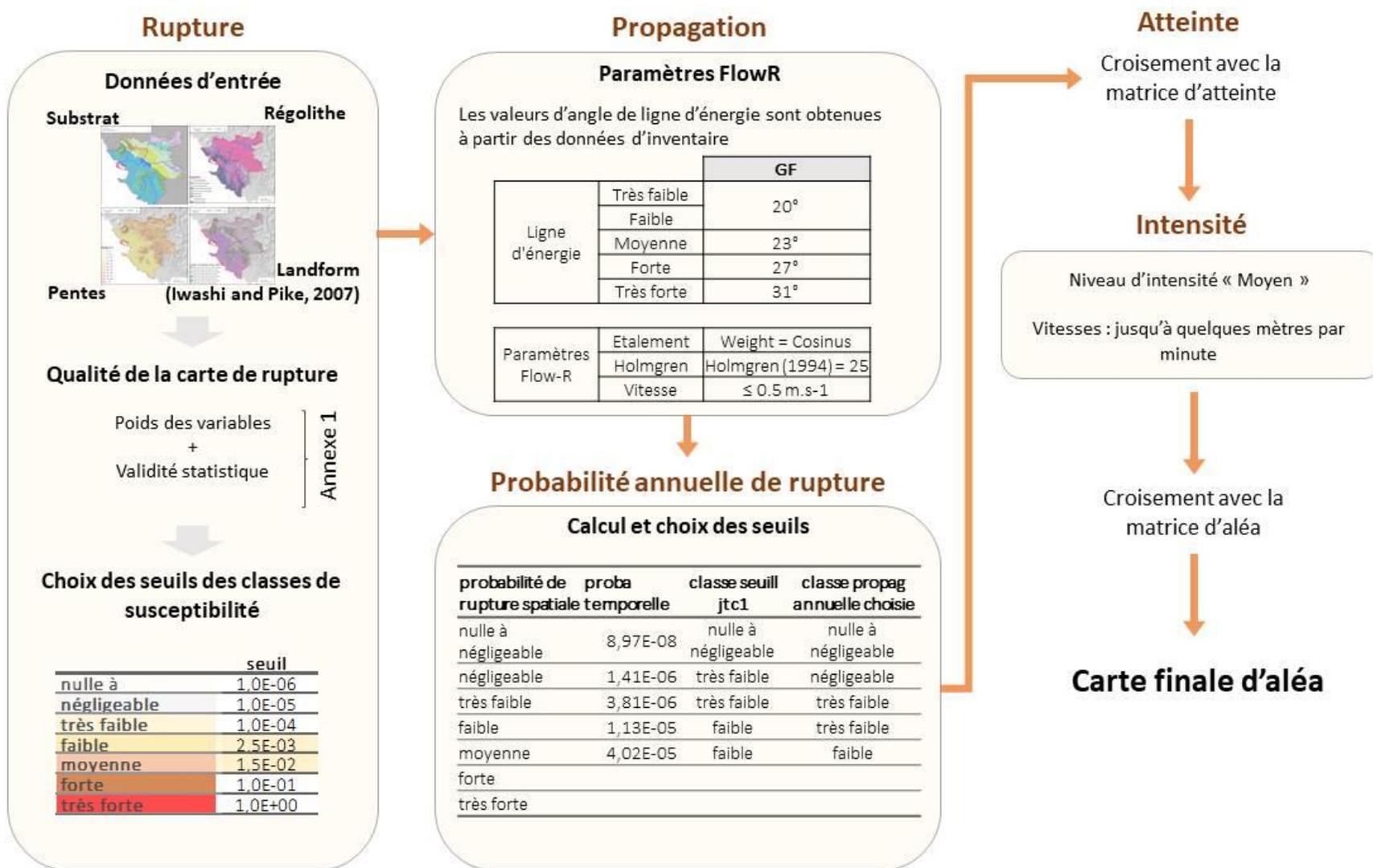
Carte des aléas mouvements de terrain – Commune de Kaala-Gomen, Nouvelle-Calédonie



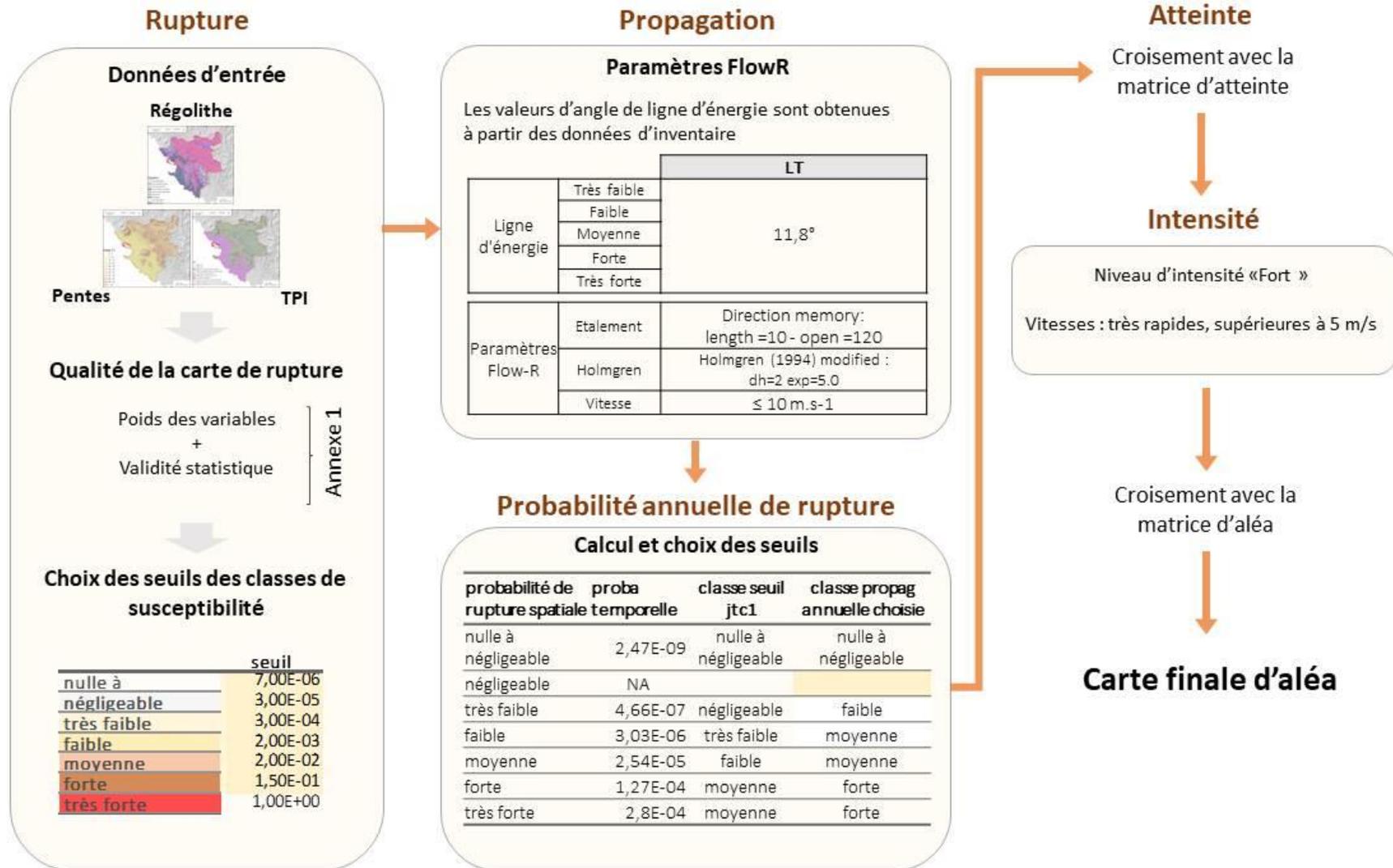
Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des glissements grossiers sur la commune de Kaala-Gomen



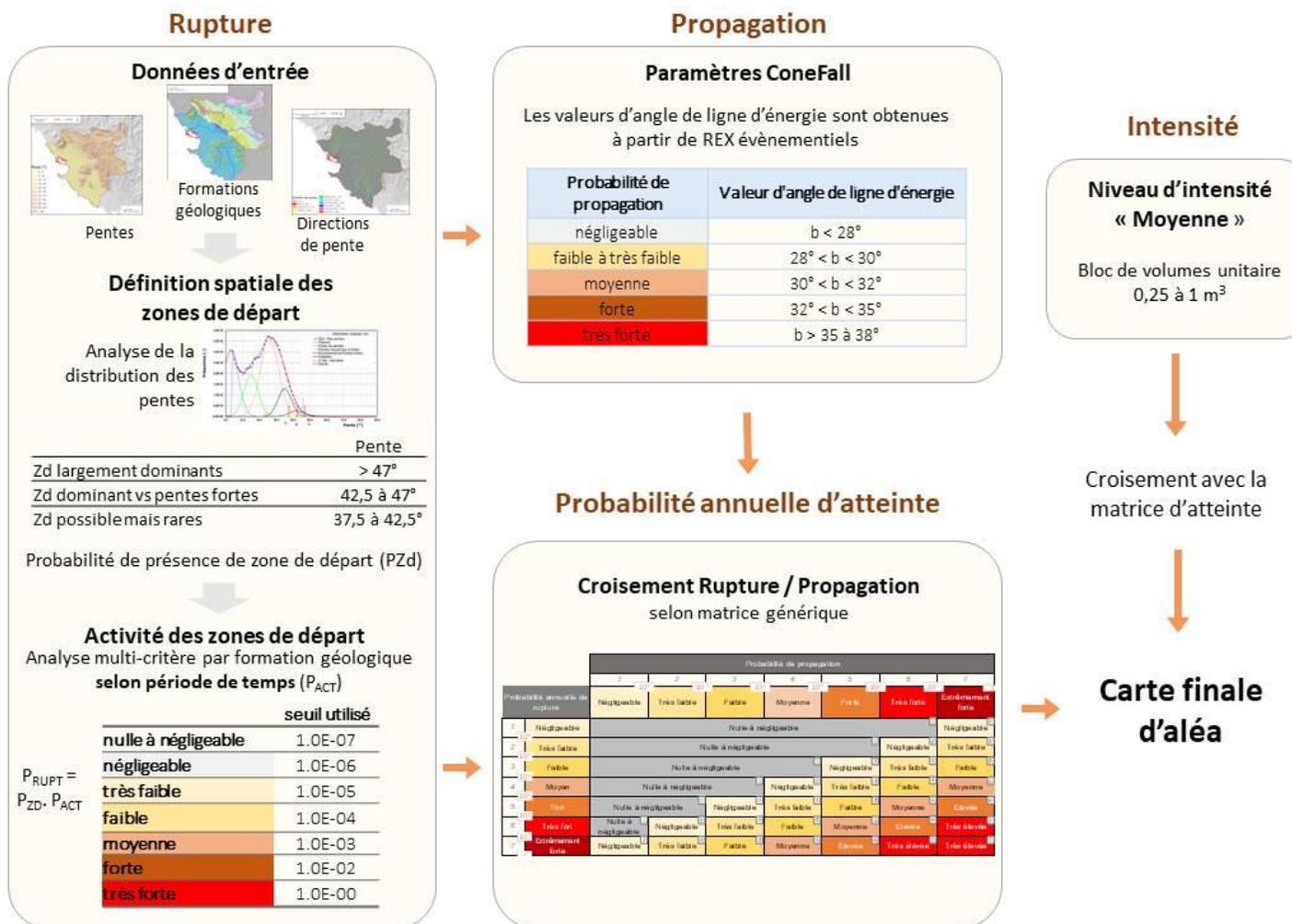
Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des glissements fins sur la commune de Kaala-Gomen



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



Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa chute de blocs sur la commune de Kaala-Gomen



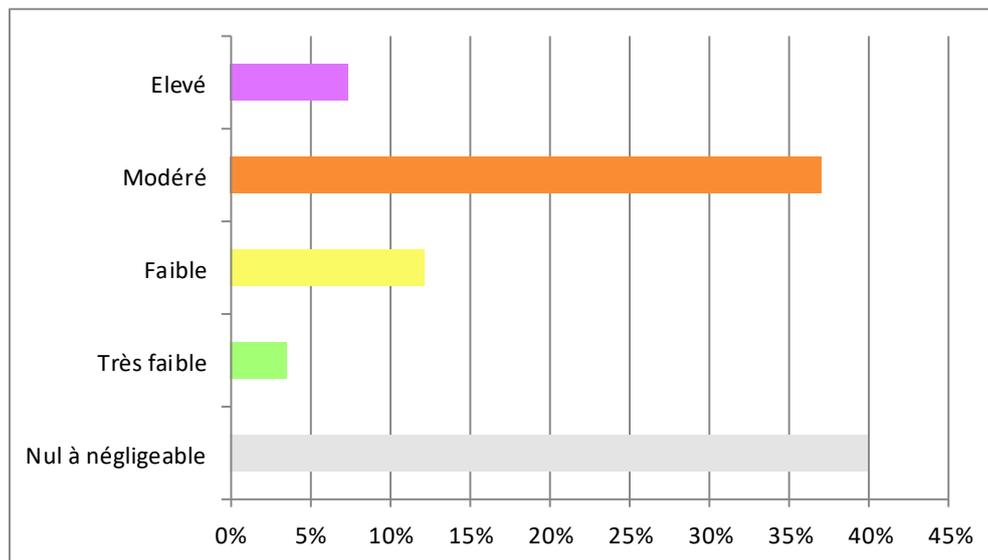
CARTE D'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN

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.

La synthèse des résultats à l'échelle communale est la suivante :

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km ²)	Nul à négligeable	606	354	521	677	296
	Très faible	19	79	102	7	27
	Faible	12	92	68	16	90
	Modéré	53	219	43	43	275
	Elevé	53	-	8	-	55
<i>Surface totale soumise à aléa</i>		137	389	221	66	446
<i>% de la commune soumis à aléa</i>		18%	52%	30%	9%	60%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	82%	48%	70%	91%	40%
	Très faible	3%	11%	14%	1%	4%
	Faible	2%	12%	9%	2%	12%
	Modéré	7%	29%	6%	6%	37%
	Elevé	7%	0%	1%	0%	7%



Exposition de la commune de Kaala-Gomen 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

