

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

Rapport final

BRGM/RP-73162-FR
DIMENC SGNC-2024(06)
Août 2024

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

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

Vérificateur :

Nom : S. Gourdier

Fonction : Resp. d'unité

Date : 15 octobre 2024

Signature :



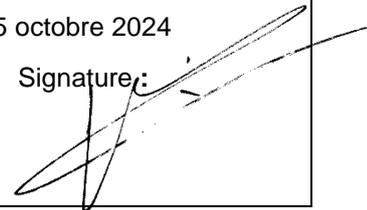
Approbateur :

Nom : V. Mardhel

Fonction: Directeur Antenne
Nouvelle Calédonie

Date : 15 octobre 2024

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, Koné

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

Colas B., Thiery Y., Guyomard Y., Mengin M., Monge O. (2024) – Cartographie de l'aléa mouvement de terrain. Commune de KONE (Nouvelle-Calédonie). Echelle 1:25 000^{ème}. Rapport final BRGM/RP-73162-FR / DIMENC SGNC-2024(06). 45 p., 26 illustrations, 7 annexes.

SYNTHESE

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

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

La méthode d'évaluation des aléas est relativement innovante, déclinée par type de phénomène (éboulements 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 travail 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 Koné :

- 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, octobre 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.....	28
5	RESULTATS	31
5.1	Cartographie de l'aléa mouvements de terrain	31
5.2	Validation des résultats	32
5.3	Enjeux et risques.....	41
6	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	43
7	BIBLIOGRAPHIE.....	45
7.1	Guides.....	45
7.2	Rapports	45
7.3	Documents académiques	45
8	ANNEXES.....	47
8.1	Annexe 1 – Lexique des termes utilisés	47
8.2	Annexe 2 – Indicateurs morphométriques des évènements	54
8.3	Annexe 3 – Susceptibilité de rupture par phénomène	56
8.4	Annexe 4 – Méthode d'évaluation de l'aléa mouvement de terrain	74
8.5	Annexe 5 – Application sur la commune de KONE.....	81
8.6	Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain	89
8.7	Annexe 7 – Atlas cartographiques : aléa mouvement de terrain	91
	Annexe hors-texte : BDD cartographiques (SIG)	
	Inventaire des mouvements de terrain	
	Cartes d'aléa par phénomène et carte de synthèse	

Liste des illustrations

Illustration 1 – Présentation de la commune de Koné.....	12
Illustration 2 – Matrice d'évaluation de l'aléa croisant Intensité et Atteinte	14
Illustration 3 – Synthèse méthodologique	15
Illustration 4 – Exemple de cartographie des enveloppes des mouvements	17
Illustration 5 – Inventaire des phénomènes.....	18
Illustration 6 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat ultrabasique – Koné.....	19
Illustration 7 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat volcano-sédimentaire - Koné	20
Illustration 8 – Dénombrement des phénomènes de mouvements de terrain par période	21
Illustration 9 – Distribution des surfaces [m ²] et des valeurs d'angle de ligne d'énergie [°] par typologie de mouvements de terrain	21
Illustration 10 – Cartographie du substratum géologique.....	25
Illustration 11 – Exemple de mise à jour de la carte du régolithe.....	26
Illustration 12 – Cartographie des classes de formations du régolithe sur la commune de Koné	27
Illustration 13 – Cartographie des classes de pentes sur la commune de Koné	28
Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Koné.....	29
Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (<i>Landform</i>) sur la commune de Koné	30
Illustration 16 – Exposition du territoire communal (km ² et %) aux différents types de phénomène et niveau d'aléa	32
Illustration 17 – Taux de reconnaissance selon le type de phénomène (rupture)	32
Illustration 18 – Taux de reconnaissance des événements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa finale pour chaque de phénomène	33
Illustration 19 – Propagation de LT hors emprise de zone soumise théoriquement à aléa	34
Illustration 20 – Cartographie de l'aléa chutes de blocs sur la commune de Koné	35
Illustration 21 – Cartographie de l'aléa glissements fins sur la commune de Koné.....	36
Illustration 22 –Cartographie de l'aléa glissements grossiers sur la commune de Koné.....	37
Illustration 23 – Cartographie de l'aléa laves torrentielles sur la commune de Koné	38
Illustration 24 – Cartographie générale de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Koné	39
Illustration 25 – Exposition des constructions à l'aléa mouvements de terrain sur la commune de Koné	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 374 km², la commune de Koné est située sur la côte est de la Grande Terre, en Province Nord, entre la commune de Pouembout au sud, Poindimié à l'ouest et Hienghène et Voh au nord (Illustration 1).

La commune de Koné est centrée sur le village de Koné qui se développe au niveau de la plaine alluviale de la rivière Koné, dominée par le massif du Koniambo à l'ENE.

Le littoral est marqué par la présence de la baie de Kataviti qui s'étend entre la presqu'île de Pinjen à l'ouest et la presqu'île de Foué à l'est.

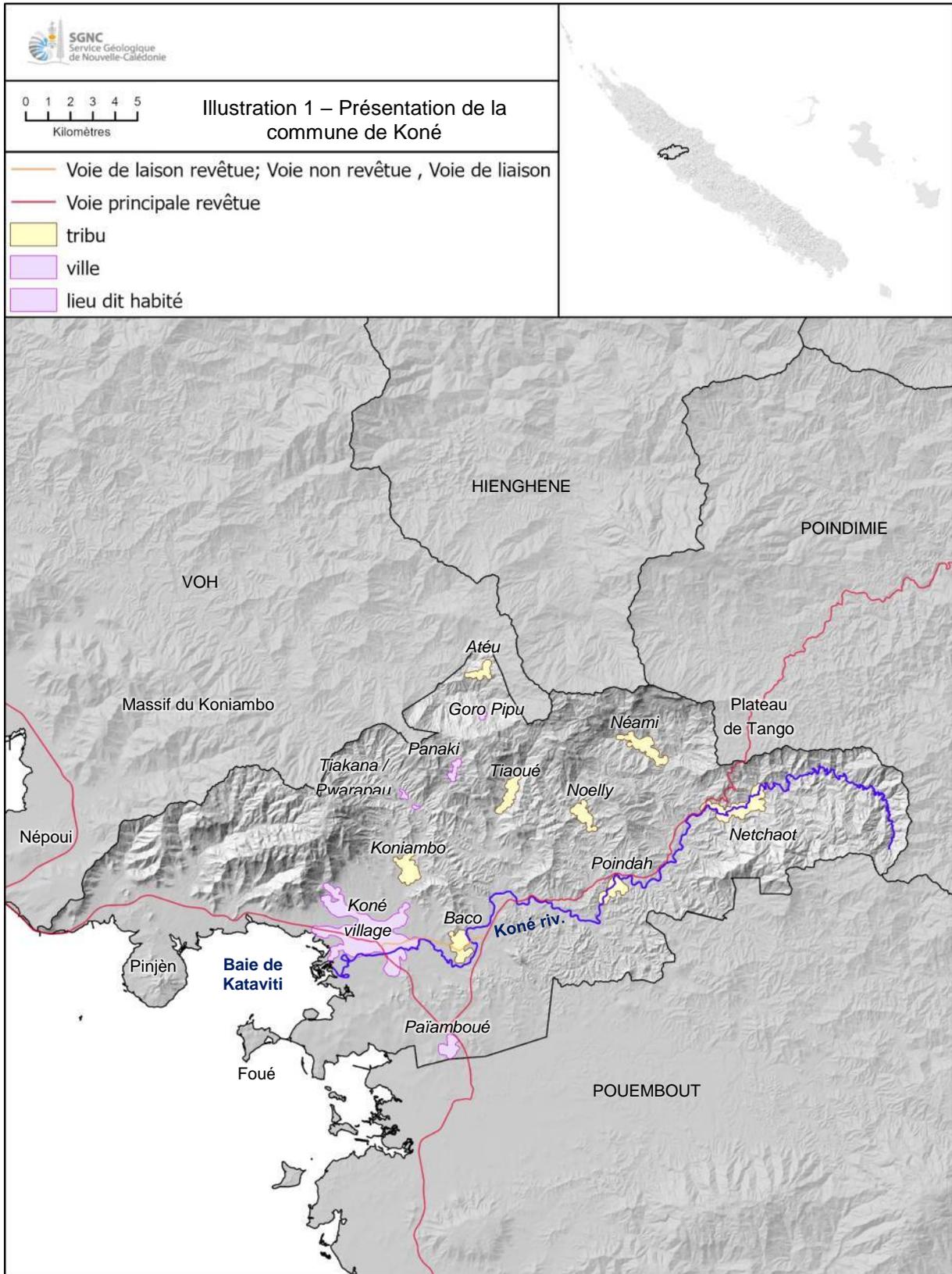
La limite sud de la commune correspond à la plaine alluviale de la Pouembout, tandis que la limite nord-est correspond au plateau de Tango.

La limite est de la commune correspond au massif péridotitique du Koniambo qui surplombe le village de Koné.

Le cours de la rivière Koné remonte vers la chaîne centrale en direction de l'ONO jusqu'au pied du sommet Wôudulan.

La population de la commune était d'environ 7 933 habitants en 2019, soit une densité de 21,8 habitants/km² (14,6 habitants/km² en Nouvelle-Calédonie). La population est essentiellement localisée au niveau du village de Koné. Huit tribus sont présentes sur la commune, où vivent 3 106 habitants (40% de la population) : Koniambo, Baco, Natchaot, Neami, Tiaoué, Noelly, Poindah, Ateou. Les tribus sont toutes localisées dans les terres. On distingue les tribus localisées en partie basse, à faible altitude (Koniambo, Baco, Poindah, Netchaot) et les tribus installées en hauteurs vers la chaîne (Atéu, Tiaoué, Noelly, Néami) (Illustration 1).

A noter également, les lieux dits de Païamboué, de Goro Pipu, Panaki, Tiakana et Pwarapau.



2 Présentation de la démarche

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

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

L'inventaire des phénomènes 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 (voir annexe 0) : analyse de la rupture (dimension spatiale et temporelle du phénomène) puis celle de la propagation (composante spatiale uniquement).

2.1 Evaluation de la rupture

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

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

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

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

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

2.2 Evaluation de la propagation

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

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

2.3 Evaluation de l'aléa

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

La matrice de croisement entre intensité et atteinte est présentée en Illustration 2. L'aléa est défini suivant 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 Avec l'outil Flow-R (Flow path assessment of gravitational hazards at Regional scale, Horton et al., 2013), Flow-R est un modèle empirique distribué pour l'évaluation de la susceptibilité aux mouvements gravitaires

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

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 Volume compris entre 0,25 et 1 m ³	Moyenne	Elevée	Très élevée		
		Lent (0,005 mm/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

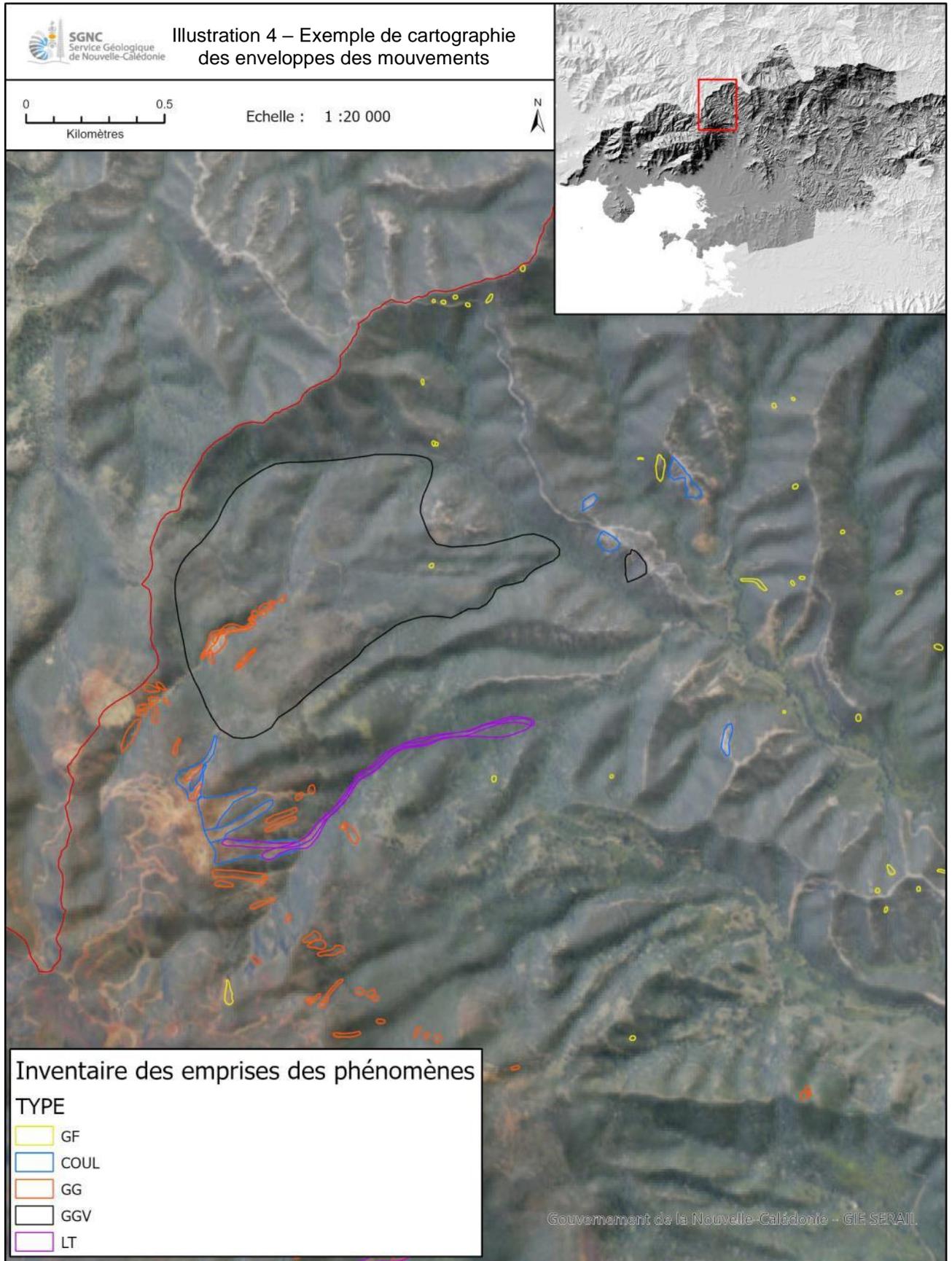
878 évènements ont été recensés sur le territoire communal de Koné et représentés cartographiquement par leur extension (Illustration 4, Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain). Ils se répartissent selon cinq types (Illustration 5, Illustration 6, Annexe 1 – Lexique des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

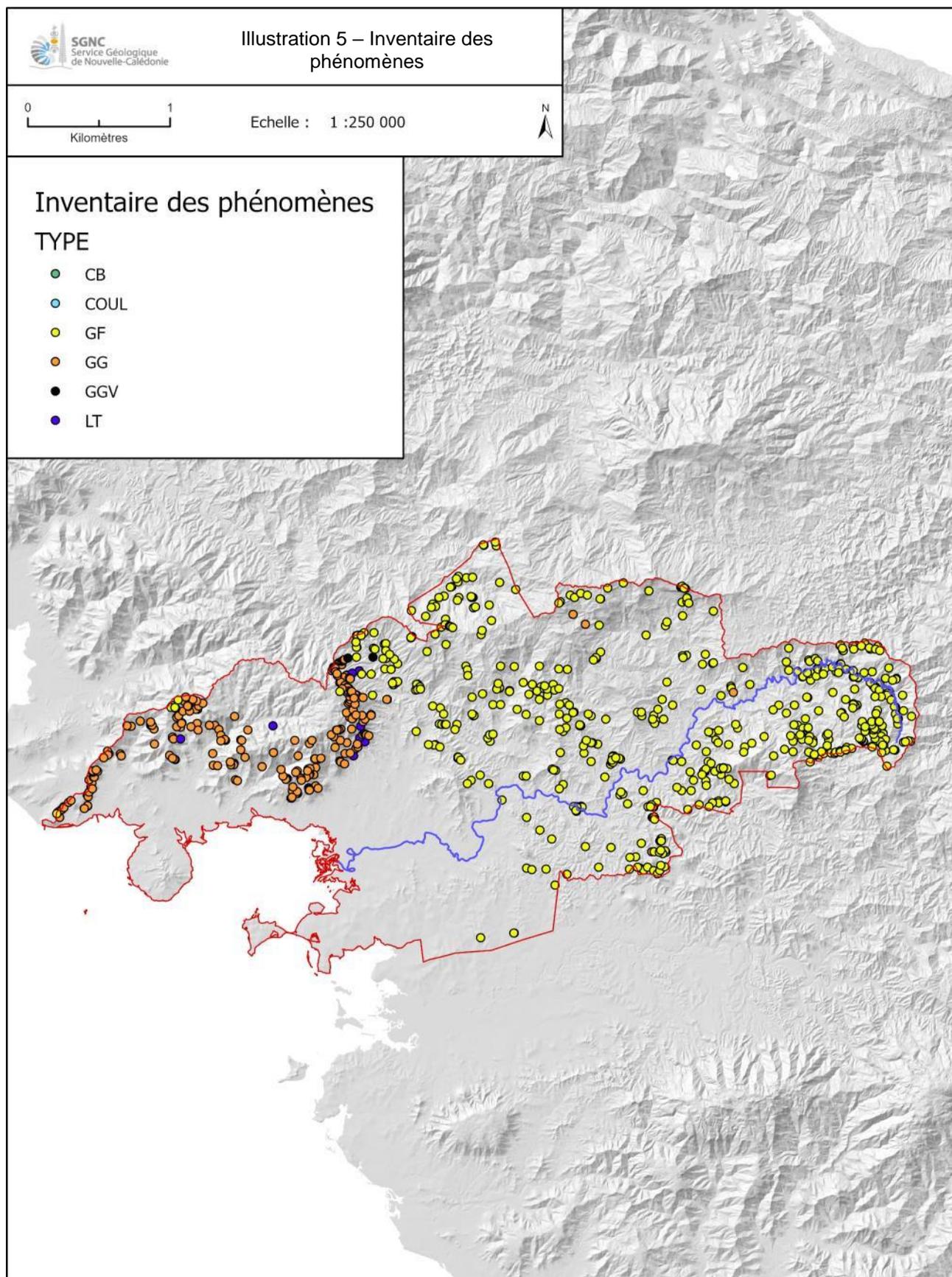
- Les glissements fins (GF) comptent 576 mouvements (66% de l'inventaire) ;
- Les glissements grossiers (GG) comptent 253 mouvements (29%) ;
- Des coulées de matériaux fins et /ou grossiers qui résultent de mécanismes érosifs (ravinement), affectant les zones de décharges minières (36 cas, < 4% des évènements) ;
- La présence de 10 laves torrentielles (LT, 1% des évènements) ;
- Relativement peu de chutes de blocs (CB), deux évènements (< 0,5%), compte tenu de la difficulté à repérer des blocs éboulés par photo-interprétation ;
- Notons également deux grands glissements de versants (GGV, < 0,5% des phénomènes).

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

Temporellement (Illustration 8), près des deux tiers (61%) des évènements recensés sont datés d'avant 1976 (phénomènes repérés sur les images de la campagne 1976). Un quart (24 %) sont qualifiés de récent (de 1976 à 2008). Les 15 % restant sont identifiés entre 2008 et 2023 et sont qualifiés d'« actuels ».

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





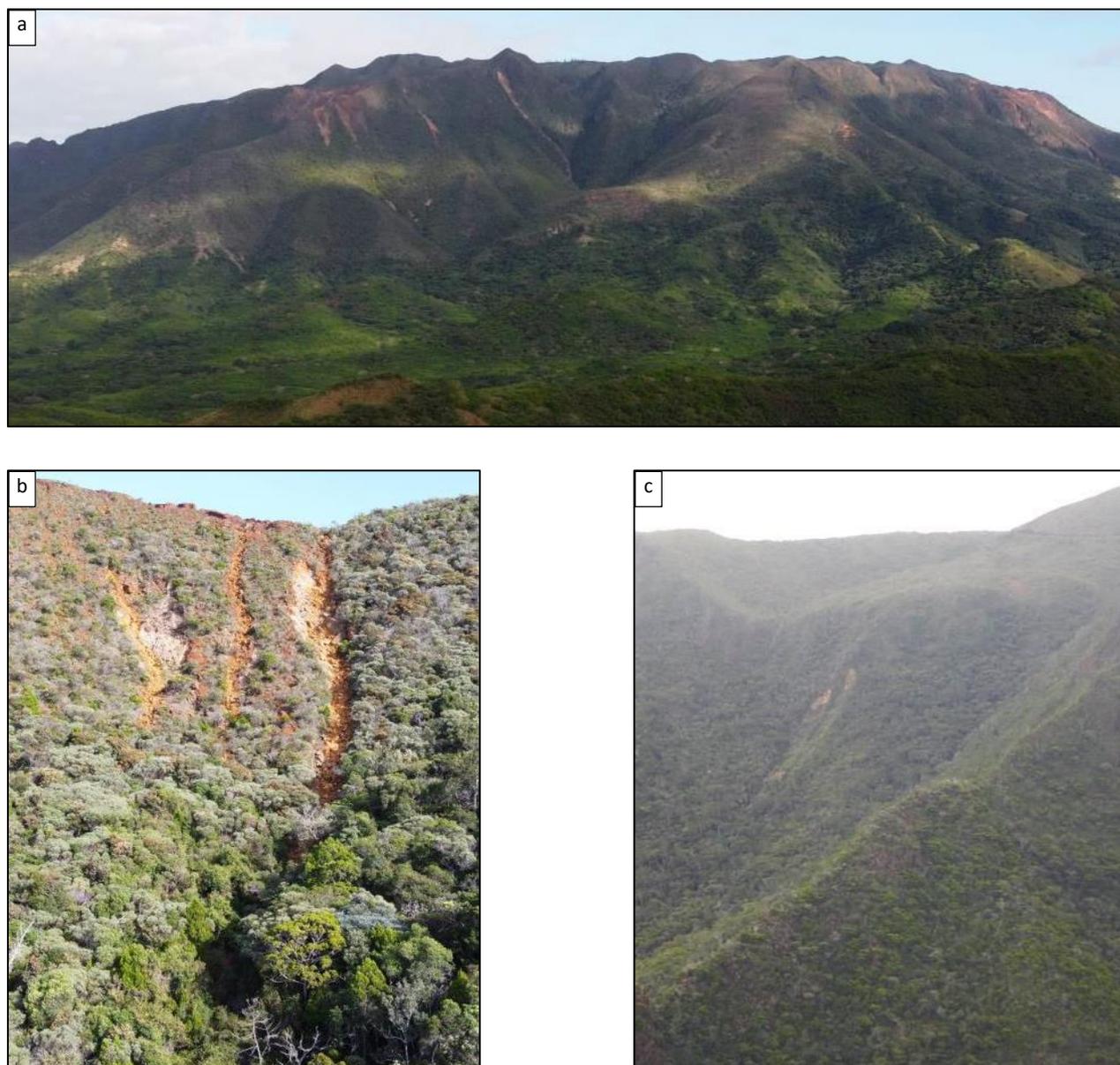


Illustration 6 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat ultrabasique – Koné
a) Vue sur les versants nord-est du massif du Koniambo : LT et GG visibles ;
b) Glissement grossier et tête de LT, vallée du creek Pandanus,
versant péridotitique du massif du Koniambo ;
c) Zones de départ de chute de blocs sur escarpement rocheux, vallée de la rivière Confiance,
massif du Koniambo.

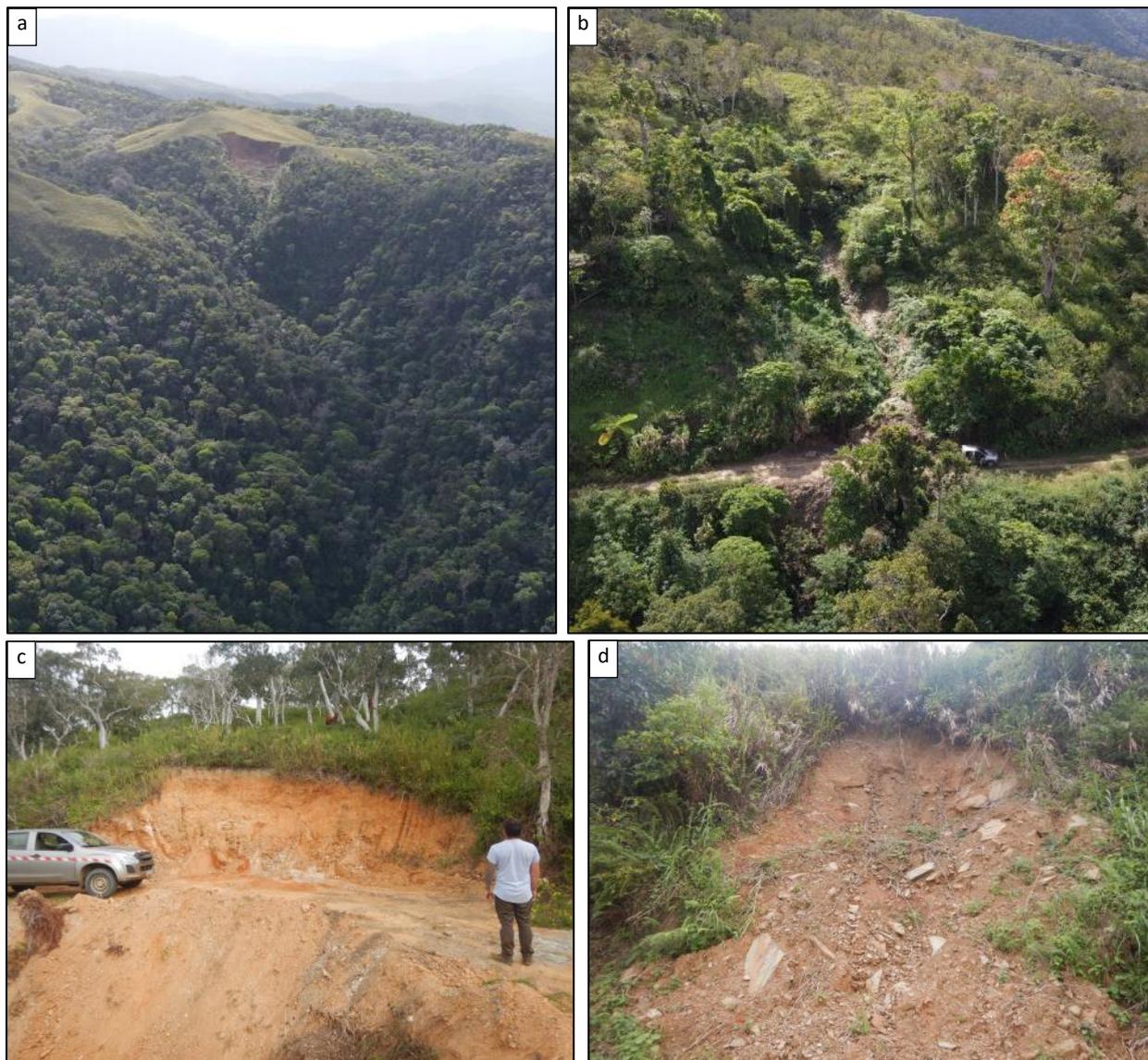


Illustration 7 – Différents types de phénomènes rencontrés sur substrat volcano-sédimentaire - Koné

- a) Vue sur la tête d'une coulée, creek Auté, en amont de la tribu de Néamie ;
- b) Glissement fin, route du captage de la tribu de Néamie ;
- c) Glissement fin, route du captage de la tribu de Néamie ;
- d) Glissement fins, route de la tribu D'Atéu.

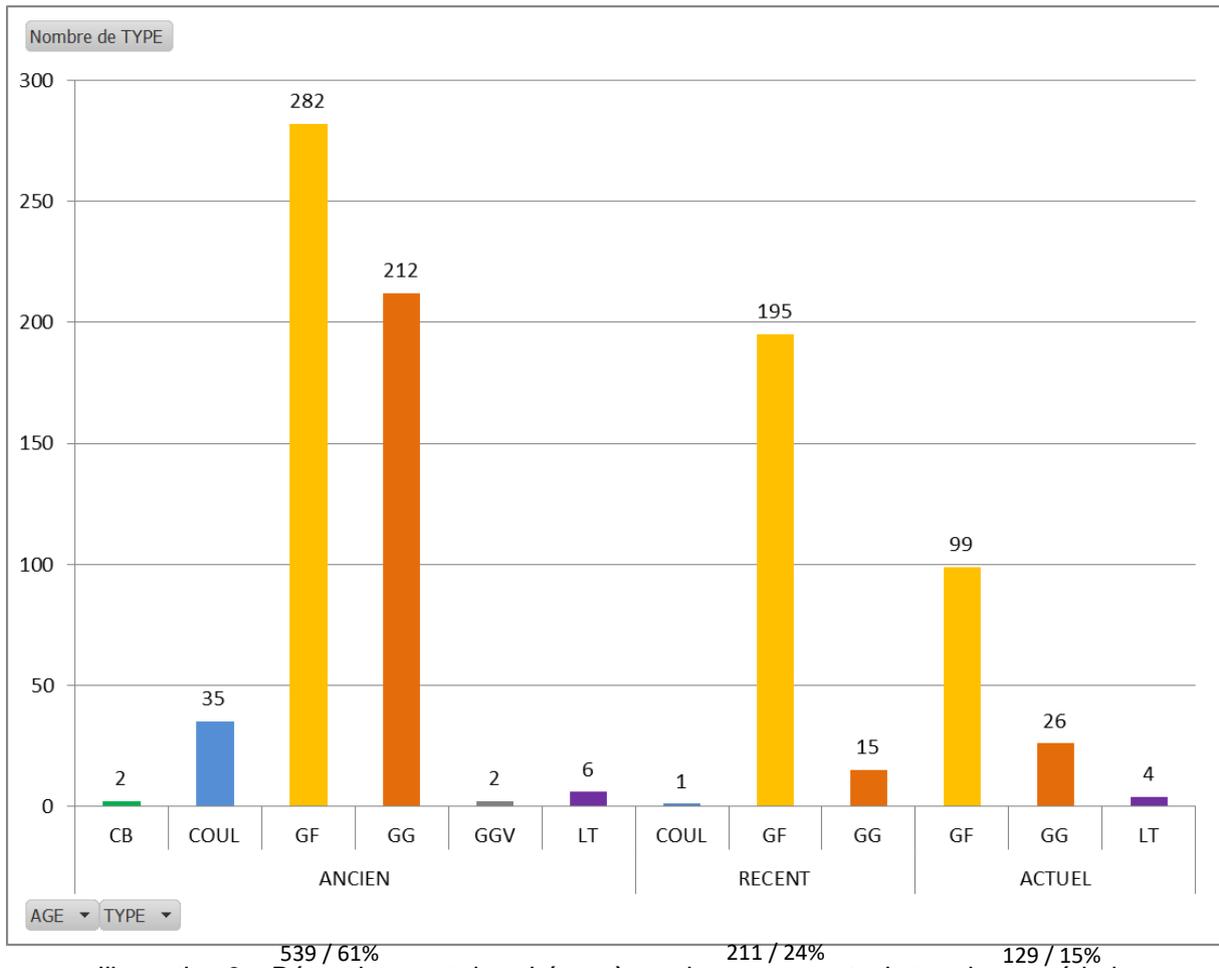


Illustration 8 – Dénombrement des phénomènes de mouvements de terrain par période

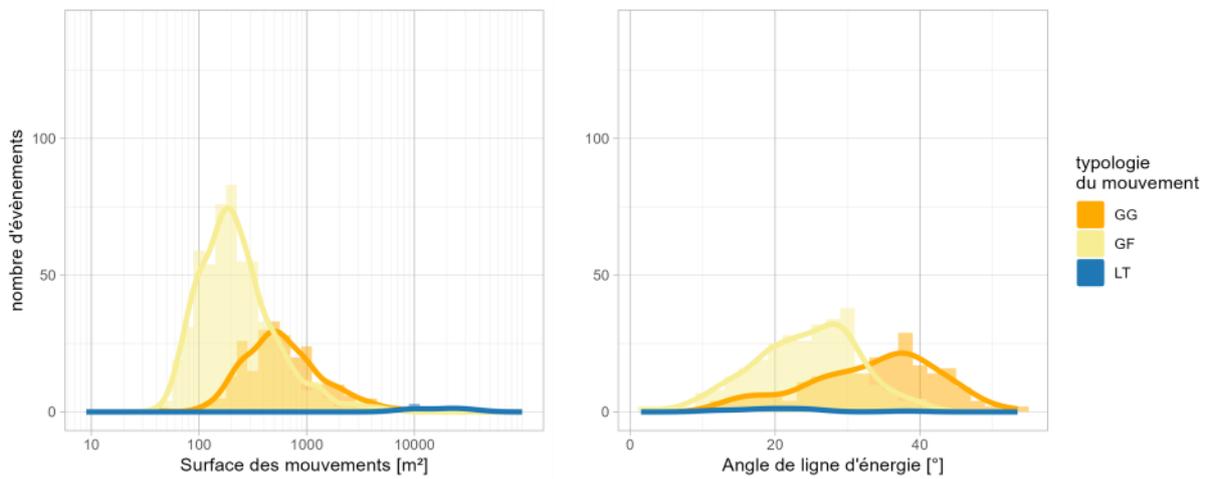


Illustration 9 – Distribution des surfaces [m²] et des valeurs d'angle de ligne d'énergie [°] par typologie de mouvements de terrain

4 Les données nécessaires : variables prédictives

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

4.1 Données géologiques

4.1.1 Le substratum géologique

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

- Les terrains de la séquence ophiolitique (roches magmatiques) : nappe des péridotites et basaltes de Poya, qui constituent un vaste ensemble couvrant près de la moitié ouest (frange littorale) de la commune. Au nord-ouest, la nappe des péridotites correspond au massif du Koniambo associé à sa semelle serpentineuse. Les formations basaltiques de la nappe de Poya s'étendent au pied du Koniambo vers le sud sur la presqu'île de Pinjen, la presqu'île de Foué et la plaine alluviale de la rivière Koné.
- La moitié nord-est de la commune est couverte par les schistes de la formation de la Boghen recoupés par des lames serpentineuses.
- Les terrains du Crétacé supérieur forment une étroite bande entre les formations de la nappe ophiolitique (péridotites et basaltes de Poya) et les schistes de la Boghen.
- Enfin, au sud-est de la commune, on retrouve des formations de l'unité de Ponérihouen-Goipin.

Notons enfin, de façon très limitée, la présence de faciès du flysch éocène associés aux formations du Crétacé supérieur au niveau du pic Koné.

4.1.2 Les formations superficielles du régolithe

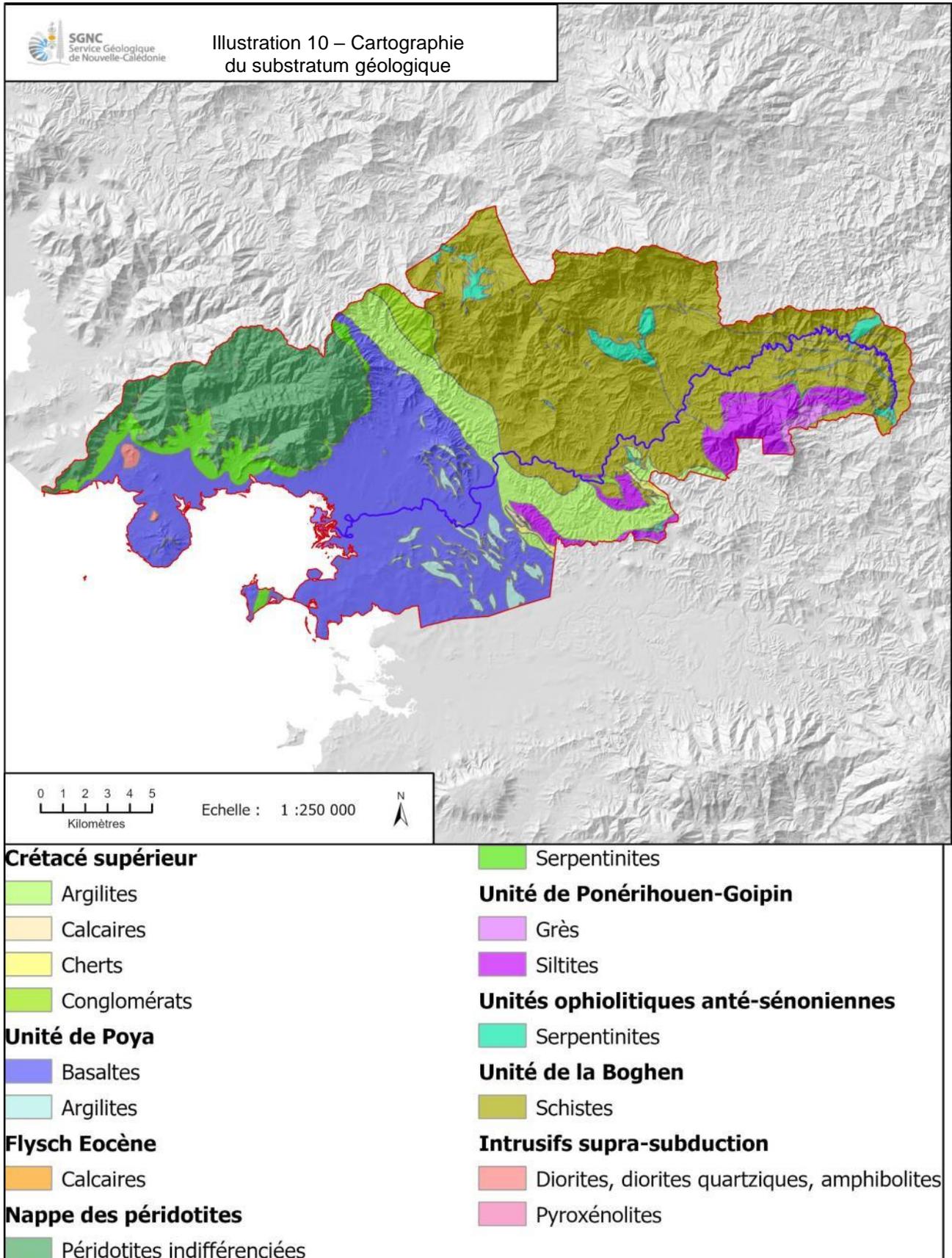
Un des traits caractéristiques des paysages calédoniens est la présence généralisée d'un couvert d'altération. L'ensemble de ces formations superficielles est désigné par le terme de « régolithe » pour lequel sont typiquement distinguées les formations en place, ou autochtones, et les formations remaniées,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

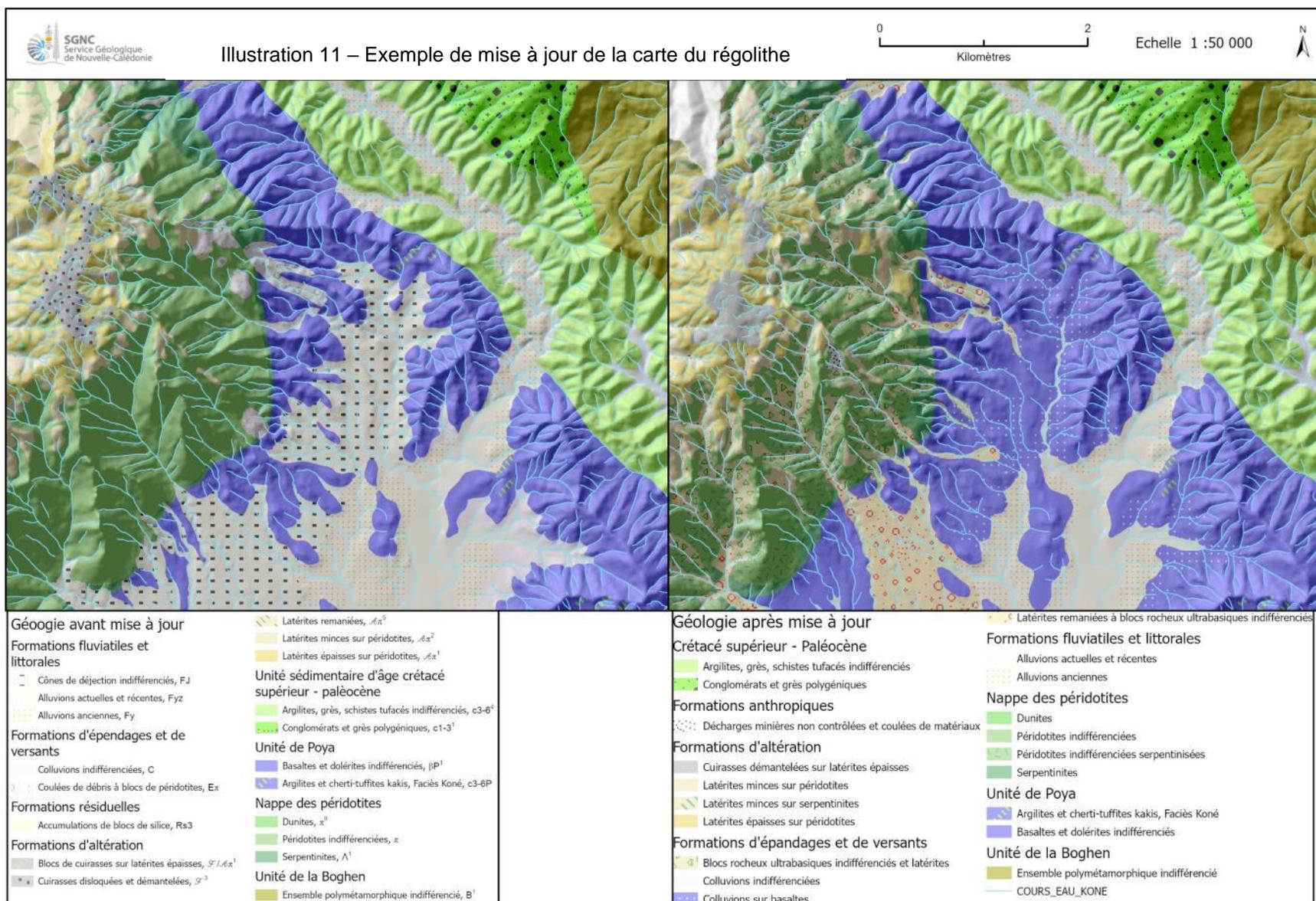
- Massifs péridotites : sur substrat péridotitique, le régolithe regroupe l'ensemble des faciès du profil d'altération, depuis la saprolite rocheuse jusqu'aux cuirassements ferrugineux en place, pour lesquels il n'y a pas ou peu eu de phase de transport gravitaire, hormis des tassements verticaux pour certains horizons latéritiques

rouges. Des épaisseurs de l'ordre de la dizaine de mètres sont courantes et des épaisseurs maximales de 40 m sont connues au niveau des plateaux du sud de la Grande Terre.

- Formation volcano-sédimentaire : Le maître mot de l'altération sur le substrat volcano-sédimentaire est l'argilitisation, qui affecte également les faciès sédimentaires et volcaniques et conduit à la formation d'un profil peu épais, 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 11) qui permet de discriminer les formations autochtones (FAU) des formations allochtones (FAL) et selon la nature des terrains.





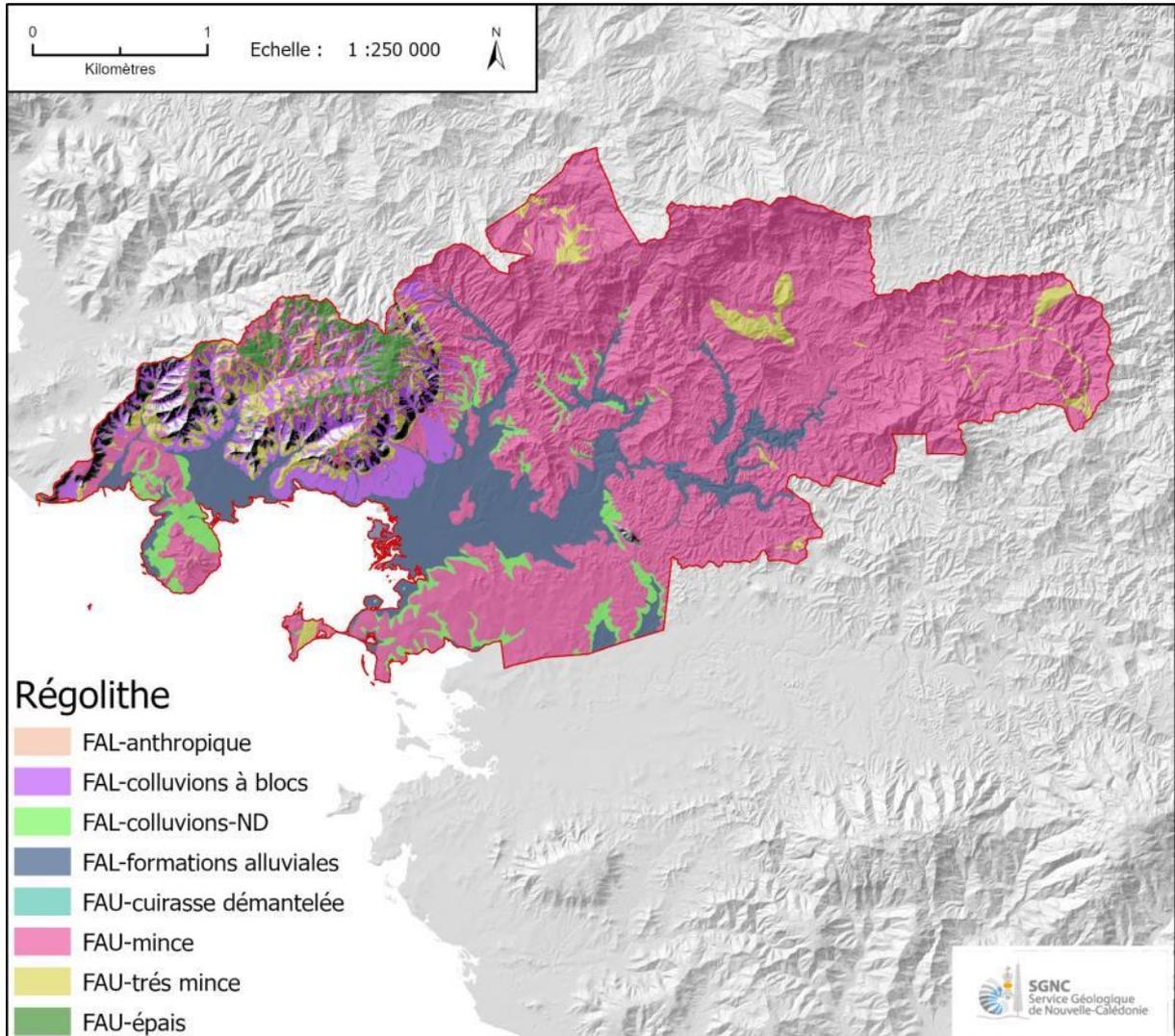


Illustration 12 – Cartographie des classes de formations du régolithe sur la commune de Koné

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 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).

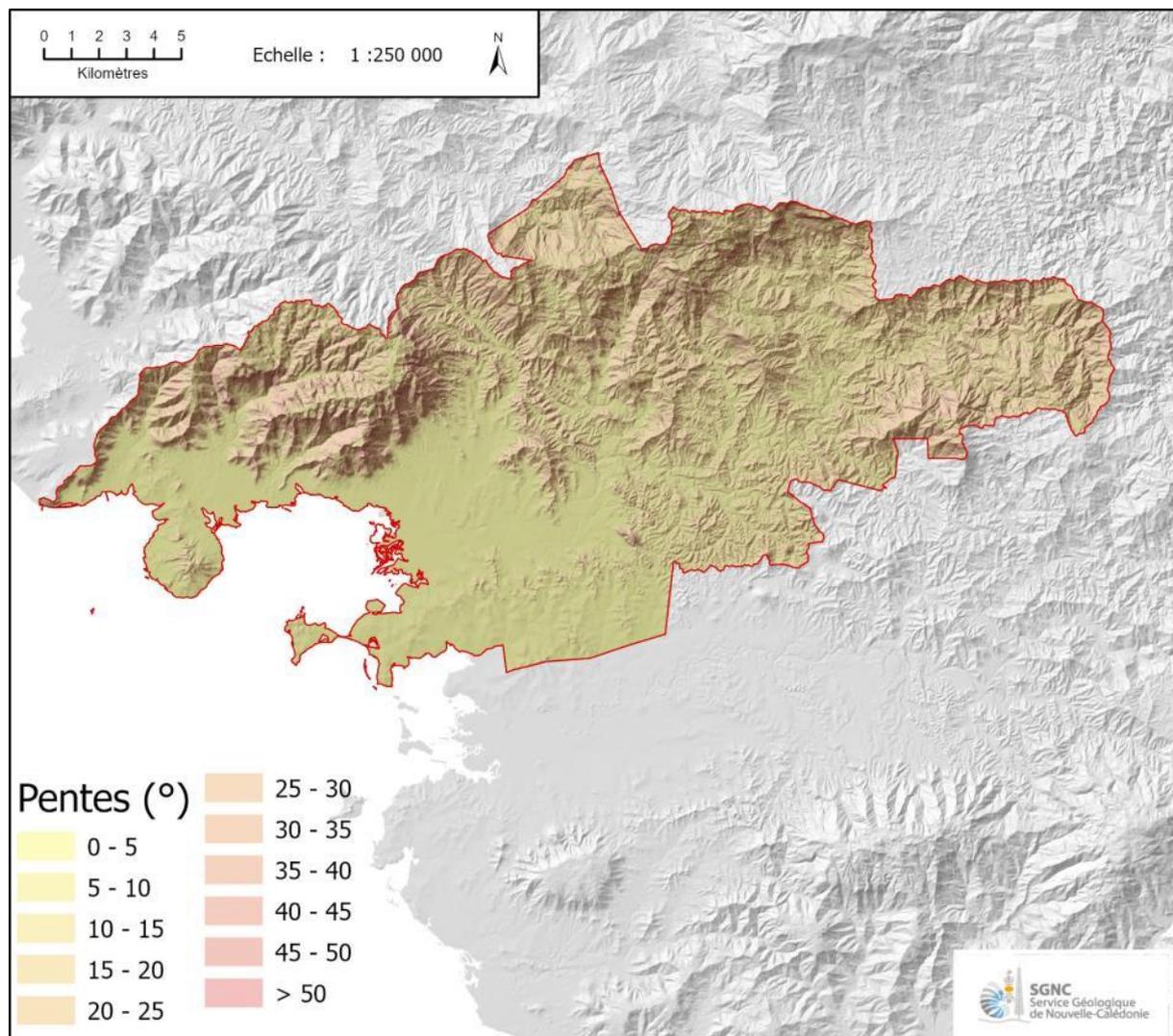


Illustration 13 – Cartographie des classes de pentés sur la commune de Koné

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.

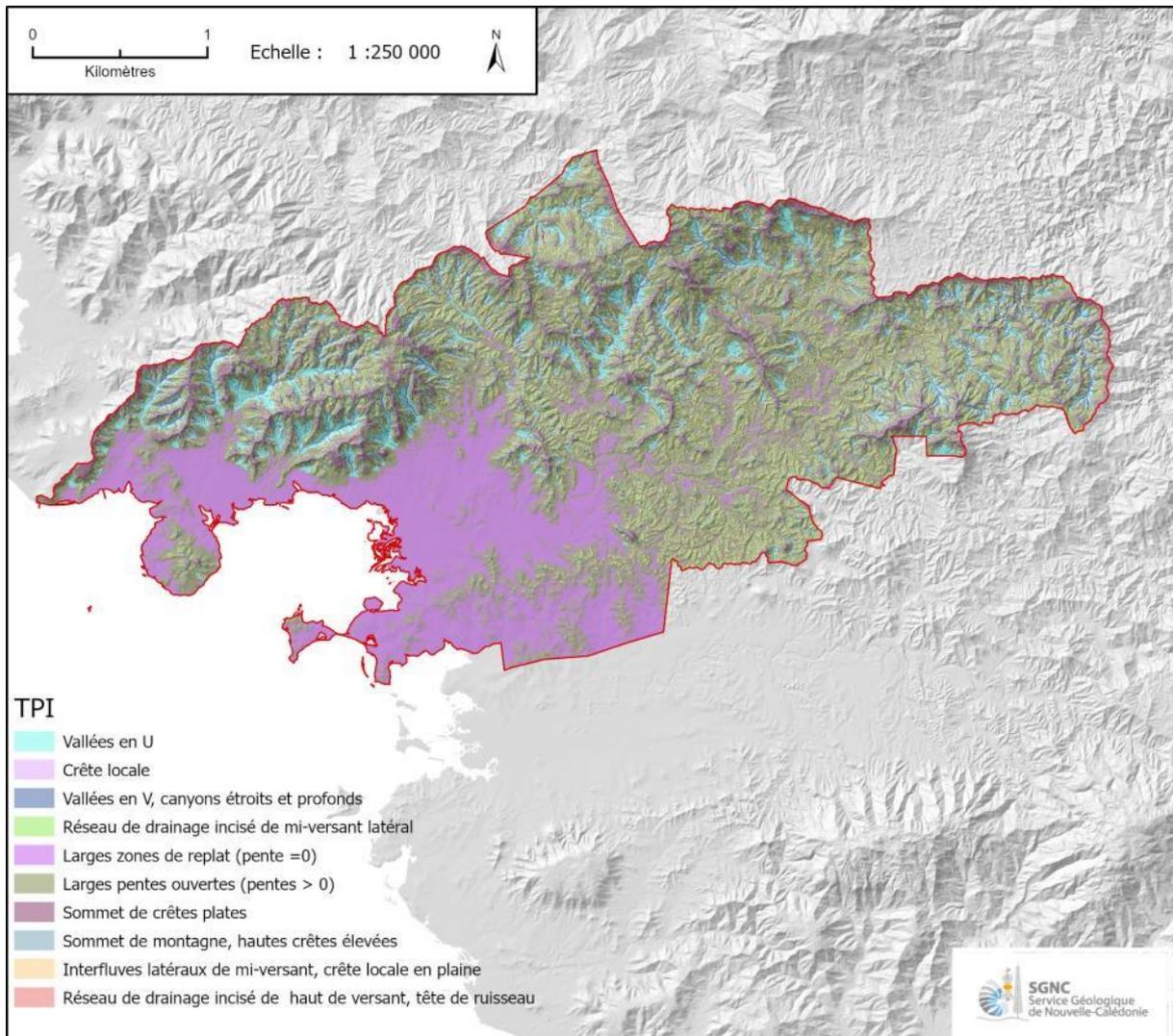


Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Koné

4.2.3 Landform

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

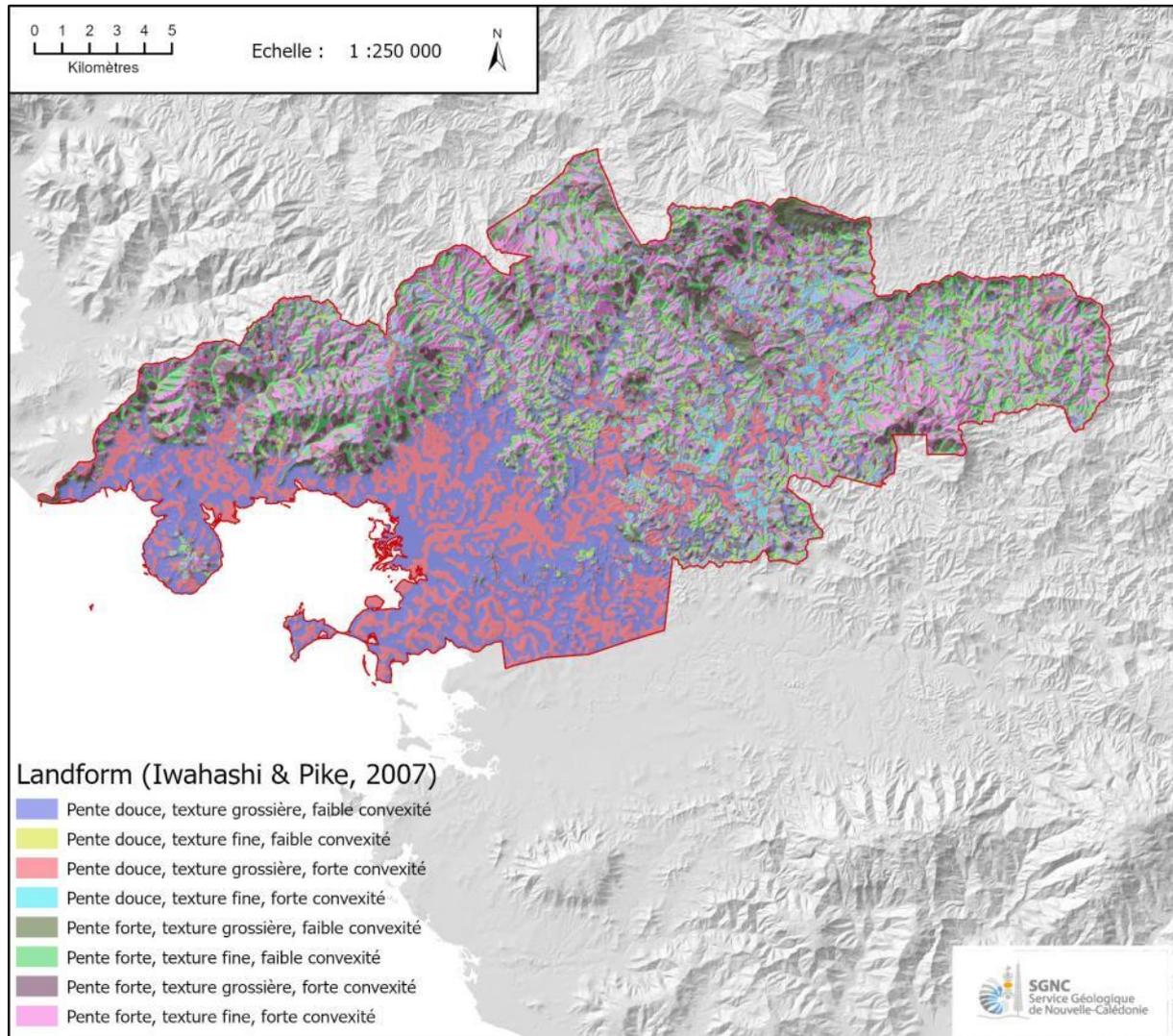


Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (*Landform*) sur la commune de Koné

5 Résultats

5.1 Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

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

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

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

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

Ainsi, 77% du territoire communal est exposé à un aléa mouvement de terrain non négligeable (Illustration 24) et le tiers de la commune (34%) est concerné par un aléa Modéré à Elevé :

- L'aléa élevé concerne essentiellement les versants et les axes de talwegs du massif du Koniambo. Des niveaux d'aléa élevé sont également associés aux laves de serpentinites au nord-est de la commune. Ce niveau d'aléa est dû aux laves torrentielles et glissements grossiers. A noter que l'aléa se prolonge en forme de cône dans les axes des talwegs du fait de la propagation des laves torrentielles ;
- L'aléa modéré affecte les pieds de versant du massif du Koniambo ainsi que les versants sur substratum volcano-sédimentaire par ailleurs au nord et à l'est de la commune ;
- le niveau d'aléa mouvements de terrain est considéré nul à négligeable au sein des larges plaines alluviales de la rivière Koné.

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

- Les zones d'aléa chutes de blocs et éboulement (Illustration 20) de niveau modéré couvrent 4% de la commune et sont principalement réparties sur les versants en domaine ultrabasique (péridotites) du massif du Koniambo ;
- Les glissements fins de niveau faible et modéré (52%, Illustration 21) concernent essentiellement le substrat volcano-sédimentaire à l'est de la commune ;
- Les glissements grossiers de niveau modéré et élevé (14%, Illustration 22) sont particulièrement présents sur les versants du massif du Koniambo et également au niveau des laves de serpentinites présentes au nord et à l'est de la commune ;
- Les laves torrentielles de niveau modéré et élevé (7%, Illustration 23) sont particulièrement présentes dans les axes des talwegs sur les versants du Koniambo.

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km ²)	Nul à négligeable	265.91	101.54	144.46	345.27	86.32
	Très faible	28.69	76.49	144.38	2.37	46.17
	Faible	21.25	118.92	56.59	5.90	110.40
	Modéré	35.09	72.46	20.75	15.04	106.83
	Elevé	18.48	-	3.23	-	19.69
<i>Surface totale soumise à aléa</i>		103.50	267.88	224.95	23.31	283.09
<i>% de la commune soumis à aléa</i>		28%	73%	61%	6%	77%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	72%	27%	39%	94%	23%
	Très faible	8%	21%	39%	1%	12%
	Faible	6%	32%	15%	2%	30%
	Modéré	9%	20%	6%	4%	29%
	Elevé	5%	0%	1%	0%	5%

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

5.2 Validation des résultats

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

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

5.2.1 Rétro-analyse : aléa de rupture

L'analyse est menée en calculant (

Type phénomène	GG	GF	LT	Tous
Nombre de phénomènes	253	576	10	839
Nombre de rupture moyenne à très forte	214	383	5	602
Nombre de rupture nulle à négligeable	5	48	1	54
Taux de reconnaissance	85%	66%	50%	72%
Taux de non-reconnaissance	2%	8%	10%	6%

Illustration 17) :

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

Type phénomène	GG	GF	LT	Tous
Nombre de phénomènes	253	576	10	839
Nombre de rupture moyenne à très forte	214	383	5	602

Nombre de rupture nulle à négligeable	5	48	1	54
Taux de reconnaissance	85%	66%	50%	72%
Taux de non-reconnaissance	2%	8%	10%	6%

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

Le taux de reconnaissance calculé est très élevé (> 80%) pour les glissements grossiers et un peu plus faible 66% pour les glissements fins. Le taux de reconnaissance est tout juste de 50% pour les laves torrentielles. Ce faible taux s'explique par le faible nombre d'évènements de type LT recensés sur Koné (dix évènements uniquement) ce qui affecte l'approche statistique déployée.

Les évènements recensés mais « non reconnus » représentent 2% des GG, valeur très satisfaisante. La valeur de non-reconnaissance est plus élevée pour les GF et les LT avec respectivement 8% et 10%. Ces valeurs plus importantes peuvent s'expliquer par la qualité localement médiocre du modèle numérique de terrain exploité.

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

5.2.2 Rétro-analyse : enveloppes globales

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

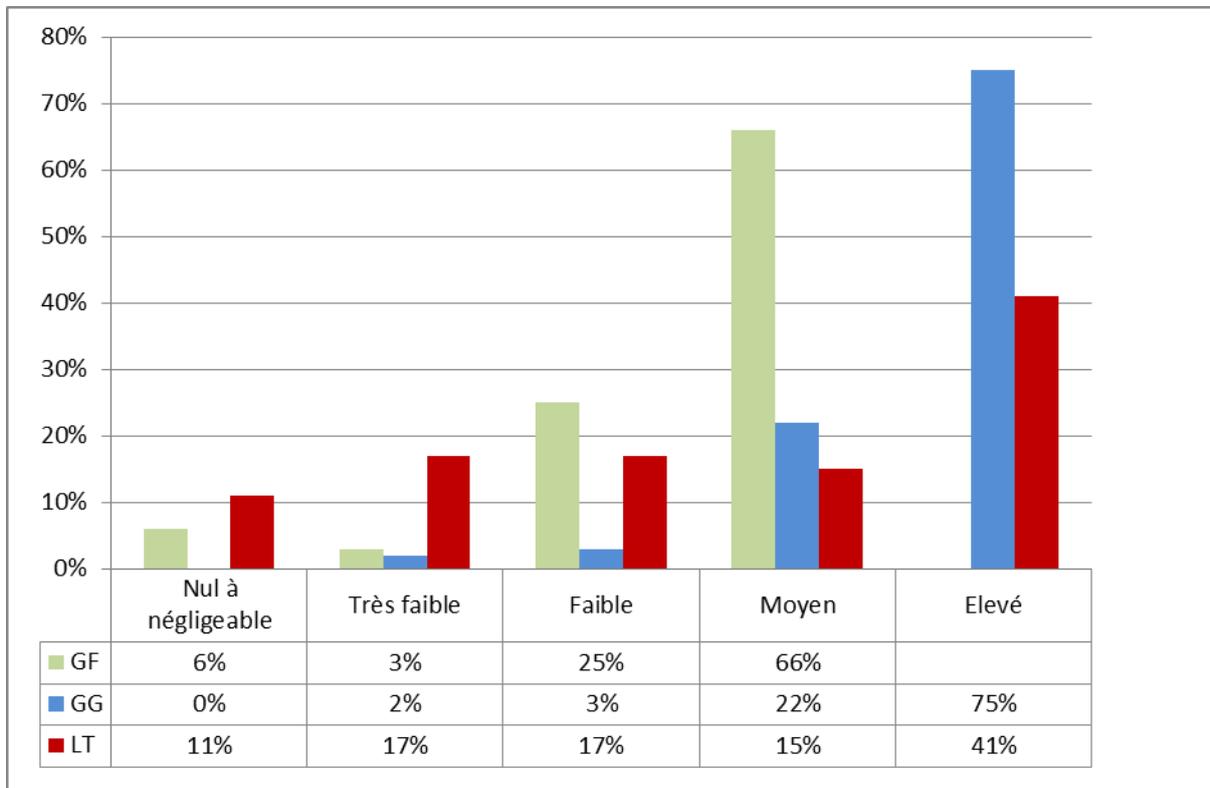


Illustration 18 – Taux de reconnaissance des évènements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa finale pour chaque de phénomène

Cette analyse montre un pourcentage de phénomènes reconnus croissant avec le niveau d'aléa. Ainsi, les taux de reconnaissance sont jugés très satisfaisants avec :

- 75% des GG reconnus qui se retrouvent en zone d'aléa élevé et 22% en aléa modéré ;
- 66% des GF en aléa modéré ;
- 41% des LT en aléa élevé et 15 % en aléa modéré.

Néanmoins, 11% des emprises de LT sont cartographiées en zone d'aléa de niveau « 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 évènements 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 et 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.

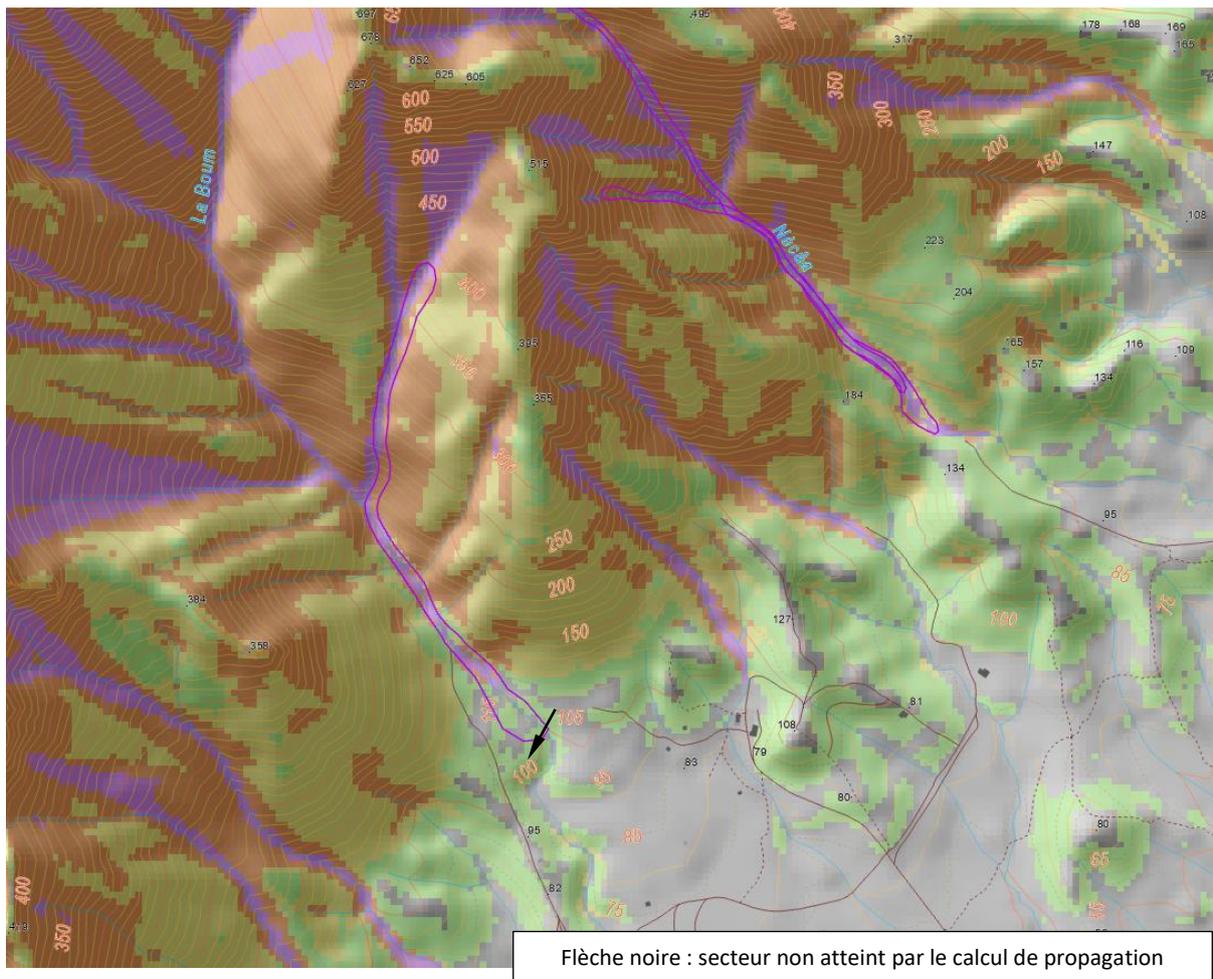
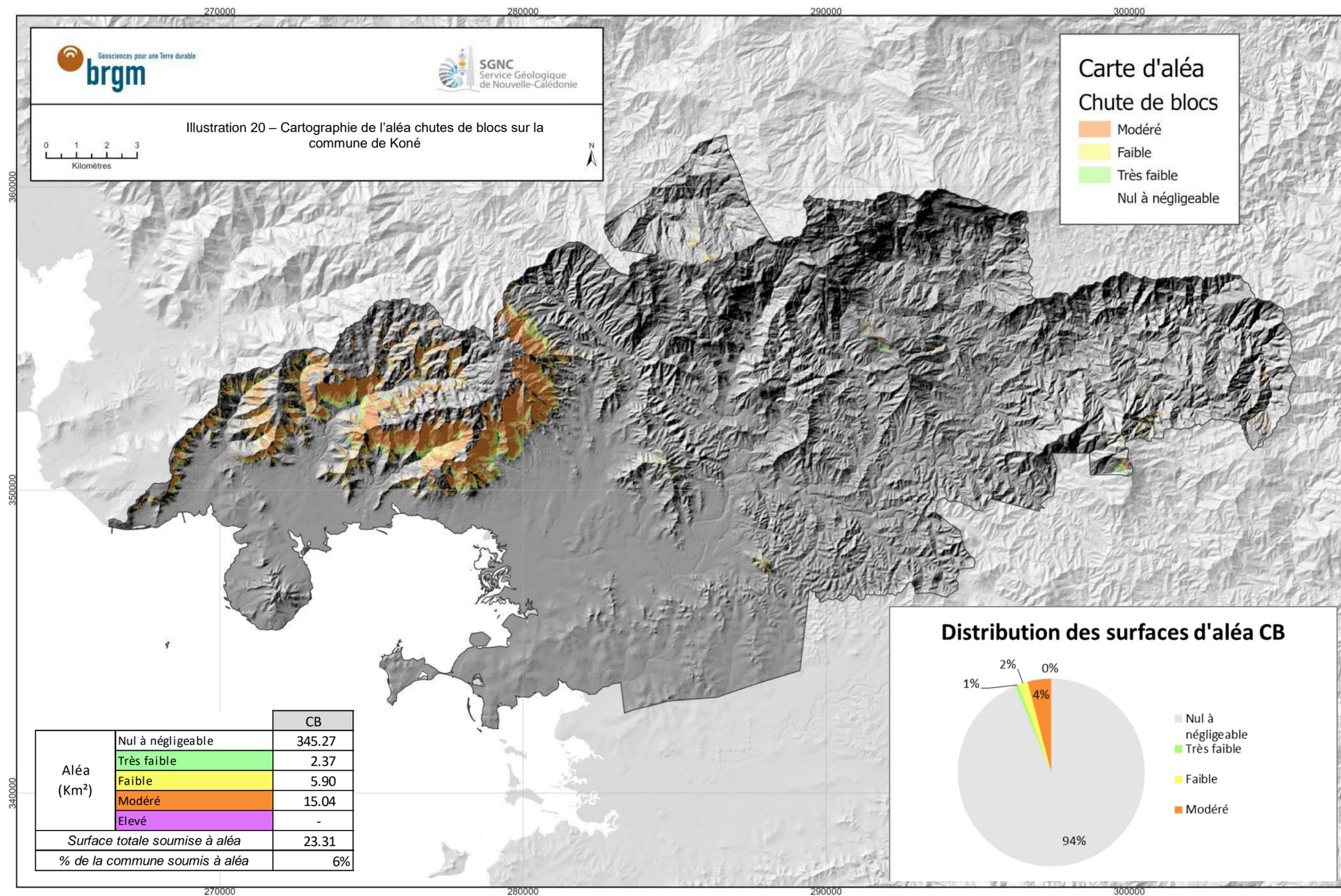
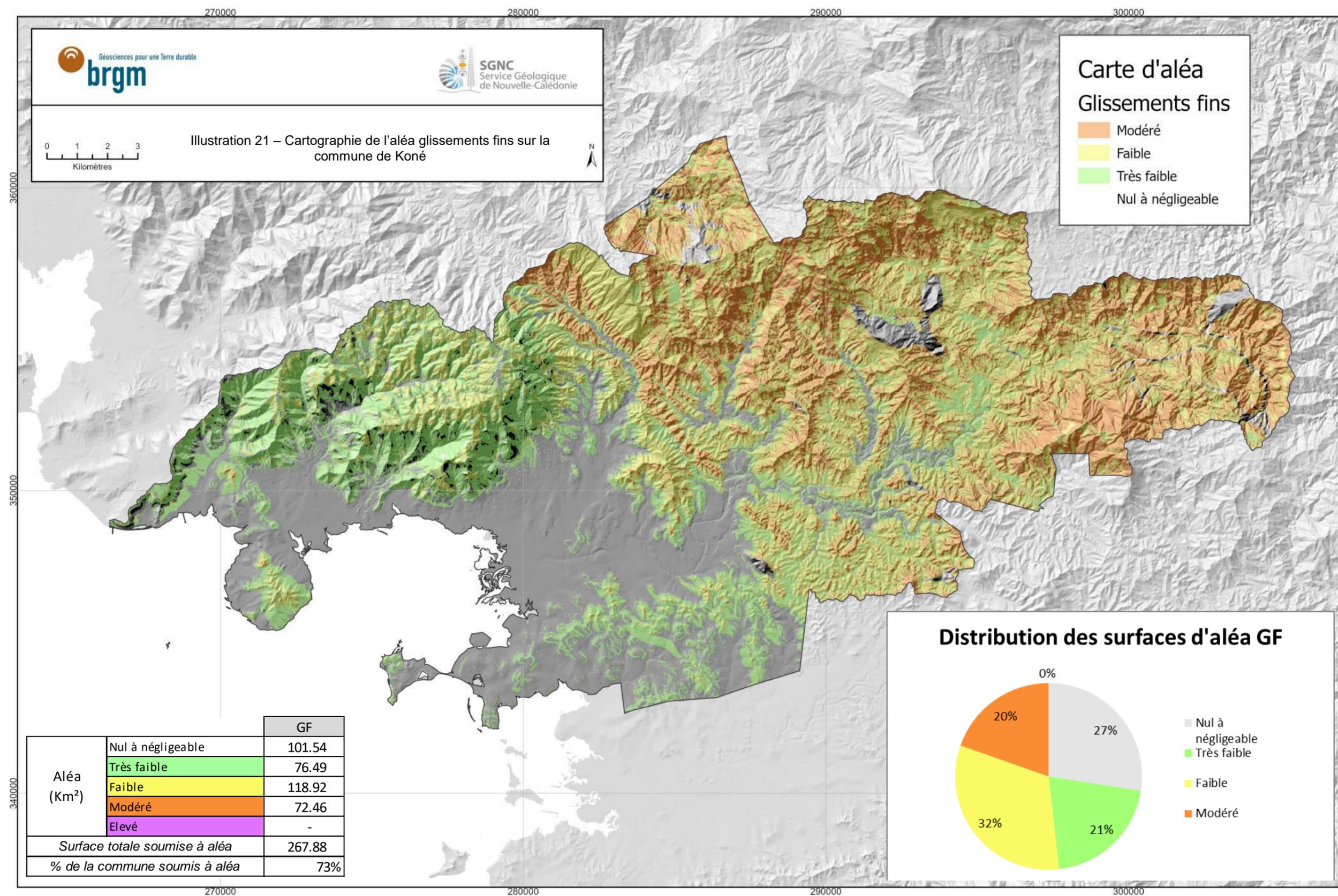
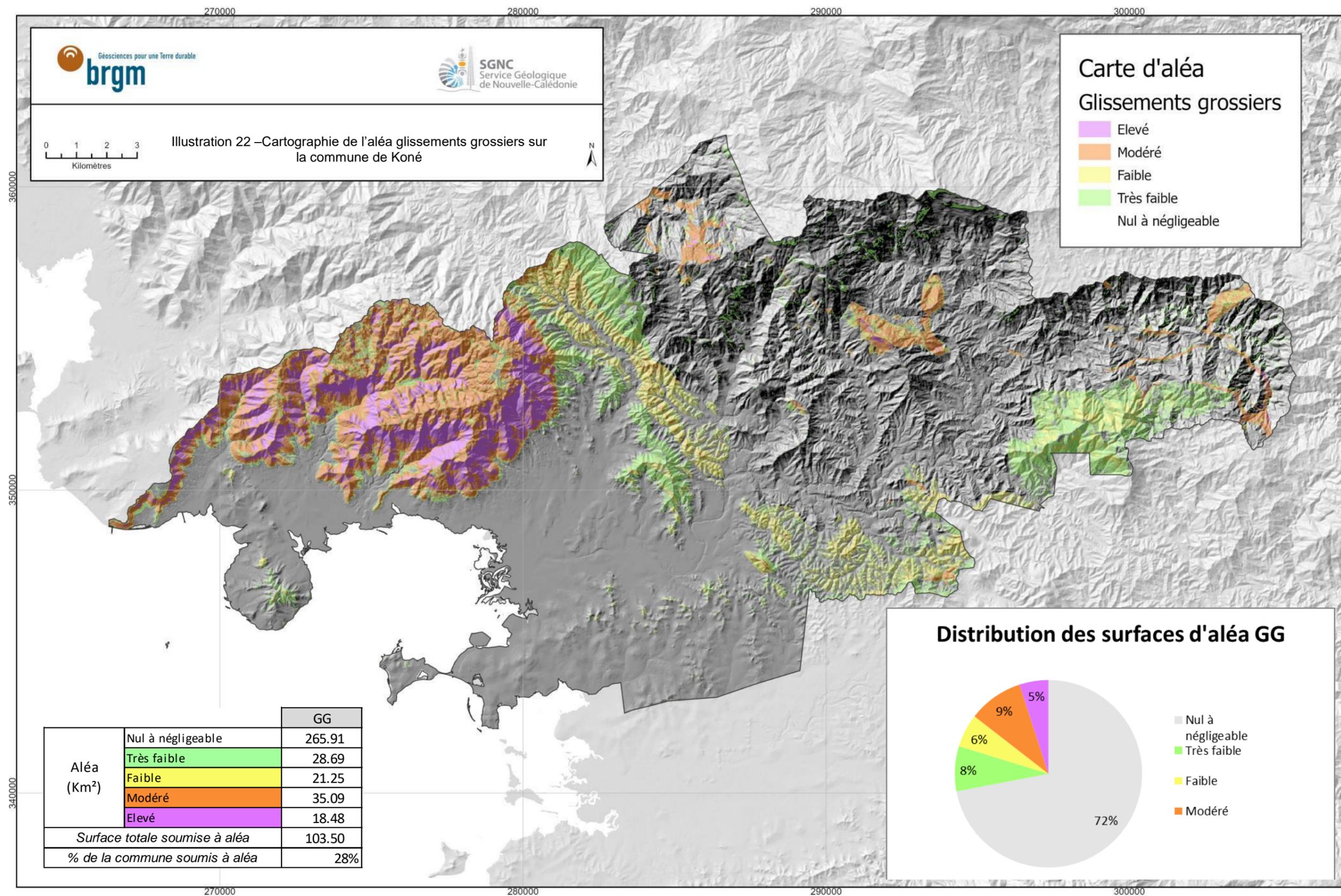
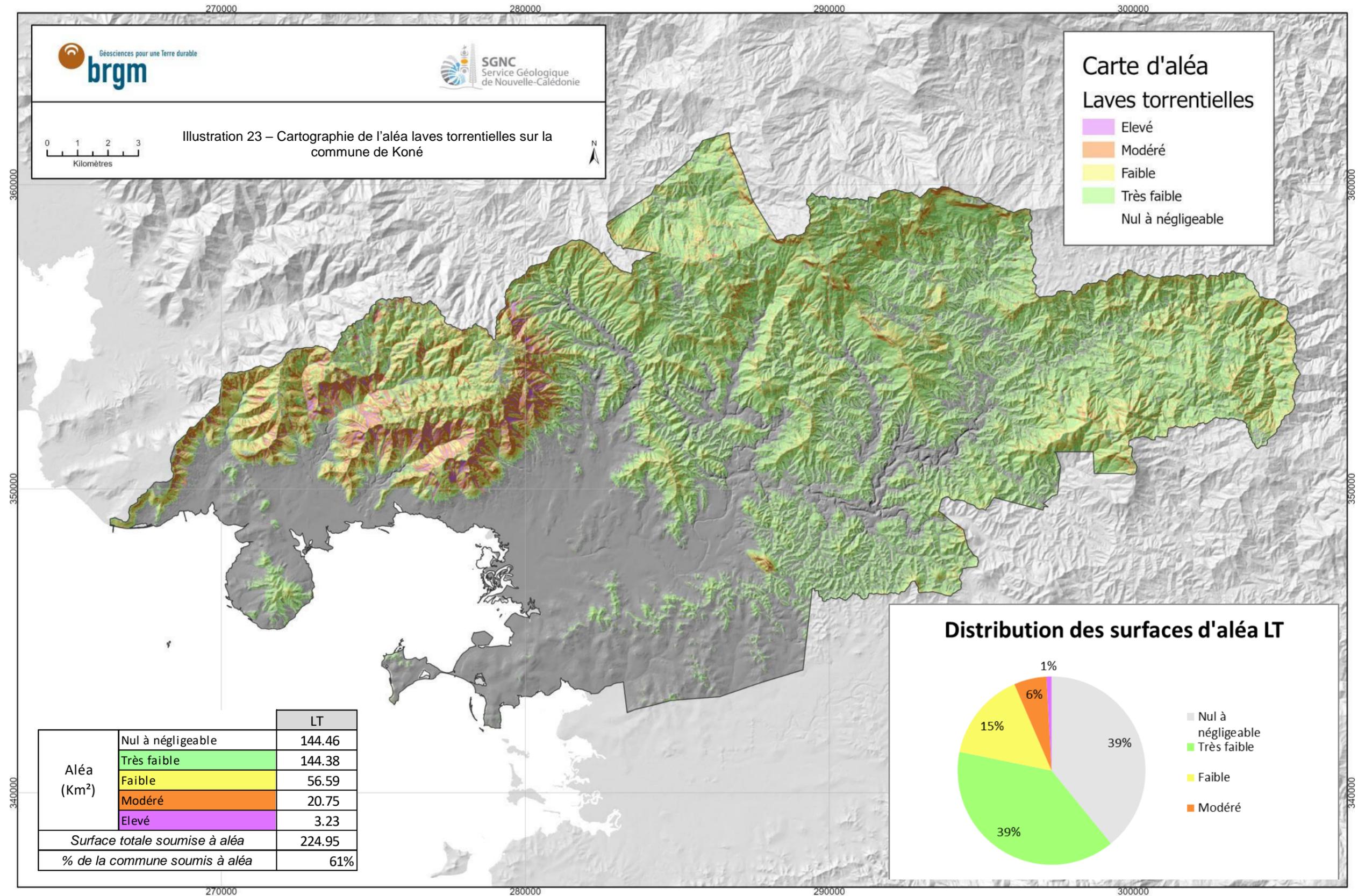


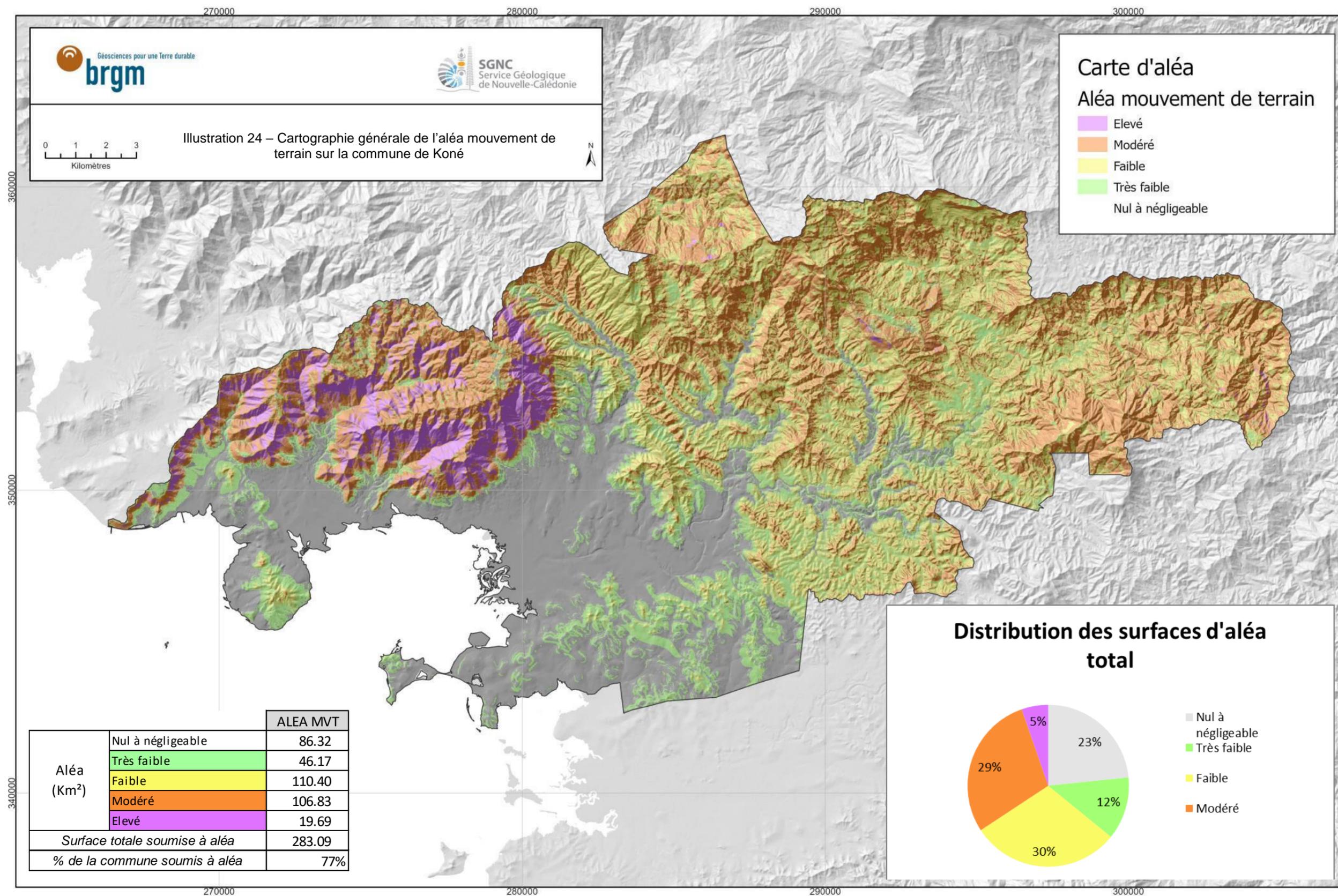
Illustration 19 – Propagation de LT hors emprise de zone soumise théoriquement à aléa











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, environ 1% (soit 101 bâtiments) est concerné par un niveau d'aléa qualifié de modéré, tous phénomènes confondus. Cette estimation est à rapprocher des 34% 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.

Niveau d'aléa	Nombre de bâtiment	Pourcentage du parc bati
Elevé	-	0.0%
Modéré	101	1%
Faible	1 065	14%
Très faible	1 633	22%
Négligeable	4 681	63%
Total	7 480	100%

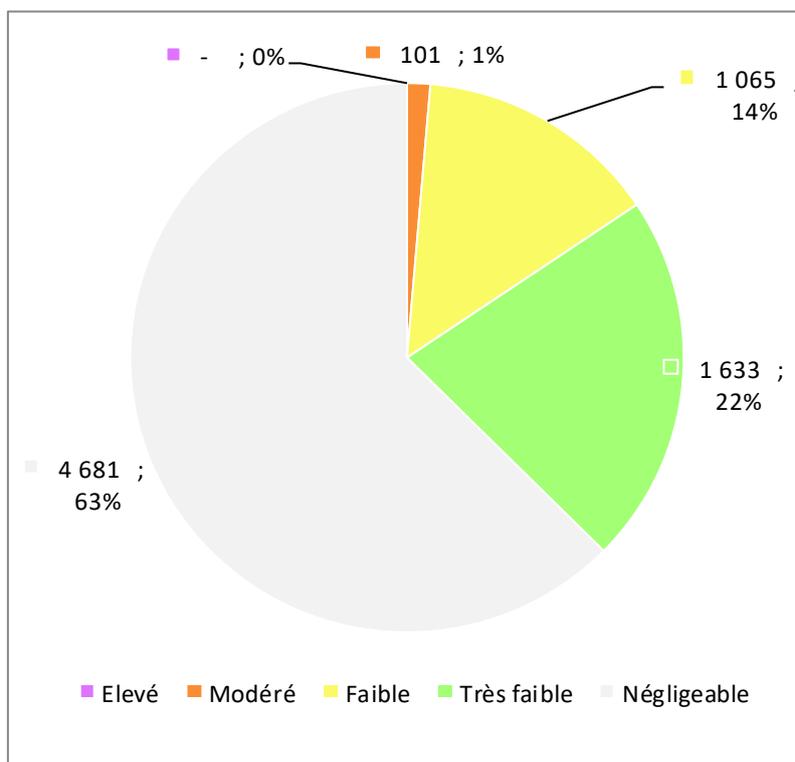


Illustration 25 – Exposition des constructions à l'aléa mouvements de terrain sur la commune de Koné

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 Koné s'inscrit dans le cadre d'un programme pluriannuel portant sur quinze communes de Nouvelle-Calédonie. Cette démarche contribue également à la politique publique de gestion des risques du gouvernement de Nouvelle-Calédonie.

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

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

- d'un effort important de cartographie des formations superficielles (régolithe) et
- d'un inventaire particulièrement conséquent des phénomènes d'instabilité recensés et décrits suivant leur type :
 - GF : Glissement dans des matériaux fins (576 évènements, 66% des cas)
 - GG : Glissement dans des matériaux grossiers (253 évènements, 29%)
 - COUL : Coulée sur anciennes décharges minières (36 évènements, <4%)
 - LT : Lave torrentielle (10 évènements, 1%)
 - CB : Chute de blocs (2 évènements, <1%).

Près des deux tiers (61%) des phénomènes sont datés d'avant 1976. Un quart (24%) des évènements sont identifiés entre 1976 et 2008 et les 15% restant sont datés entre 2008 et 2023.

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 de phénomène mouvement de terrain dans le futur.

Au final, une carte d'aléa « Mouvement de terrain » est produite en agrégeant les cartes d'aléa par phénomène. La synthèse des résultats à l'échelle communale montre que la commune est concernée par l'aléa mouvement de terrain sur 77% de son territoire, les niveaux d'aléa élevé et modéré couvrant respectivement 5% et 29% de la commune.

Pour autant, seul 1% des constructions est concerné par un niveau d'aléa qualifié de modéré, tous phénomènes confondus. Autrement dit, l'implantation actuelle des constructions a préférentiellement évité les zones les plus exposées aux instabilités. Le développement des zones d'habitation ayant bénéficié de la place disponible offerte par les larges zones de plaine alluviale.

Ce programme de cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » est la première étape d'une politique publique de gestion des risques : 1) « Connaissance de l'aléa, du risque du territoire » (Illustration 26). Il permet en outre 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 connaissance des risques dans l'aménagement (4) au travers par exemple d'un porté à connaissance ou de schéma d'aménagements (dont PUD) ;
- La réduction de la vulnérabilité (5) ;
- La préparation de l'organisation des secours (6) avec le Schéma Directeur d'Analyse et de Couverture des Risques (SDACR) et les Plans Communaux de Sauvegarde (PCS).
- Enfin, la prise en compte du retour d'expérience (7) alimentera nos bases de données et affinera notre démarche.

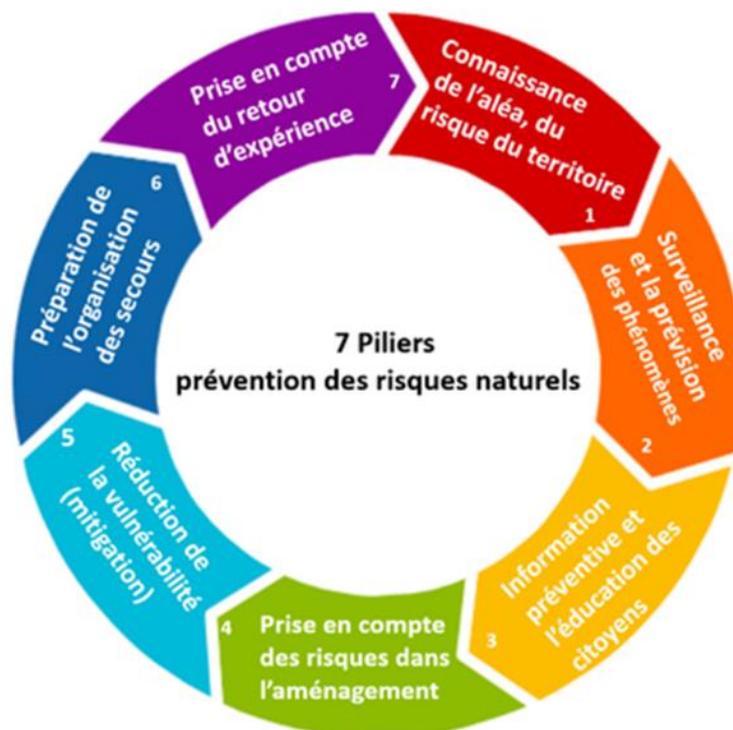


Illustration 26 – Les 7 piliers de la prévention des risques naturels, au service de la Politique Publique de Gestion des Risques (PPGR) en Nouvelle-Calédonie

7 Bibliographie

7.1 Guides

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

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

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

7.2 Rapports

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

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

7.3 Documents académiques

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

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

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