

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

Rapport final

**BRGM/RP- 73532-FR
DIMENC SGNC-2024(04)
Avril 2024**

Document public

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

Rapport final

BRGM/RP-73532-FR

DIMENC SGNC-2024(04)
Avril 2024

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

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

Vérificateur :

Nom : S. Gourdier

Fonction : Ingénieur
géotechnicien

Date : 21 mars 2024

Signature :



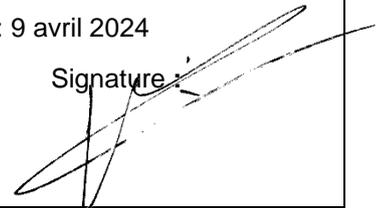
Approbateur :

Nom : V. Mardhel

Fonction: Directeur Antenne
Nouvelle Calédonie

Date : 9 avril 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, Dumbéa

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

Colas B., Thiery Y., Guyomard Y., Mengin M., Prémaillon M., Edet M., Monge O. (2024) – Cartographie de l'aléa mouvement de terrain. Commune de DUMBEA (Nouvelle Calédonie). Echelle 1:25 000^{ème}. Rapport final. BRGM/RP-73532-FR DIMENC SGNC 2024(04), 45 p., 25 illustrations, 7 annexes.

© BRGM, 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

SYNTHESE

Lors des évènements météorologiques intenses de novembre 2016, la commune de Houaïlou 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-72236-FR / DIMENC/SGNC-2022(20)). 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 DUMBEA :

- 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.....	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	89
8.5	Annexe 5 – Application sur la commune de DUMBÉA.....	95
8.6	Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain	105
8.7	Annexe 7 – Atlas cartographiques : aléa mouvement de terrain	107
	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	12
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 Dumbéa (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 (massif du Sud)	20
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 Dumbéa	27
Illustration 13 – Cartographie des classes de pentes sur la commune de Dumbéa	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 Dumbéa	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 – Répartition des enveloppes des événements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa évaluée par phénomène.....	34
Illustration 19 – Cartographie de l'aléa chutes de blocs sur la commune de Dumbéa	35
Illustration 20 – Cartographie de l'aléa glissements fins sur la commune de Dumbéa.....	36
Illustration 21 – Cartographie de l'aléa glissements grossiers sur la commune de Dumbéa	37
Illustration 22 – Cartographie de l'aléa laves torrentielles sur la commune de Dumbéa	38
Illustration 23 – Cartographie générale de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Dumbéa	39
Illustration 24 – Exposition des constructions à l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Dumbéa	41
Illustration 25 – Les 7 piliers de la prévention des risques naturels, au service de la Politique Publique de Gestion des Risques (PPGR) en Nouvelle-Calédonie.....	44

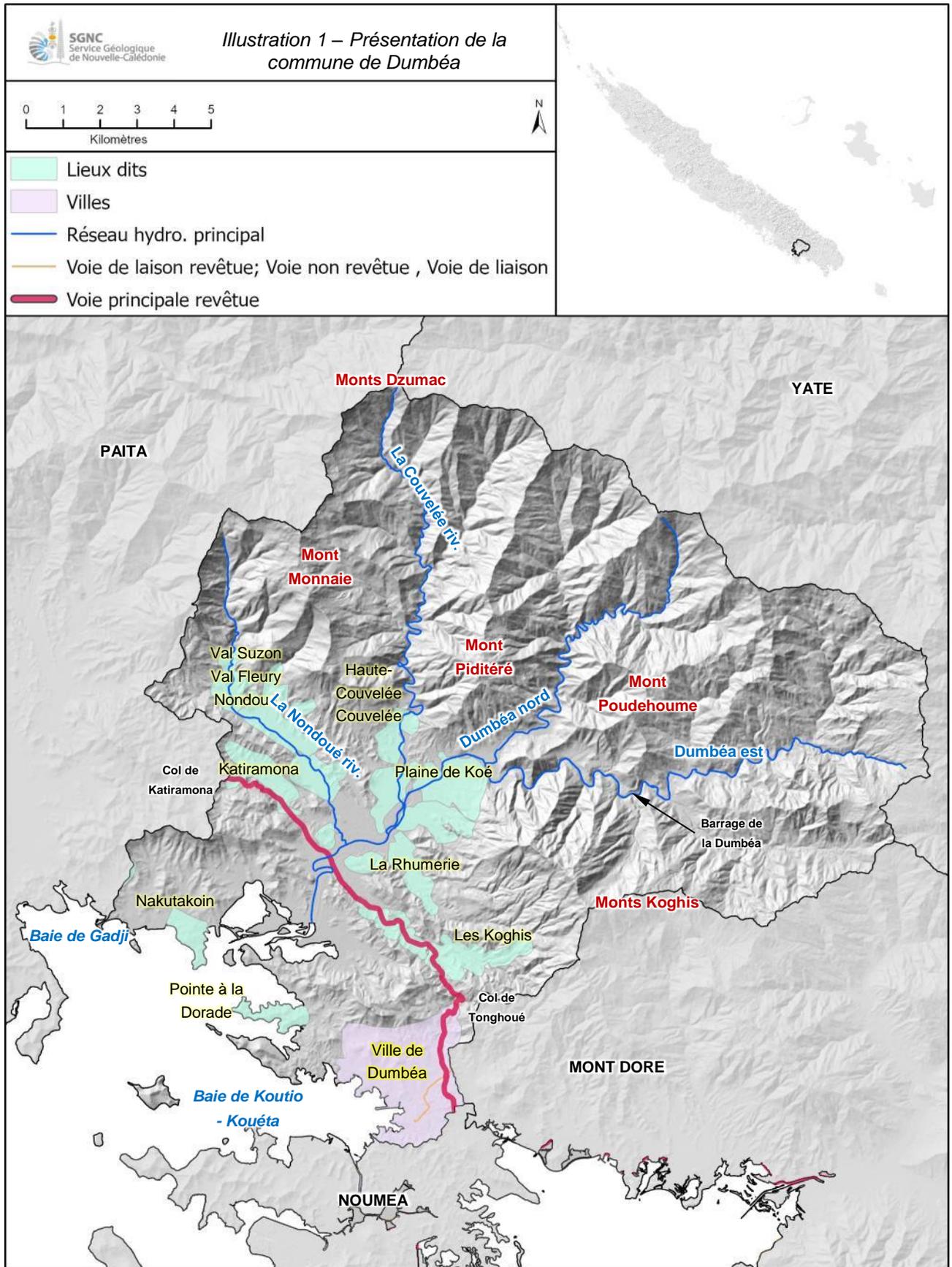
1 Présentation de la commune

D'une superficie de 255 km², la commune de Dumbéa est située dans la partie sud de la côte ouest de la Grande Terre, en Province Sud (Illustration 1). La commune de Dumbéa est bordée par la commune de Païta au nord-ouest, Yaté au nord et à l'est, le Mont Dore au sud-est et Nouméa à l'extrême sud.

Deux domaines morphologiques apparaissent : un secteur de moyennes montagnes au NE et un secteur de plaine et basses collines au SO, de 5 à 7 km de large entre le secteur montagneux et le littoral, sur environ 10 km de long entre la baie de Gadji au nord et la baie de Koutio - Kouéta au sud.

La commune est centrée sur la vallée de la rivière Dumbéa. Elle se subdivise en deux cours : Dumbéa nord et Dumbéa est dont les bassins versants occupent la moitié est de la commune. A noter la présence du barrage de la Dumbéa et son lac de retenue sur le cours de la Dumbéa est. En rive droite, les deux affluents principaux de la Dumbéa sont la Couvelée et la Nondoué.

La population de la commune était d'environ 35 900 habitants au recensement de 2019, soit une densité de population de 14,6 hab./km². La population est essentiellement localisée au sud-est, au niveau de la ville de Dumbéa qui forme un prolongement du tissu urbain du grand Nouméa. Des secteurs résidentiels sont présents dans la vallée de la Dumbéa ou de ses affluents : La Rhumerie, la Plaine de Koé, La Couvelée / Haute Couvelée, Val Fleury, Val Suzon, Nondoué, Katiramona. Deux secteurs sont situés en bord de mer : La Pointe à la Dorade et Nakutakoin. Enfin le secteur des Koghis aux pieds des versant des Monts Koghis.



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 : 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 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 (voir 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-72236-FR / DIMENC/SGNC-2022(20)).

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 événementielles 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 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				
		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

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

A titre d'exemple sur la caractérisation des aléas, un aléa modéré 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.

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/>).

		Type de phénomène				
		CB	GF	GG	LT	
Intensité	Taille des blocs	Vitesse				
	Moyenne Volume compris entre 0,25 et 1 m ³	Moyenne Lent (0,005 mm/s) à Rapide (50 mm/s)	Elevée Très rapide (50 mm/s à 5 m/s)	Très élevée 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

1 251 évènements « mouvements de terrain » ont été recensés sur le territoire communal de Dumbéa (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, Illustration 7, Annexe 1 – Lexique des termes utilisés) :

- Les glissements grossiers (GG) comptent 947 objets (76% de l'inventaire) ;
- Les glissements fins (GF) comptent 168 objets (13% de l'inventaire) ;
- La présence de 60 laves torrentielles (LT, 5% de l'inventaire) ;
- Des coulées de matériaux fins et/ou grossiers qui résultent de mécanismes érosifs (ravinement), affectant les zones de décharges minières (COUL, 42 cas, 3% des évènements) ;
- On note également la présence de 30 grands glissements de versants (GGV).
- Très peu de chute de blocs (CB), quatre évènements (<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.

Spatialement, les mouvements affectent en grande majorité les versants péridotitiques au nord de la commune dans les secteurs amont des bassins versants de la Dumbéa (nord et sud), de la Couvelée et de la Nondoué ainsi que sur le secteur des Koghis. Il s'agit essentiellement de glissements grossiers et dans une moindre mesure de laves torrentielles. Les glissements fins sont localisés sur les versants des collines au sud de la commune et plus préférentiellement sur le secteur des Koghis.

Temporellement (Illustration 8), la majorité (58%) des évènements recensés sont qualifiés d'anciens (antérieurs à 1976). Parmi ces phénomènes, 70% (507 phénomènes) sont des glissements grossiers (GG). Les phénomènes qualifiés de récents (période 1976-2016) représentent 36% des phénomènes, dont 87% (392 phénomènes) sont des GG. Enfin, les phénomènes actuels (2017/2023) représentent 6% de l'inventaire, dont 64% de GG (48 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 évènements).

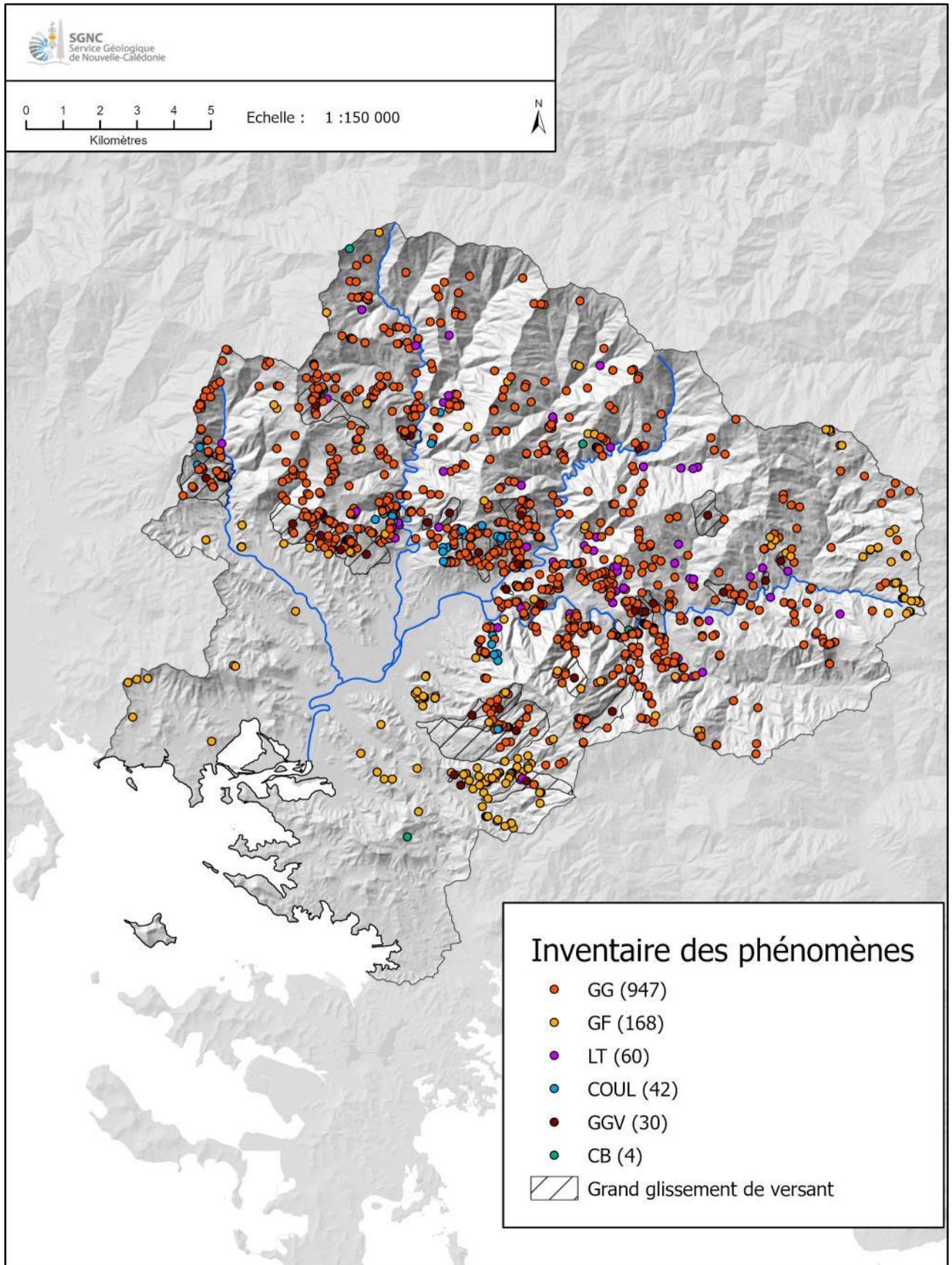


Illustration 4 – Localisation des différents types de phénomènes de mouvements de terrain recensés sur la commune de Dumbéa (Annexe 6 – Atlas cartographiques : phénomènes de mouvement de terrain)

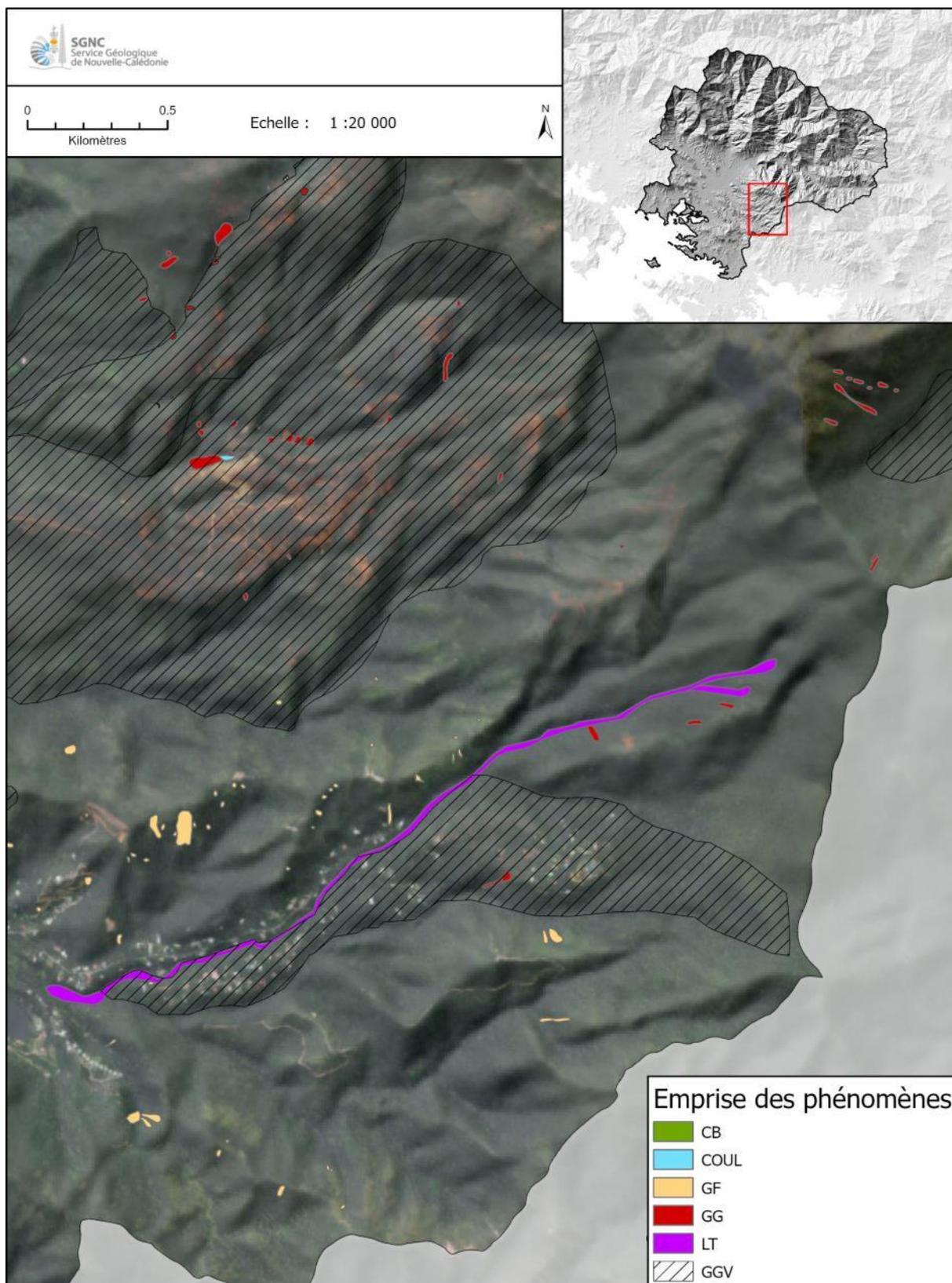


Illustration 5 – Exemple de cartographie des enveloppes des mouvements de terrain sur la commune

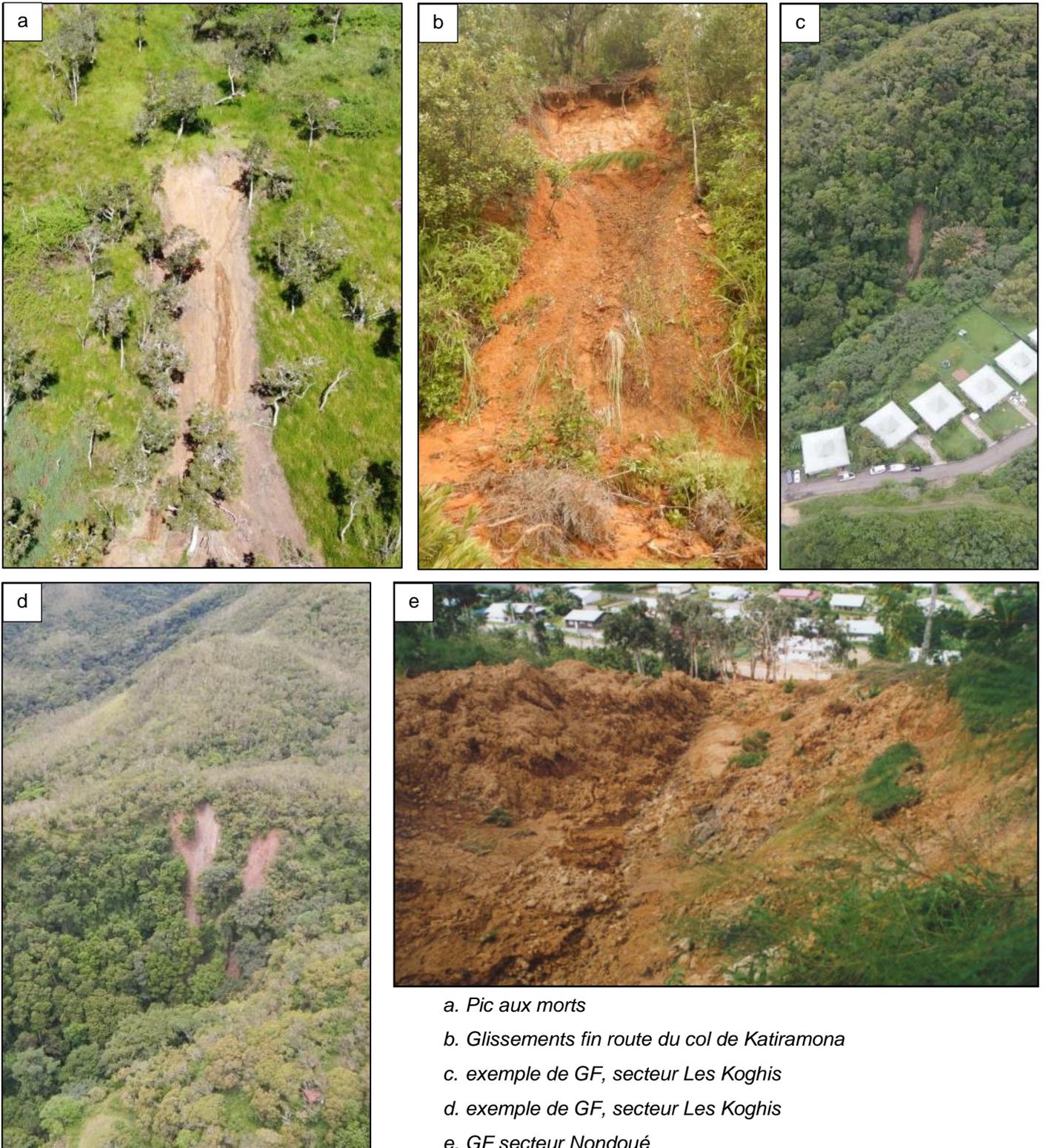


Illustration 6 – Différents types de mouvement de terrain sur substrat volcanosédimentaire sur la commune de Dumbéa

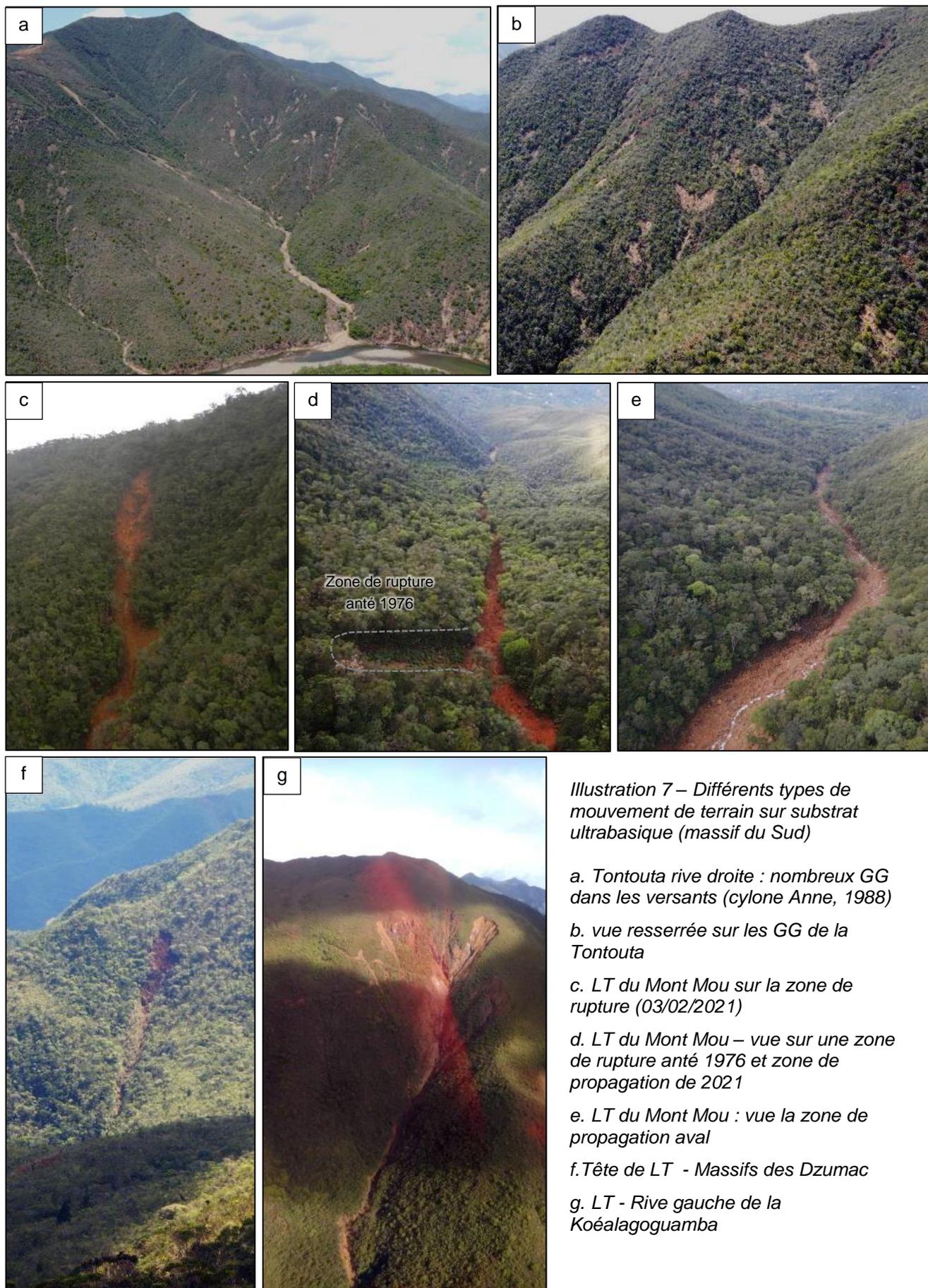


Illustration 7 – Différents types de mouvement de terrain sur substrat ultrabasique (massif du Sud)

- a. Tontouta rive droite : nombreux GG dans les versants (cyclone Anne, 1988)*
- b. vue resserrée sur les GG de la Tontouta*
- c. LT du Mont Mou sur la zone de rupture (03/02/2021)*
- d. LT du Mont Mou – vue sur une zone de rupture anté 1976 et zone de propagation de 2021*
- e. LT du Mont Mou : vue la zone de propagation aval*
- f. Tête de LT - Massifs des Dzumac*
- g. LT - Rive gauche de la Koéalagoguamba*

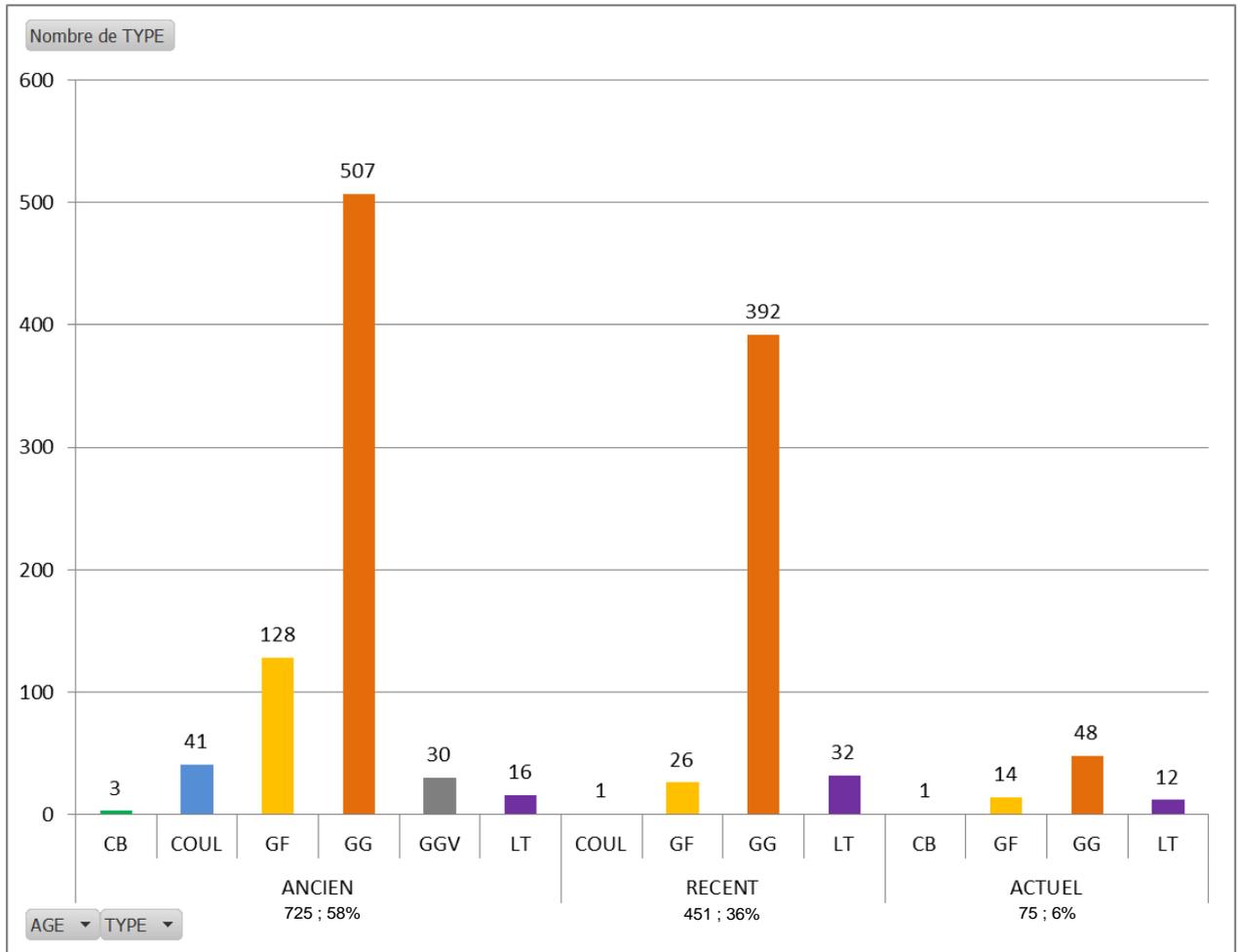


Illustration 8 – Dénombrement des types de phénomènes de mouvements de terrain par période

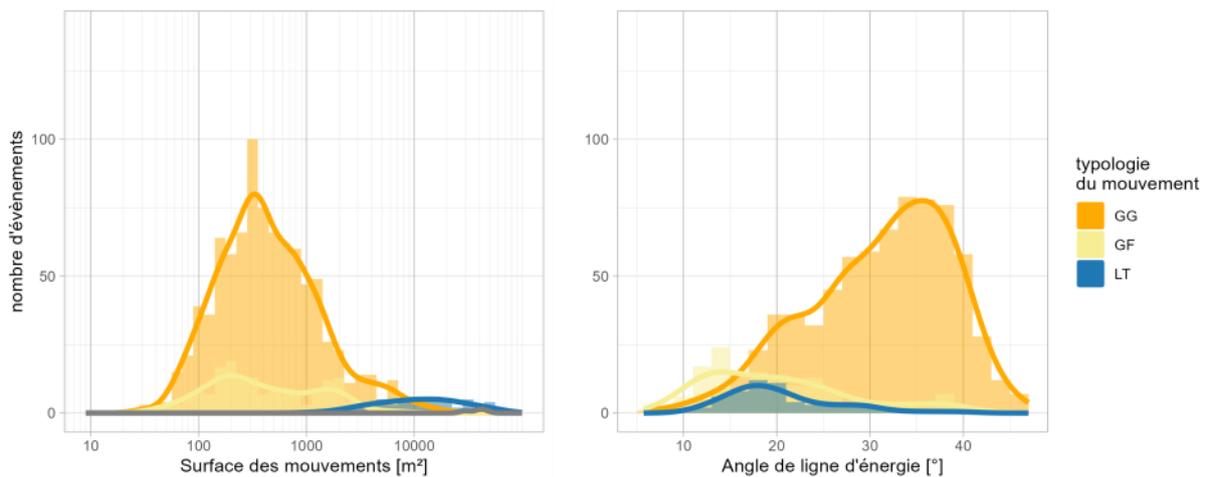


Illustration 9 – Distribution des surfaces [m²] et des valeurs d'angle d'énergie par type de mouvements de terrain

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 Dumbéa, on distingue deux grands ensembles (Illustration 10) :

- Les terrains de la séquence ophiolitique (roches magmatiques) : nappe des péridotites et formations de l'unité de de Poya, qui constituent un vaste ensemble couvrant environ la moitié nord-est de la commune. La nappe des péridotites forme un ensemble continu qui couvre la partie amont des rivières Dumbéa, Couvelée et Nondoué à laquelle sont associés des intrusifs : gabbro en filon, listvénites et granodiorites. Les basaltes de la nappe de Poya affleurent principalement au niveau de la confluence entre la branche nord et la branche est de la Dumbéa.
- L'ensemble des formations volcano-sédimentaires formant une large bande orientée NO-SE, d'environ 10 km de large, qui occupe le sud-ouest de la commune, entre les terrains de la séquence ophiolitique et le littoral. Cet ensemble est principalement constitué des formations d'argilites du Crétacé supérieur – Eocène recoupées par des laves de basaltes, de tufs et autres laves indifférenciés. La frange littorale est occupée par les grès de la formation de Nouméa. A noter enfin des formations de calcaires et de flysch notamment visibles au niveau de l'île aux chèvres.

Les principaux types de roches que l'on peut rencontrer sur la commune de Dumbéa 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.

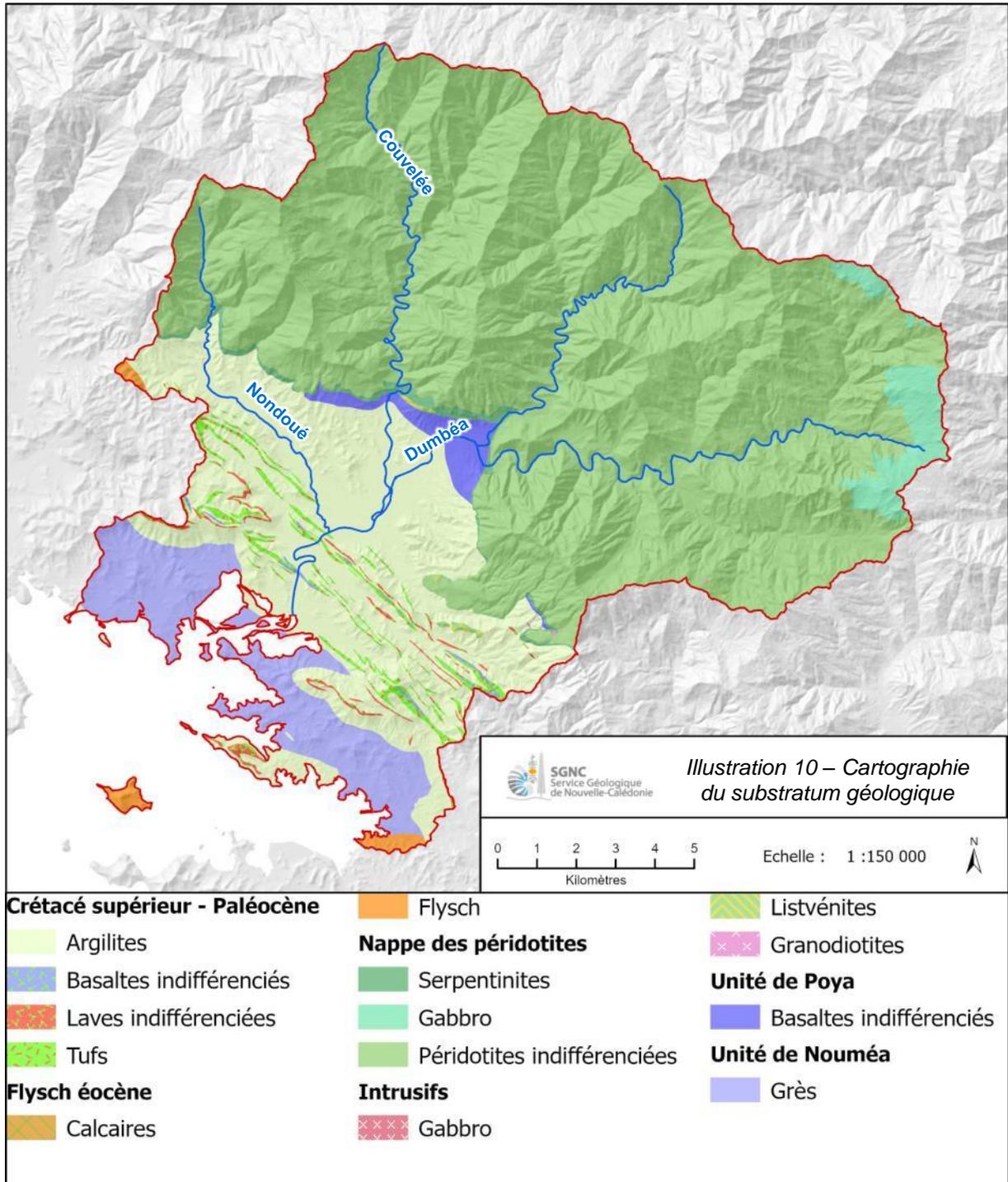
- Massifs péridotites : Sur substrat péridotitique, le régolithe regroupe l'ensemble des faciès du profil d'altération, depuis la saprolite rocheuse jusqu'aux cuirassements ferrugineux en place. Sont distinguées les formations en place pour lesquelles il n'y a pas ou peu eu de phase de transport gravitaire 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.

A noter que dans le cas de la commune de Dumbéa, la mise à jour du régolithe sur domaine ultrabasique n'a été réalisée que sur les versants de la bordure SO du domaine ultrabasique. Les parties amont des bassins versants de la Couvelée et de la Dumbéa nord n'ont pas été mises à jour. Pour intégrer la cartographie différenciée du régolithe à l'échelle communale une analyse spécifique a été déployée. Le détail de l'approche retenue est décrit dans le rapport méthodologique 2022 (BRGM/RP-72236-FR/DIMENC/SGNC-2022(20)).



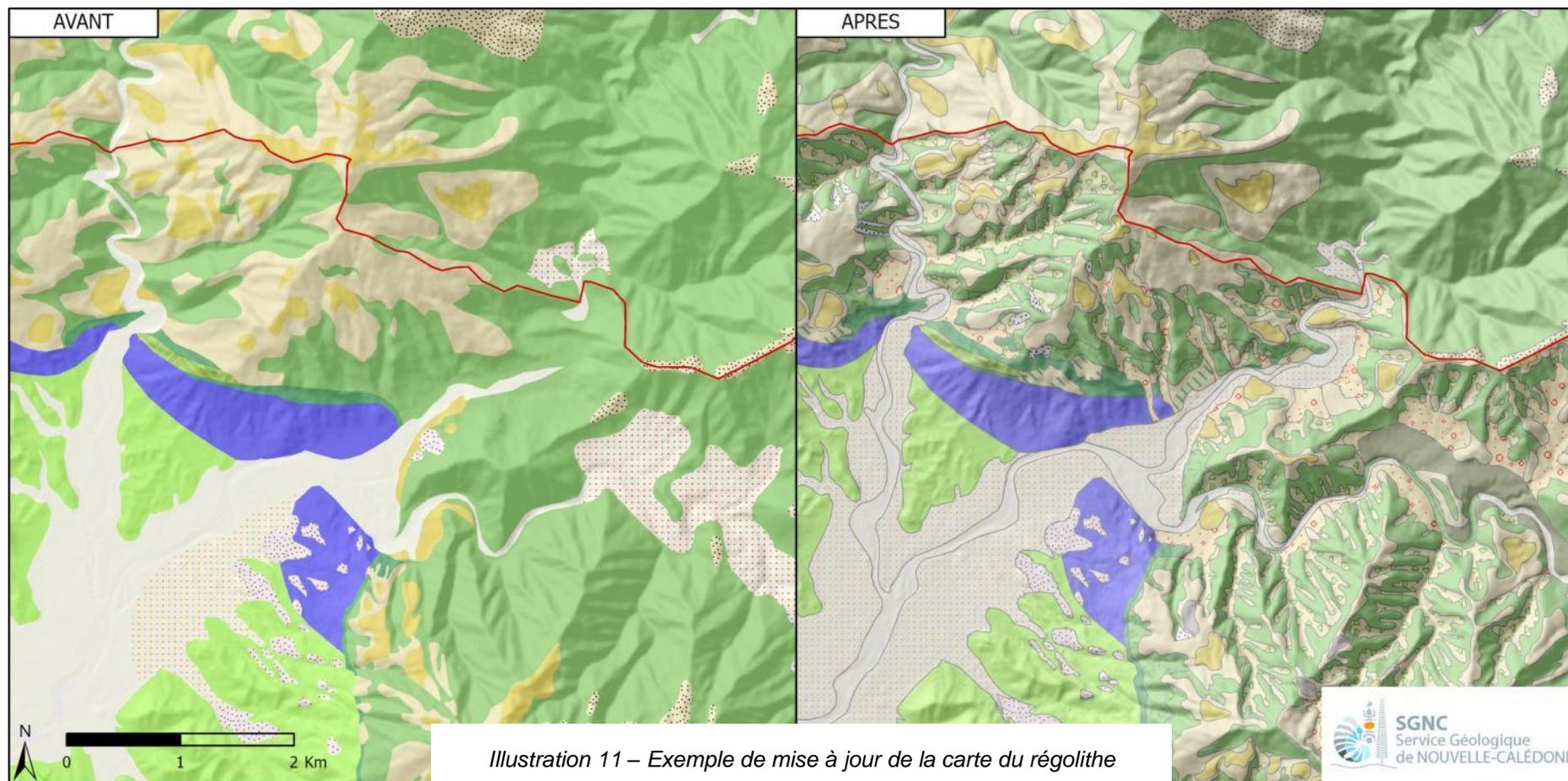


Illustration 11 – Exemple de mise à jour de la carte du régolithe

Formations fluviatiles et littorales

- Formations littorales indifférenciées
- Alluvions et formations littorales associées
- Cônes de déjection indifférenciés
- Alluvions anciennes

Formations d'épandages et de versants

- Colluvions indifférenciées
- Blocs rocheux ultrabasiques indifférenciés et latérites
- Latérites remaniées à blocs rocheux ultrabasiques indifférenciés

Formations d'altération

- Cuirasses disloquées et démantelées
- Latérites minces sur péridotites
- Latérites épaisses sur péridotites
- Altérites indifférenciées sur serpentinites

Nappe des péridotites

- Harzburgites
- Péridotites indifférenciées

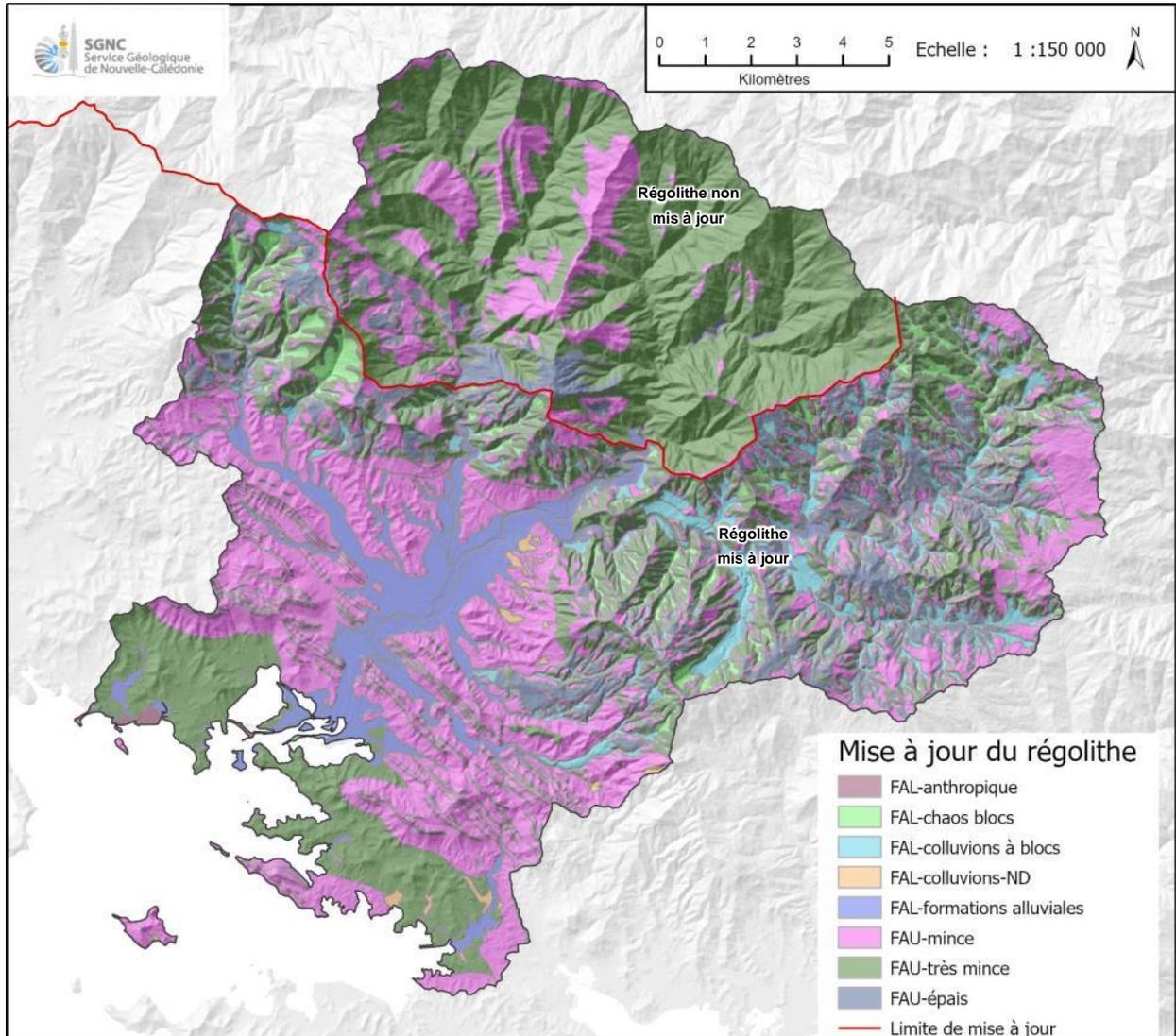


Illustration 12 – Cartographie des classes de formations du régoïlithes sur la commune de Dumbéa

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

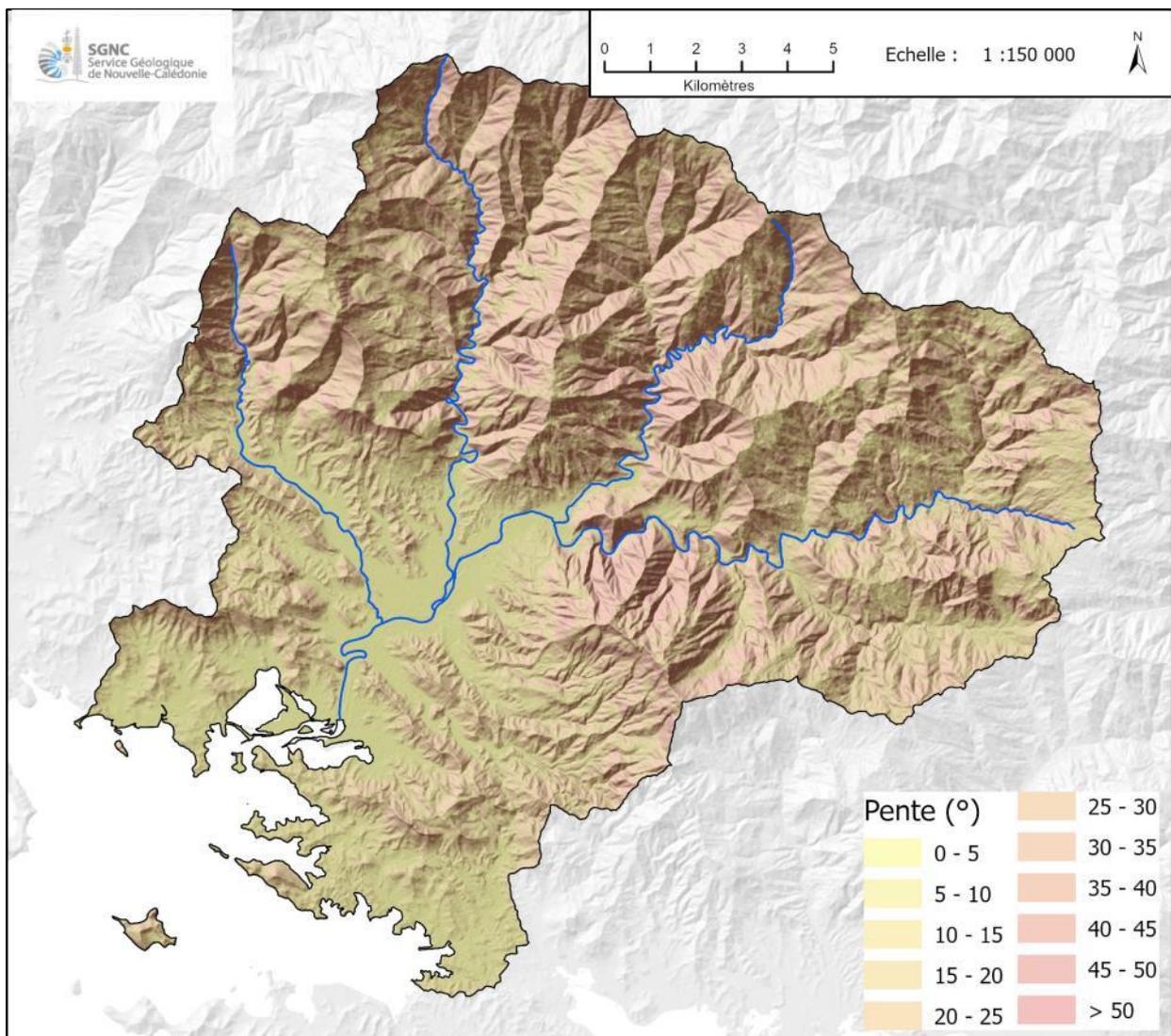


Illustration 13 – Cartographie des classes de pentes sur la commune de Dumbéa

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.

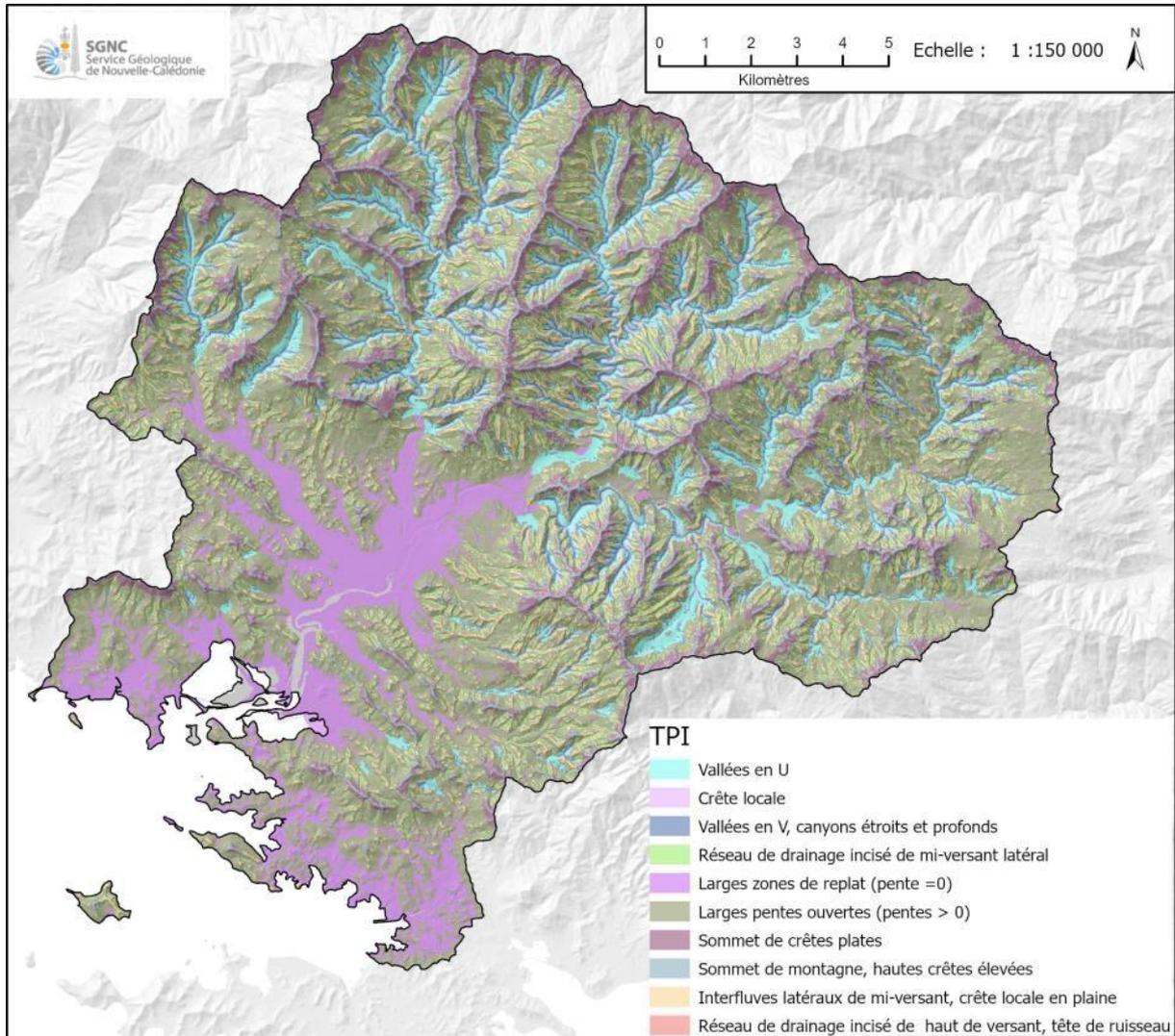


Illustration 14 – Cartographie des classes de paysages (TPI) sur la commune de Dumbéa

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).

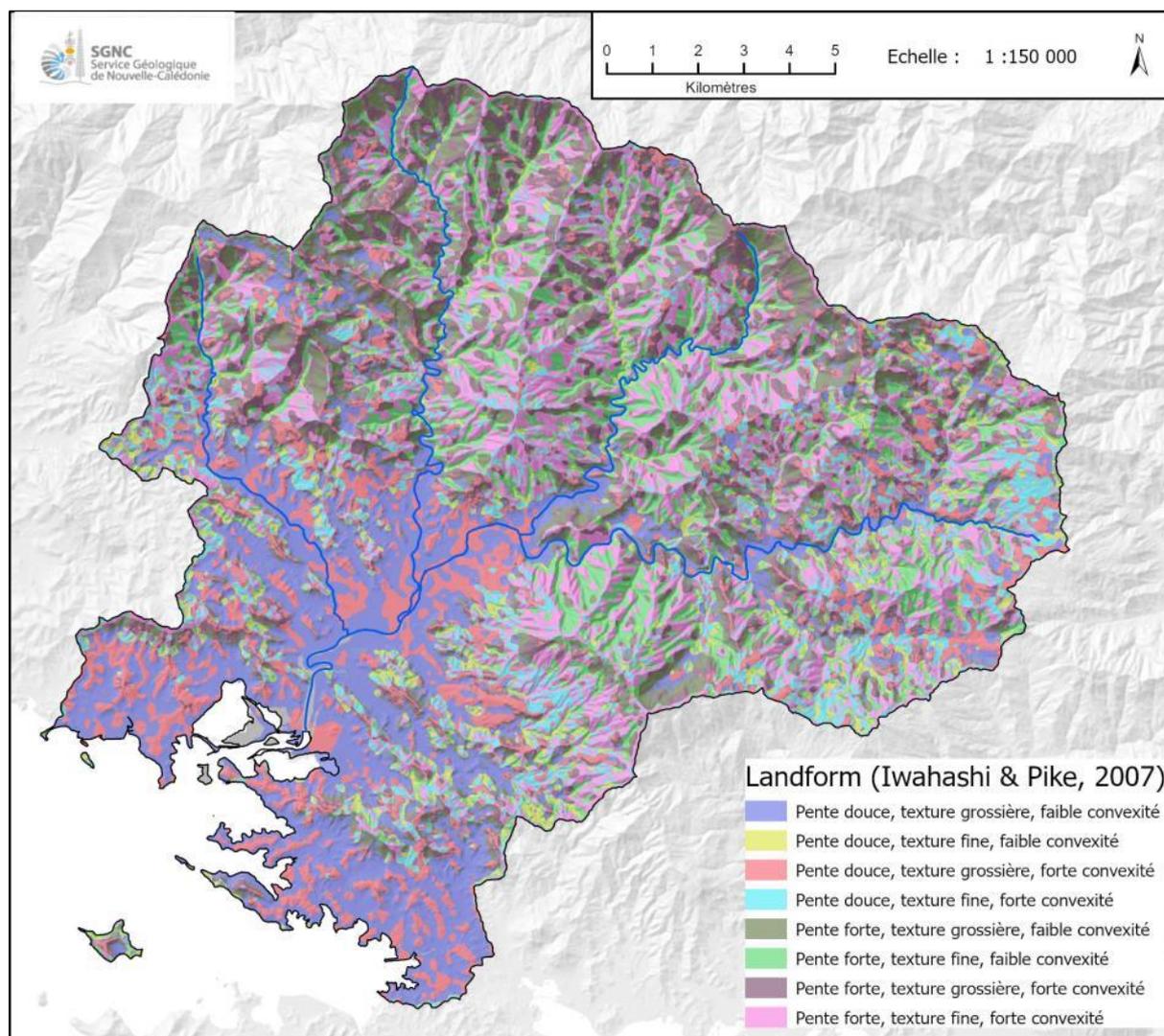


Illustration 15 – Cartographie des classes de paysages (landform) sur la commune de Dumbéa

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 19, Illustration 20, Illustration 21 et Illustration 22 ;
- 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 23).

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, 91% du territoire communal est exposé à un aléa mouvement de terrain non négligeable (Illustration 16). Les niveaux d'aléa élevé et modéré représentent respectivement 31% et 38% de la surface, soit plus des deux tiers de la superficie de la commune.

- L'aléa élevé concerne essentiellement les versants fortement pentés des massifs de péridotites, au nord de la commune. 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 le secteur à gabbro-cumulats à l'extrême est de la commune (GF). L'aléa modéré affecte également les versants sur substrat volcano-sédimentaire au sud et sud-est de la commune avec l'occurrence de glissements fins (GF) sur les faciès altérés du substratum.
- 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 notamment la Dumbéa, la Couvelée et la Nondoué ainsi que le long du littoral, près de l'embouchure de la Dumbéa.

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

- Les zones d'aléa chute de blocs et éboulement (Illustration 19) de niveau modéré couvrent 20% de la commune et sont largement réparties sur les versants en domaine ultrabasique au nord de la commune. ;
- Les glissements fins de niveau faible et modéré (respectivement 33% et 17%, Illustration 20) concernent essentiellement le substrat volcano-sédimentaire au sud de la commune. A noter également le secteur à gabbro-cumulats, à l'extrême est de la commune, affecté par un aléa modéré ;
- Les glissements grossiers de niveau modéré et élevé (respectivement 27% et 32%, Illustration 21) sont particulièrement présents sur les versants des massifs de péridotites au nord de la commune ;

- Les laves torrentielles de niveau modéré et élevé (respectivement 14% et 8%, Illustration 22) sont particulièrement présentes sur les versants des massifs de péridotites au nord de la commune.

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km ²)	Nul à négligeable	68,4	100,9	81,4	162,7	22,7
	Très faible	15,8	83,7	49,3	8,7	17,8
	Faible	18,8	42,7	66,1	19,4	38,1
	Modéré	79,5	23,8	34,7	61,1	95,1
	Elevé	68,7	-	19,6	-	78,2
Surface totale soumise à aléa		182,8	150,2	169,7	89,2	229,2
% de la commune soumis à aléa		73%	60%	68%	35%	91%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	27%	40%	32%	65%	9%
	Très faible	6%	33%	20%	3%	7%
	Faible	7%	17%	26%	8%	15%
	Modéré	32%	9%	14%	24%	38%
	Elevé	27%	0%	8%	0%	31%

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 ».

Les taux de reconnaissances calculés sont très élevés pour les GG et les LT, phénomènes les plus redoutés. Le taux de reconnaissance à la rupture n'est cependant que de 61% pour les GF. En effet près de 36% des GF (60 occurrences) sont affectés d'une susceptibilité de rupture dans les classes très faible à faible).

Les taux de non reconnaissance sont quant à eux très faible (2% pour les glissements fins), ce qui indique que la quasi-totalité des événements se situent hors des classes « nulles à négligeable » et « négligeable ». Ces résultats montrent la pertinence des cartes de susceptibilité à la rupture.

Type phénomène	GG	GF	LT	Total
nb phénomènes	947	168	60	1 175
nb rupture moyenne à très forte	898	103	58	1 059
nb rupture nul à négligeable et négligeable	3	3	-	6
Taux de reconnaissance	95%	61%	97%	90%
Taux de non-reconnaissance	0%	2%	0%	1%

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

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 classe d'aléa** (associée au phénomène considéré).

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.

- **LT** : 92% des enveloppes de phénomènes LT sont situés en zone d'aléa élevé et 8% en zone d'aléa moyen. Aucune surface d'enveloppe de LT n'apparaît dans les niveaux d'aléa inférieurs. Pour rappel, les LT sont les phénomènes de mouvement de terrain les plus redoutables et destructeurs. Il est à noter que la carte finale d'aléa LT intègre les emprises des évènements passés comme zone d'aléa « élevé ».
- **GG** : Environ 2/3 (66%) des GG reconnus en zone d'aléa élevé, et environ 1/3 (31%) en zone d'aléa moyen. Des surfaces d'enveloppes apparaissent également en niveau d'aléa faible à très faible (respectivement 2% et 1%).
- **GF** : 2/3 (66%) des GF reconnues en zone d'aléa moyen ce qui est le niveau d'aléa maximal attendu pour ce type de phénomène. Il n'y a pas de surface d'enveloppe en niveau d'aléa élevé.

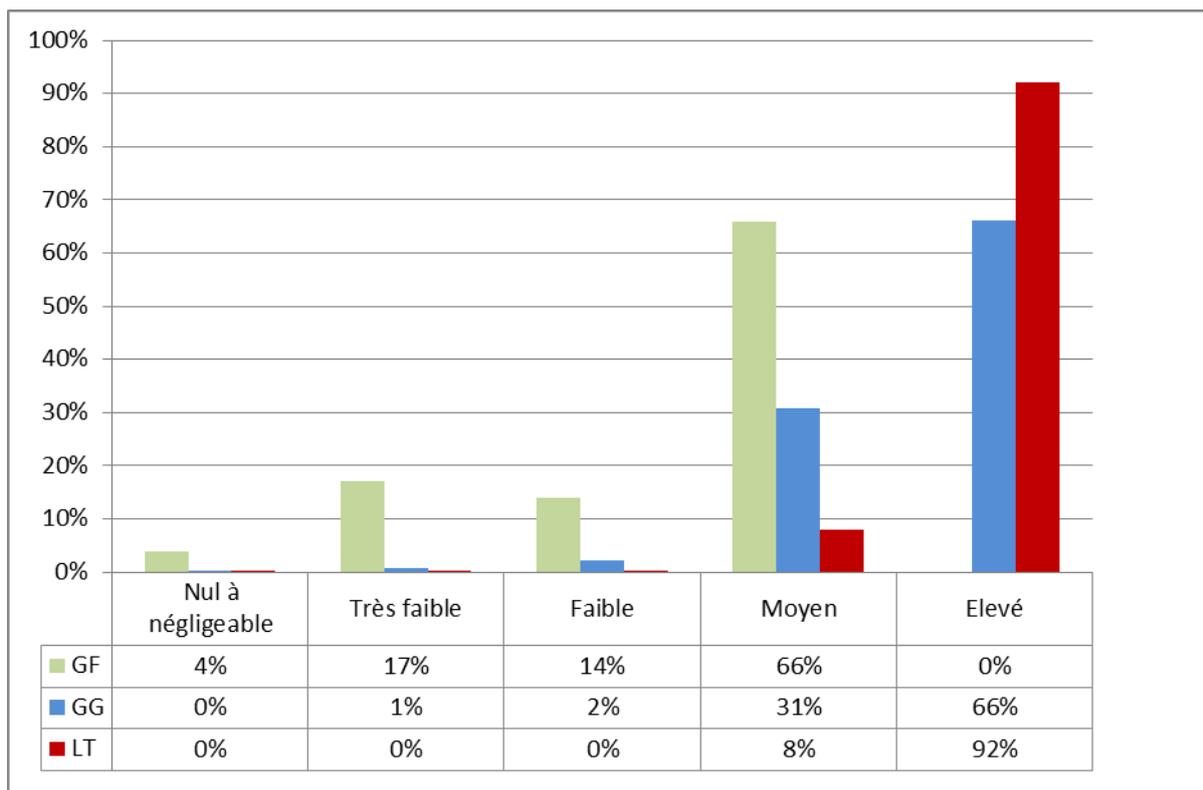
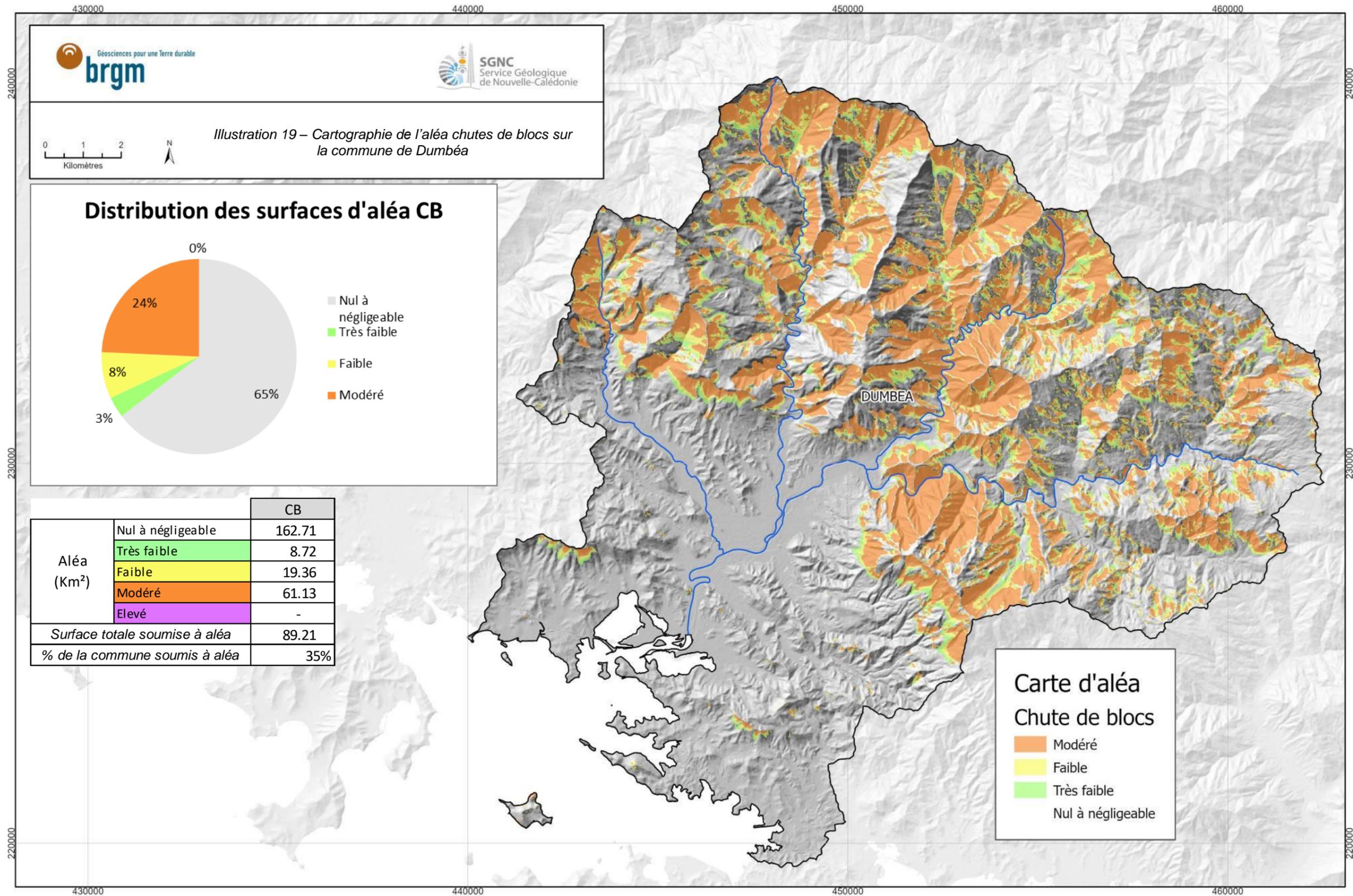
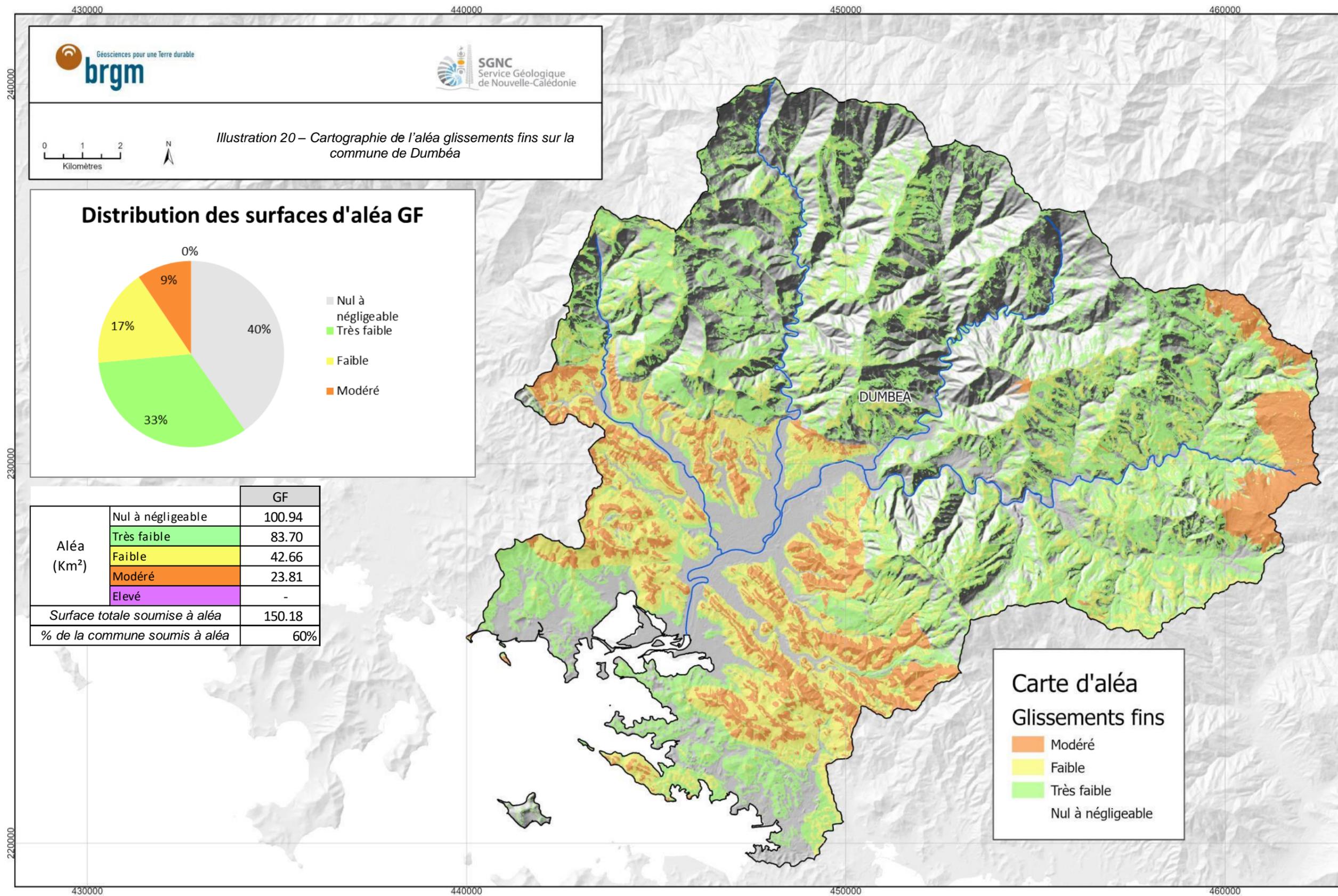
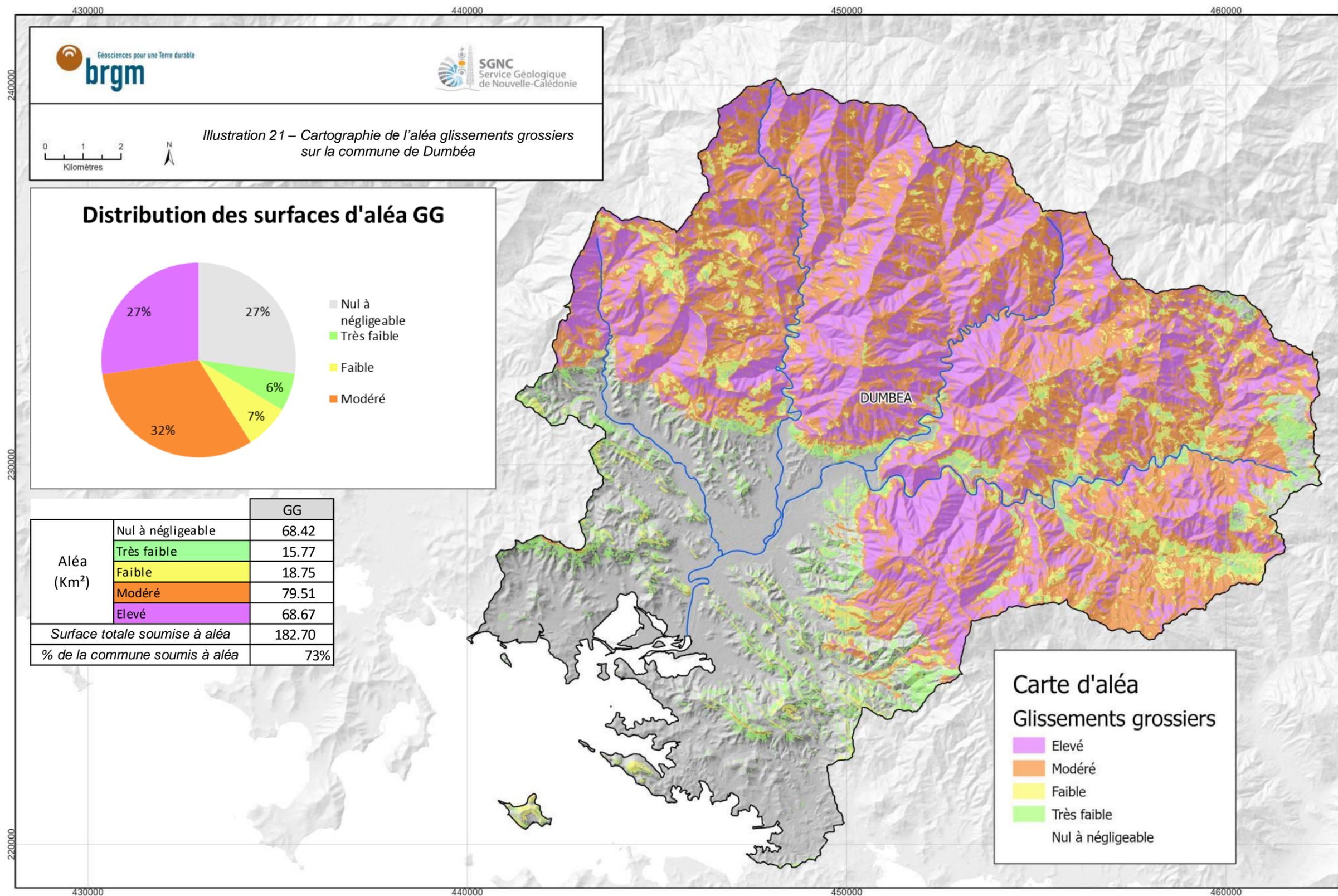
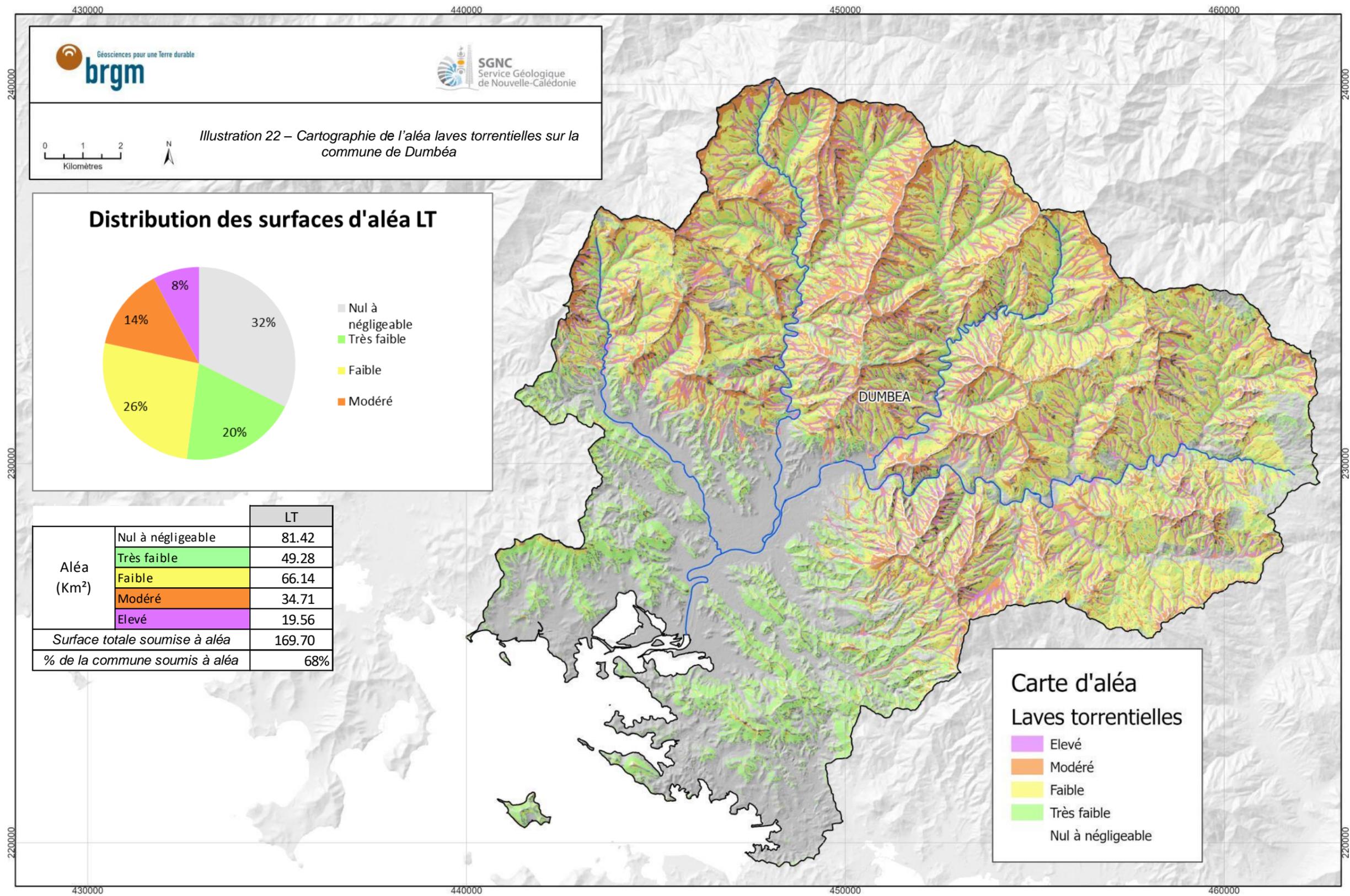


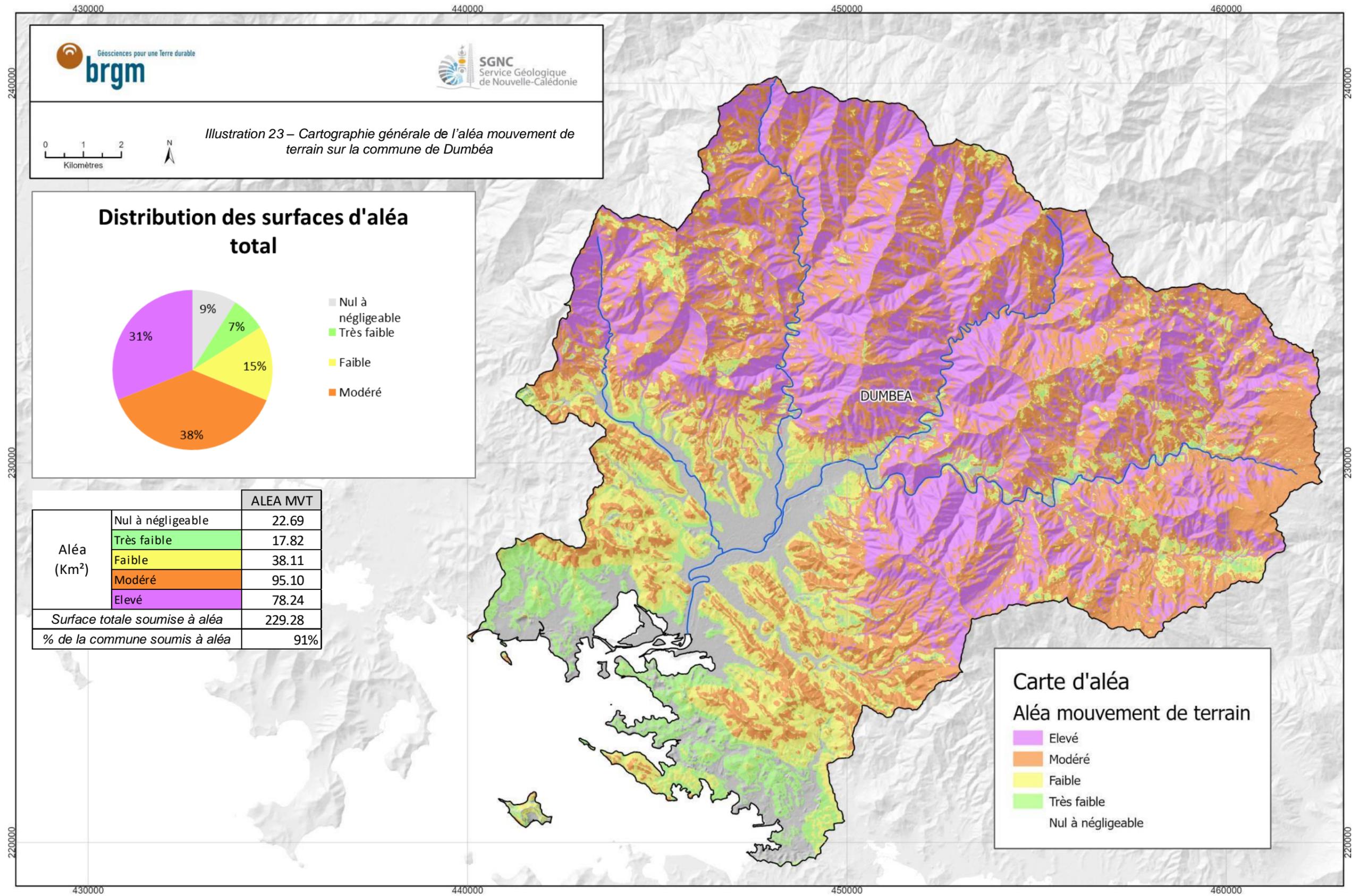
Illustration 18 – Répartition des enveloppes des événements (rupture et propagation) selon la classe d'aléa évaluée par phénomène











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. 14 820 bâtiments sont recensés.

Au final, 72 bâtiments (0,5%) sont exposés à un aléa élevé alors que 31% de la surface de la commune est exposé à ce niveau d'aléa. Les bâtiments sont préférentiellement installés dans la zone de plaine alluviale sur terrains volcano-sédimentaires où les niveaux d'aléa maximum attendu sont modérés.

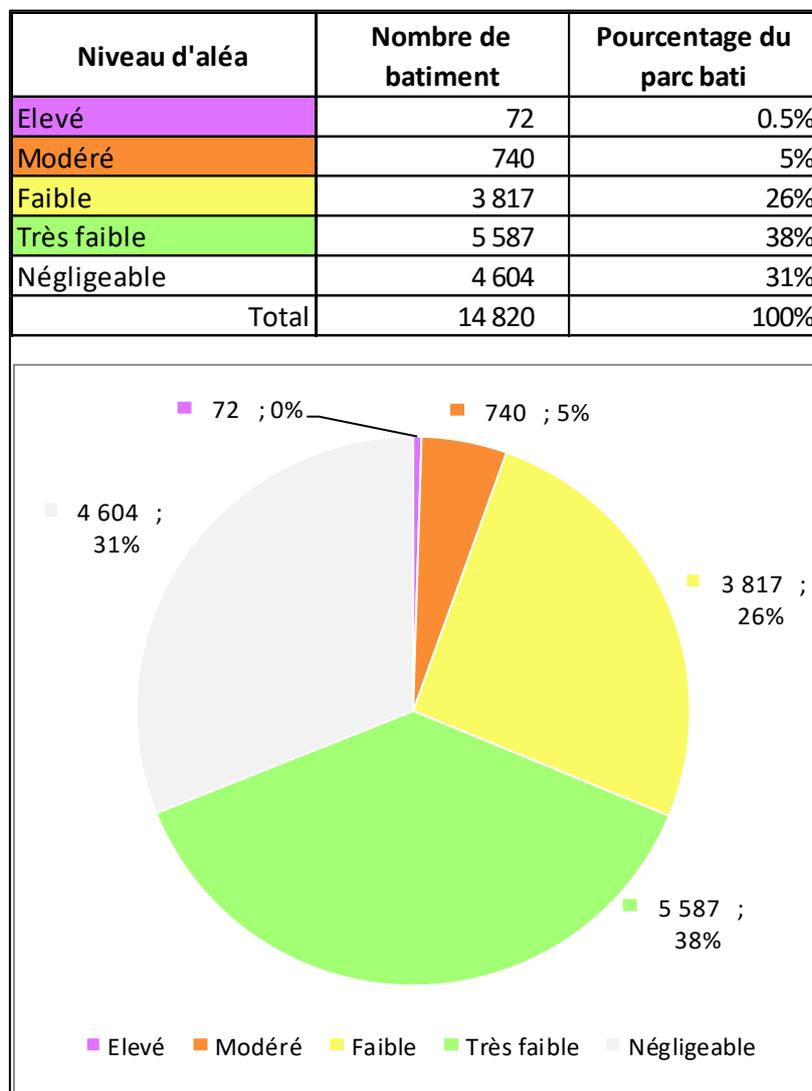


Illustration 24 – Exposition des constructions à l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Dumbéa

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

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

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

- d'un effort important de cartographie des formations superficielles (régolithe) et
- d'un inventaire particulièrement conséquent des phénomènes d'instabilité recensés et décrits suivant leur type :
 - GG : Glissement dans matériaux grossiers (947 évènements, 76% des cas) ;
 - GF : Glissement dans matériaux fins (168 évènements, 13%) ;
 - LT : Lave-torrentielle (60 évènements, 5%) ;
 - CB : Chute de blocs (4 évènements, < 1%).

58% des phénomènes sont antérieurs à 1976, 36% datés entre 1976 et 2016 et 6% ont eu lieu depuis 2016.

Ces données permettent d'élaborer des cartes d'aléa pour chacun des phénomènes identifiés. Ces cartes définissent à l'échelle de la commune la possibilité de survenance du phénomène 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 91% de son territoire, les niveaux d'aléa élevé et modéré couvrant respectivement 31% et 38% de la commune, majoritairement au nord de la commune, dans le domaine des versants périodotitiques.

Un croisement du bâti avec la carte agrégée a été réalisé sur la base des bâtiments de la BDTopo de la DITTT. Sur les 14 820 bâtiments recensés, 72 (0,5%) sont exposés à un aléa élevé, 740 (5%) à 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 25 (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 25 – 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.

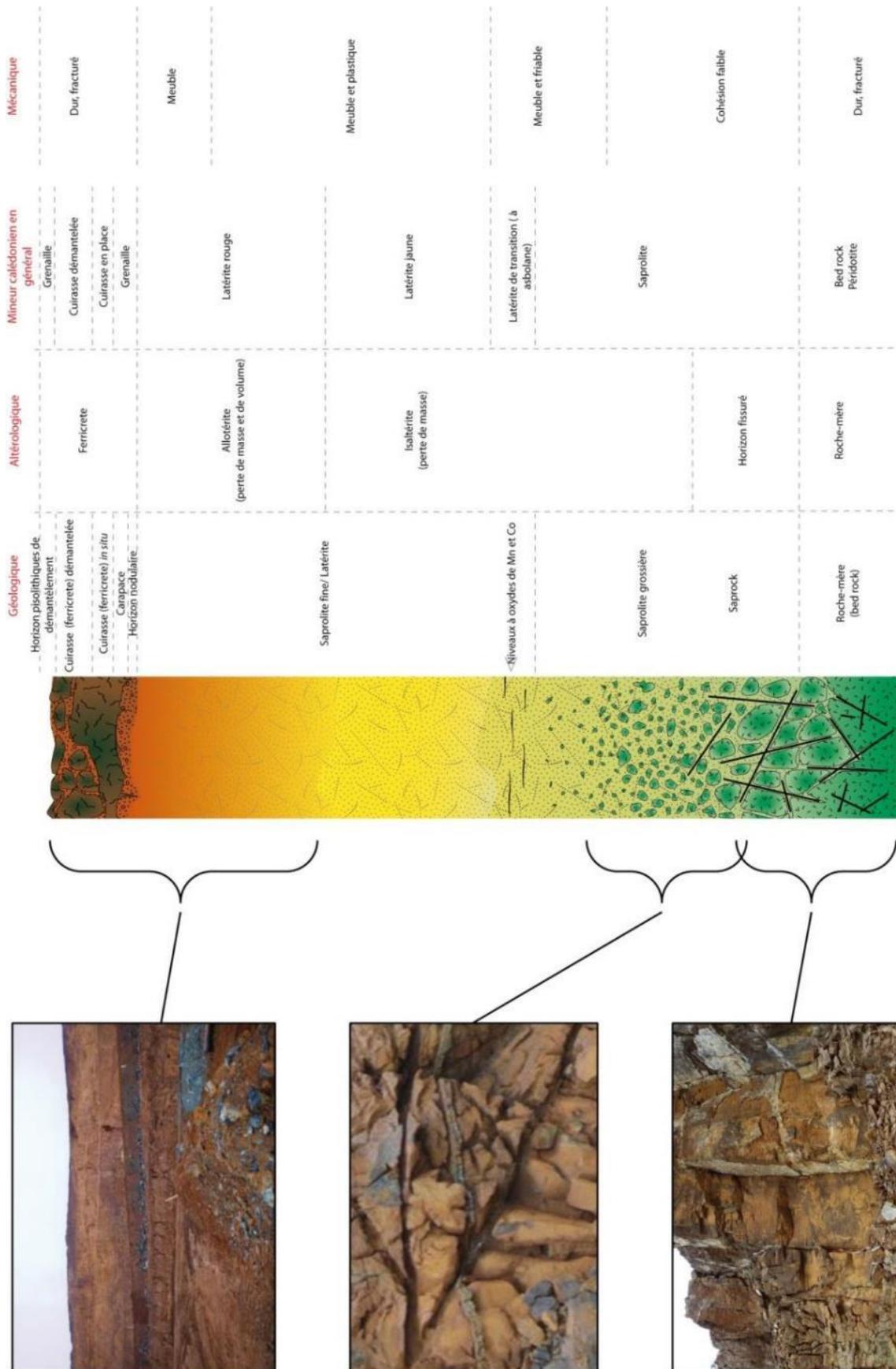
SAPROLITE : Une saprolite (du grec ancien sapos, décomposé) est une roche généralement meuble à dominante argileuse. Formant une couche géologique, surmontant dans des coupes de sol profondes la roche-mère, cette altérite résulte de l'altération chimique d'une roche-mère, due à l'action du climat, de 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.

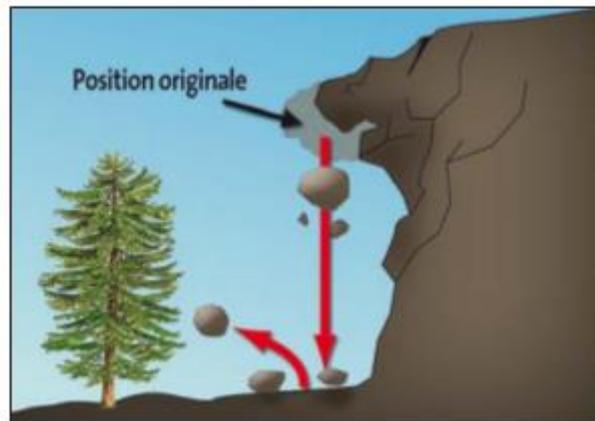


Profil d'altération en contexte de massif ultrabasique

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...

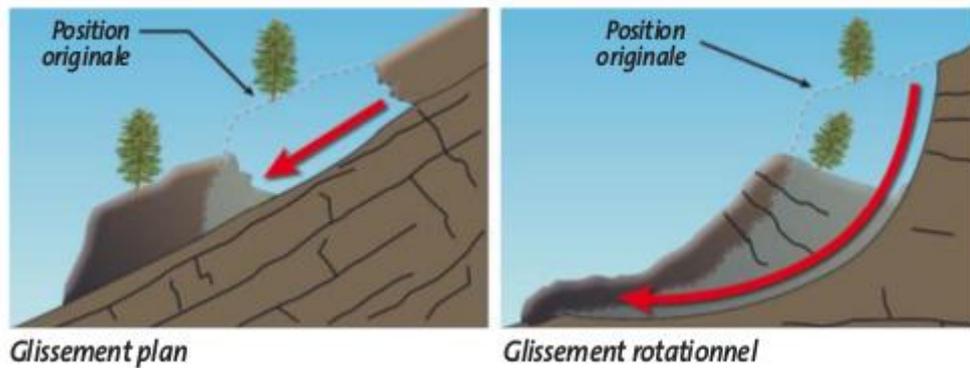


GLISSEMENTS DE TERRAIN

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.

Enveloppes de zone d'initiation

		GG	GF	LT	CB
Surfaces (m ²)	Nb	726	82	60	-
	Min.	118	131	1548	-
	Max.	15462	7695	55921	-
	Moyenne	989	810	15380	-
	Ecart type	1607	1141	116956	-

Enveloppes totales

		GG	GF	LT	CB
Surfaces (m ²)	Nb	726	82	60	4
	Min.	118	131	1548	298
	Max.	15462	7695	55921	10922
	Moyenne	989	810	15380	6612
	Ecart type	1607	1141	116956	4498
Quantiles	5%	199,0	176,2	2385,7	-
	10%	234,5	205,8	3270,4	-
	25%	322,6	248,0	5172,7	-
	50%	536,1	390,5	11005,9	-
	75%	998,9	970,8	20251,2	-

		GG	GF	LT	CB
Angle ligne d'énergie (°)	Nb	726	82	60	4
	Min.	7,0	8,3	10,9	31,7
	Max.	47,0	40,3	39,7	47,3
	Moyenne	31,0	24,5	20,5	39,9
	Ecart type	7,6	7,5	6,0	7,3
Quantiles	5%	17,5	13,6	13,2	32,4
	10%	20,1	16,3	14,4	33,0
	25%	26,0	19,8	16,7	34,9
	50%	32,3	23,4	19,5	40,2
	75%	37,0	27,9	23,3	45,2

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.

GLISSEMENTS GROSSIERS

METHODE GEOLOGIE 50K

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	486,442	32	-2.7023	0.1768	0.2013	0.0202	-2.9036
gentle slope, fine texture, low convexity	17	133,306	58	-0.8127	0.1313	0.0312	0.0204	-0.8439
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	332,343	38	-2.1494	0.1622	0.1264	0.0203	-2.2759
gentle slope, fine texture, high convexity	49	218,024	158	-0.3022	0.0796	0.0238	0.0208	-0.3260
steep slope, coarse texture, low convexity	65	241,286	381	0.4774	0.0513	-0.0674	0.0219	0.5449
steep slope, fine texture, low convexity	81	322,561	386	0.1998	0.0509	-0.0326	0.0219	0.2324
steep slope, coarse texture, high convexity	97	296,665	354	0.1969	0.0532	-0.0299	0.0217	0.2268
steep slope, fine texture, high convexity	113	480,607	1,068	0.8198	0.0306	-0.3549	0.0267	1.1747

Table 2: Poids sur jeu de donnée complet – Géologie 50k

Géologie.50	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Alluvions	1	178,474	57	-1.122	0.1325	0.0515	0.0203	-1.1735
Argilites et siltites	2	398,859	1	-5.9696	1	0.1732	0.0201	-6.1427
Basaltes	3	23,876	6	-1.3618	0.4083	0.008	0.0201	-1.3699
Colluvions à blocs (ultra)	5	50,742	48	-0.0356	0.1444	0.002	0.0203	-0.0376

Colluvions indifférenciées	6	7,848	0	-3.4376	100	0.004	0.0201	-3.4416
Cuirasse démantelée	7	18,601	22	0.1881	0.2133	-0.001	0.0202	0.1891
Cuirasse en place	8	3,191	0	-2.5376	100	0.002	0.0201	-2.5396
Flysch	9	13,504	0	-3.9803	100	0.006	0.0201	-3.9863
Formations littorales indifférenciées	10	6,629	0	-3.2688	100	0.003	0.0201	-3.2718
Gabbros	11	37,854	1	-3.6147	1	0.0161	0.0201	-3.6308
Granitoïdes	12	380	0	-0.4097	100	0.001	0.0201	-0.4107
Grès et calcaires	13	145,751	0	-6.3592	100	0.0608	0.0201	-6.42
Latérites épaisses	14	70,766	159	0.8308	0.0794	-0.0367	0.0208	0.8675
Latérites indifférenciées	15	158,057	231	0.4	0.0658	-0.0325	0.0211	0.4325
Latérites minces	16	148,677	306	0.7429	0.0572	-0.0705	0.0215	0.8134
Laves indifférenciées	17	51,410	0	-5.3171	100	0.0212	0.0201	-5.3384
Listvénites	18	3,616	0	-2.6627	100	0.002	0.0201	-2.6647
Péridotites	19	1,196,481	1,585	0.3016	0.0251	-0.3792	0.0335	0.6808
Serpentinites	20	8,340	59	1.9826	0.1307	-0.0203	0.0204	2.0029

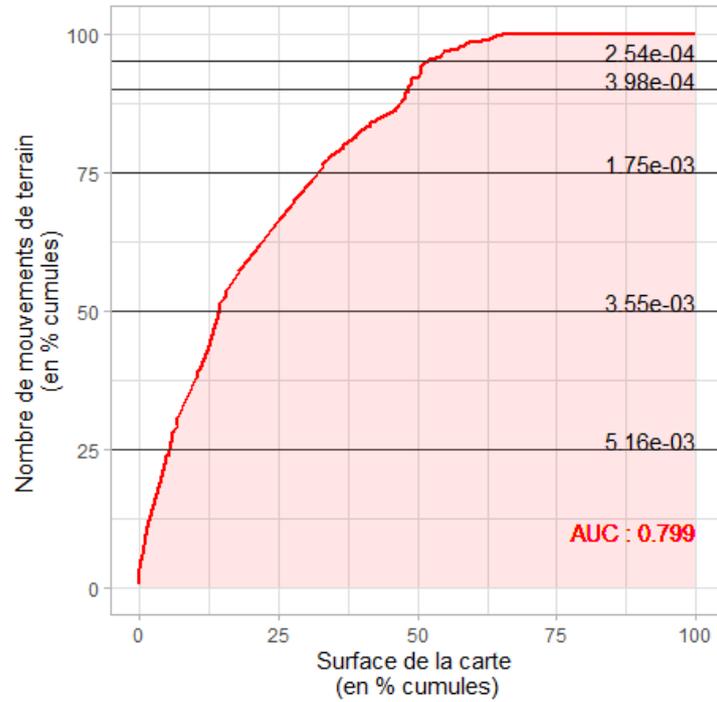
Table 3 : Poids sur jeu de donnée complet - Pente

Pente	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5°	1	268,136	1	-5.5724	1	0.1188	0.0201	-5.6912
5-10°	2	177,474	12	-2.6748	0.2887	0.074	0.0202	-2.7488
10-15°	3	209,556	43	-1.5645	0.1525	0.0761	0.0203	-1.6406
15-20°	4	276,263	97	-1.0272	0.1016	0.0824	0.0205	-1.1096
20-25°	5	322,008	186	-0.5292	0.0733	0.0648	0.0209	-0.594
25-30°	6	360,094	326	-0.0795	0.0554	0.0186	0.0216	-0.0981
30-35°	7	350,431	437	0.2411	0.0479	-0.0393	0.0222	0.2804
35-40°	8	314,496	616	0.6933	0.0403	-0.1471	0.0232	0.8404
40-45°	9	179,668	589	1.2096	0.0413	-0.1928	0.023	1.4024
45-50°	10	47,301	155	1.2092	0.0805	-0.0408	0.0208	1.25
>50°	11	5,807	13	0.8272	0.2777	0.003	0.0202	0.8242

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

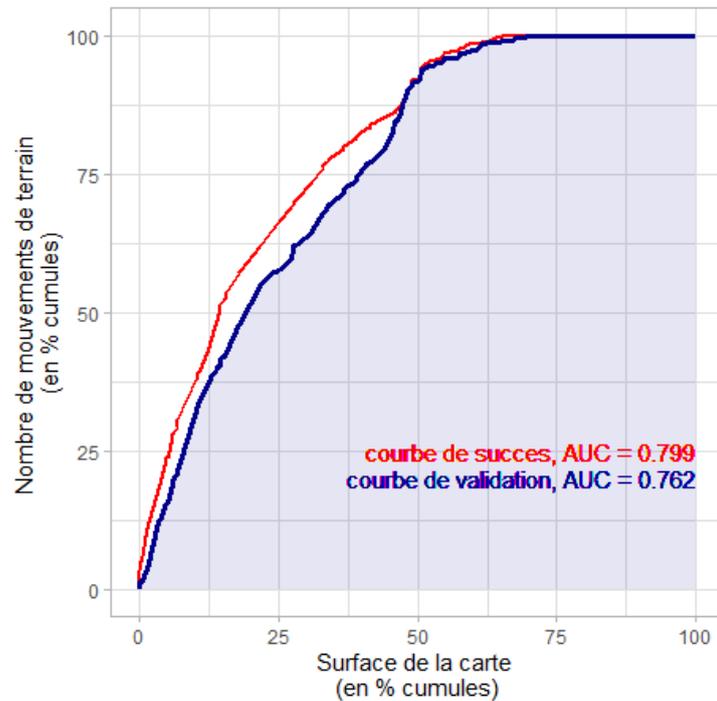
COURBE DE SUCCES ET AIRE SOUS LA COURBE

Courbe de succes sur set d'entrainement

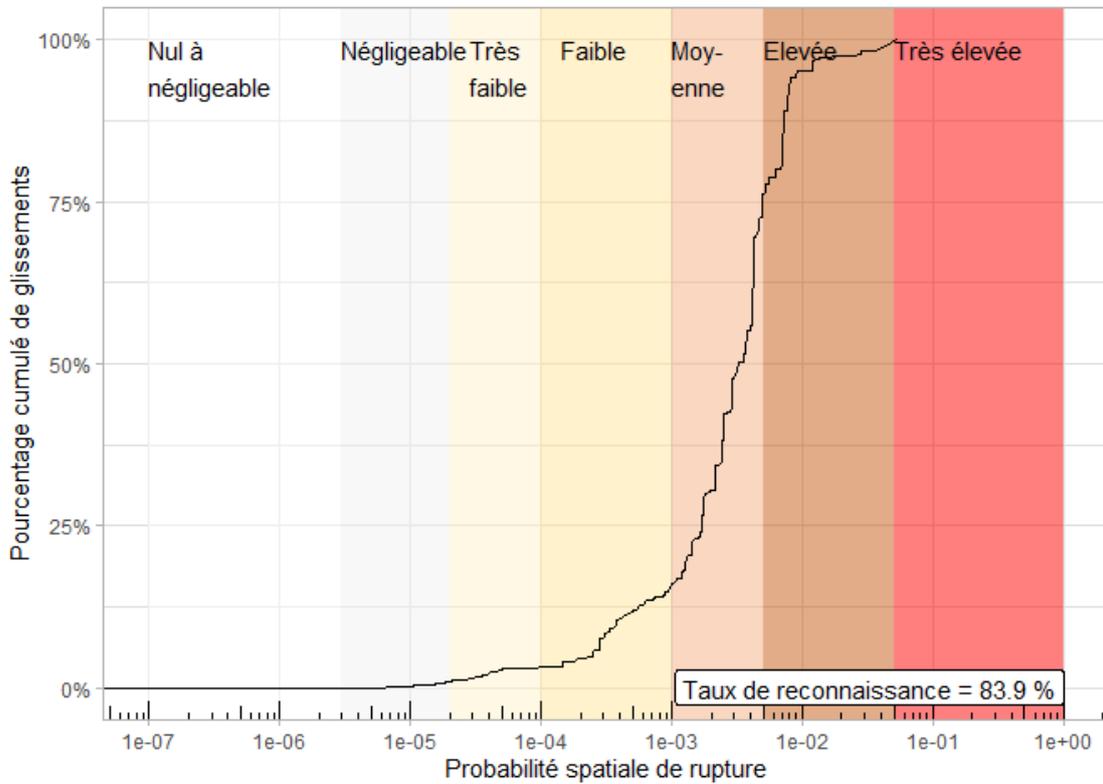


COURBE DE VALIDATION

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

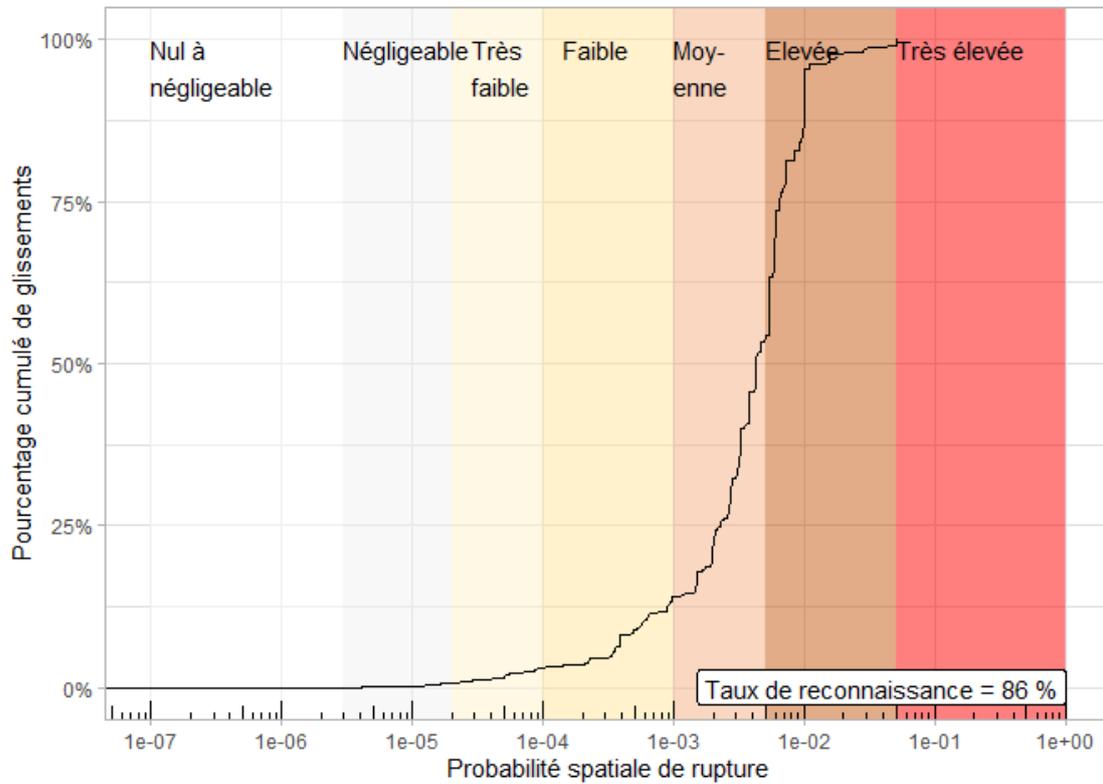


CONFIANCE STATISTIQUE

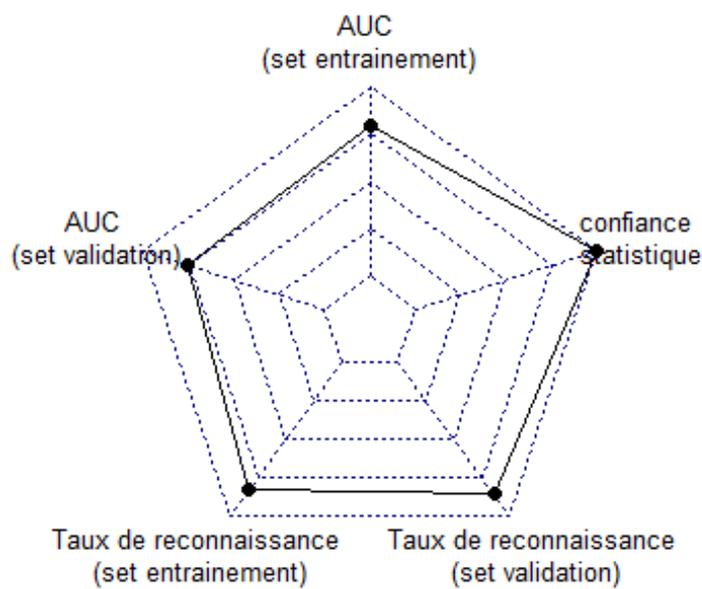
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000003	Nul à négligeable	212,790	15,520	7.293576
0.0000030	0.000020	Négligeable	195,456	69,719	35.669921
0.0000200	0.000100	Très faible	198,398	185,770	93.635016
0.0001000	0.001000	Faible	342,773	341,022	99.489166
0.0010000	0.005000	Moyenne	926,157	926,132	99.997301
0.0050000	0.050000	Elevée	128,100	128,100	100.000000
0.0500000	1.000000	Très élevée	30	30	100.000000

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

COURBE DE RECONNAISSANCE



INDICATEURS STATISTIQUES



METHODE REGOLITE

Table 4: 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	457,884	31	-2.4166	0.1796	0.2711	0.0274	-2.6877
steep slope, fine texture, high convexity	11	286,088	562	0.9531	0.0422	-0.3596	0.0354	1.3127
gentle slope, fine texture, low convexity	17	104,987	27	-1.0818	0.1925	0.0395	0.0274	-1.1214
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	295,150	34	-1.8851	0.1715	0.1538	0.0275	-2.0389
gentle slope, fine texture, high convexity	49	177,713	51	-0.9721	0.14	0.0665	0.0276	-1.0387
steep slope, coarse texture, low convexity	65	127,379	205	0.7534	0.0699	-0.09	0.0294	0.8434
steep slope, fine texture, low convexity	81	186,005	255	0.5928	0.0627	-0.0983	0.0301	0.6911
steep slope, coarse texture, high convexity	97	147,095	197	0.5694	0.0713	-0.0711	0.0293	0.6405

Table 5: Poids sur jeu de donnée complet – Régolithe

Regolithe FS	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	765,271	293	-0.6837	0.0584	0.3131	0.0306	-0.9968
FAU-très mince	2	427,812	596	0.6089	0.041	-0.3044	0.0361	0.9133
FAL-anthropique	3	4,361	19	1.752	0.2299	-0.0121	0.0273	1.7641
FAU-épais	5	129,897	106	0.0734	0.0972	-0.0065	0.0282	0.0799
FAL-chaos blocs	6	127,465	194	0.6975	0.0719	-0.0795	0.0293	0.777
FAL-colluvions à blocs	7	165,062	128	0.0224	0.0884	-0.0022	0.0285	0.0246
FAL-formations alluviales	8	166,013	26	-1.5779	0.1961	0.0784	0.0274	-1.6563
FAL-colluvions-ND	9	10,211	0	-4.0412	100	0.006	0.0271	-4.0472

Table 6: Poids sur jeu de donnée complet – Substrat

Substrat	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Grès et calcaire	1	170,617	0	-6.8571	100	0.0998	0.0271	-6.9569
Argilites	2	532,116	1	-6.0009	1	0.3514	0.0271	-6.3523
Volcanique	3	87,224	7	-2.2466	0.378	0.0452	0.0272	-2.2918
Péridotites indifférenciées	4	914,150	1,285	0.6179	0.0279	-2.1534	0.114	2.7712
Flysch	5	13,760	0	-4.3395	100	0.008	0.0271	-4.3475
Serpentinites	6	22,189	63	1.3223	0.1262	-0.035	0.0278	1.3573
Gabbro	7	56,036	6	-1.9582	0.4083	0.0275	0.0272	-1.9857

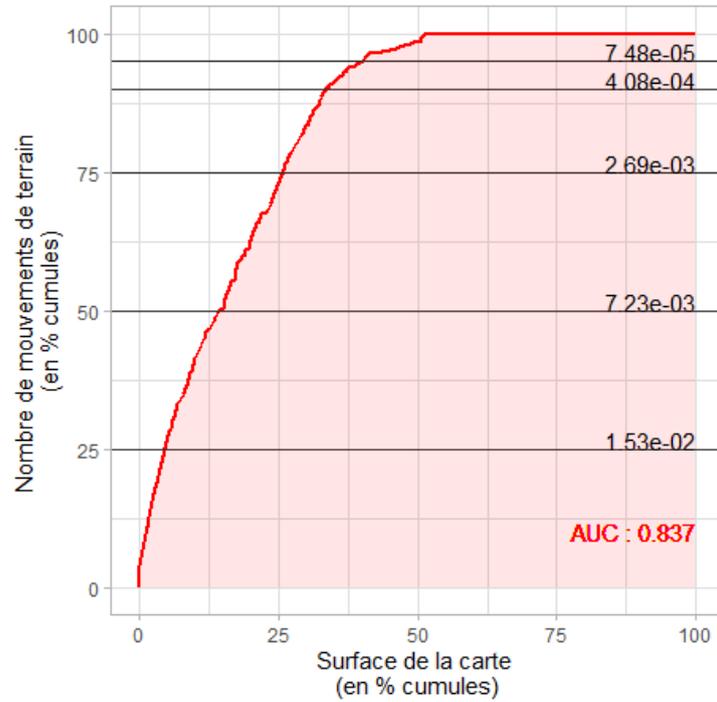
Table 7: Poids sur jeu de donnée complet - Pente

Pente	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5°	1	264,928	0	-7.2972	100	0.1684	0.0271	-7.4656
5-10°	2	168,804	3	-3.7542	0.5774	0.1056	0.0271	-3.8598
10-15°	3	188,423	21	-1.9181	0.2182	0.1048	0.0273	-2.0229
15-20°	4	229,791	36	-1.5776	0.1667	0.1198	0.0275	-1.6974
20-25°	5	244,409	114	-0.4863	0.0937	0.0677	0.0283	-0.554
25-30°	6	235,752	244	0.3113	0.0641	-0.0476	0.0299	0.3589
30-35°	7	186,255	282	0.6922	0.0596	-0.1143	0.0304	0.8065
35-40°	8	146,063	324	1.0749	0.0556	-0.1786	0.031	1.2534
40-45°	9	86,217	278	1.4499	0.0601	-0.1705	0.0304	1.6204
45-50°	10	27,293	55	0.9786	0.135	-0.0176	0.0277	0.9962
>50°	11	4,366	5	0.4127	0.4475	0.006	0.0272	0.4066

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

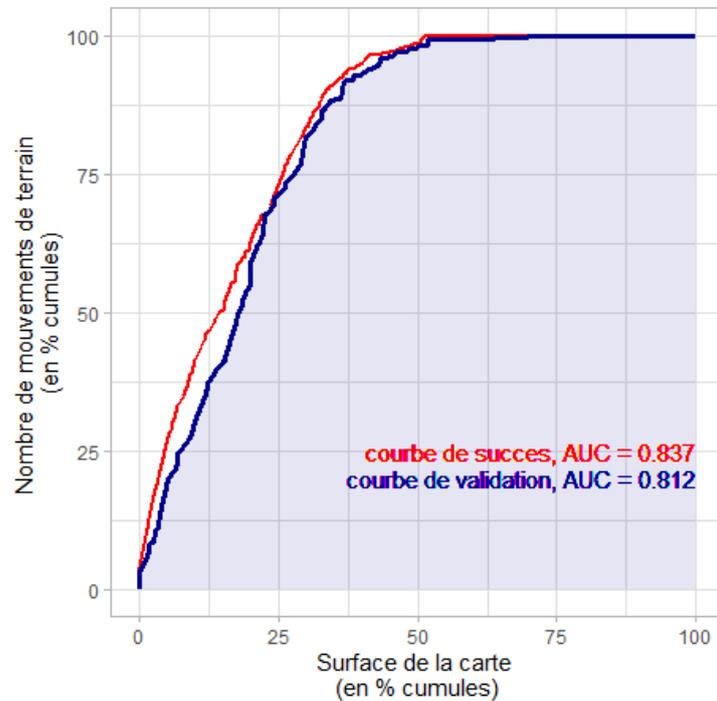
COURBE DE SUCCES ET AIRE SOUS LA COURBE

Courbe de succes sur set d'entrainement

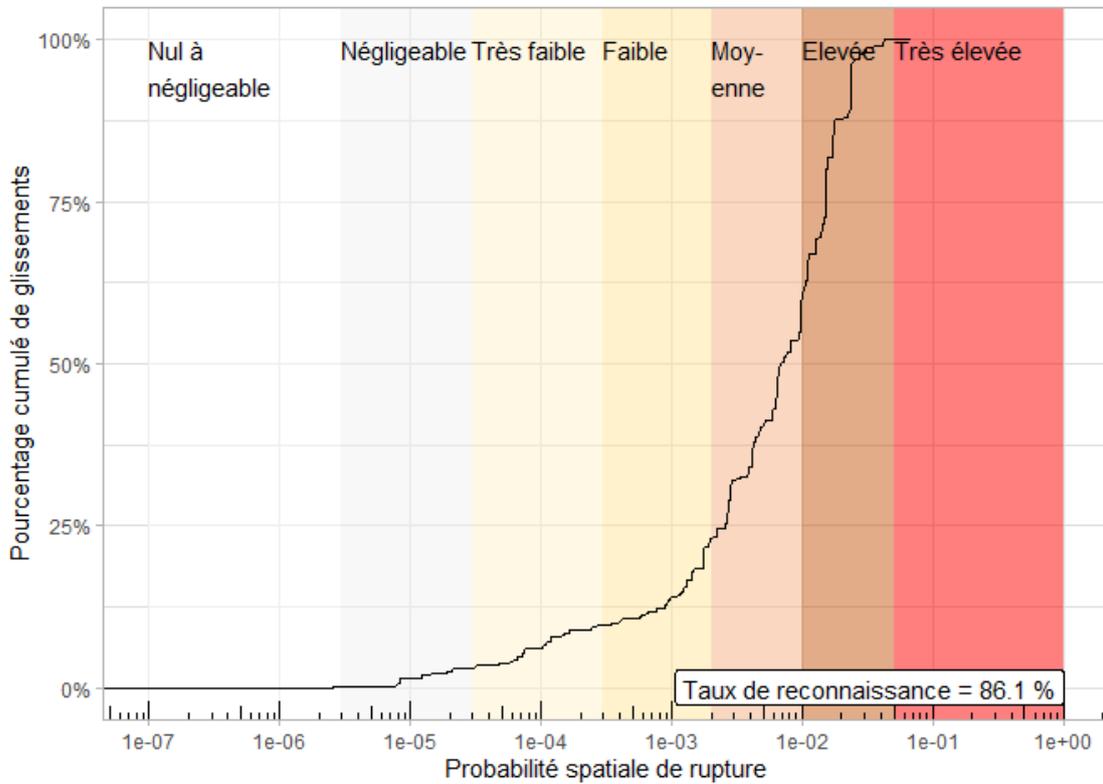


COURBE DE VALIDATION

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

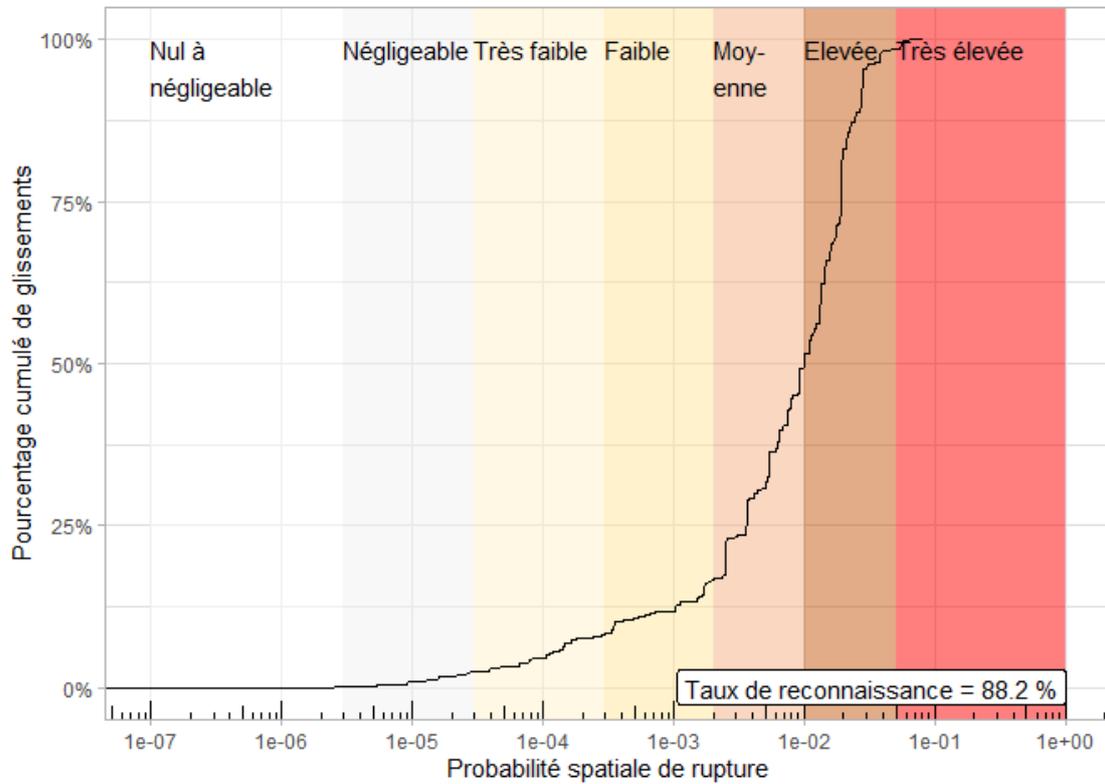


CONFIANCE STATISTIQUE

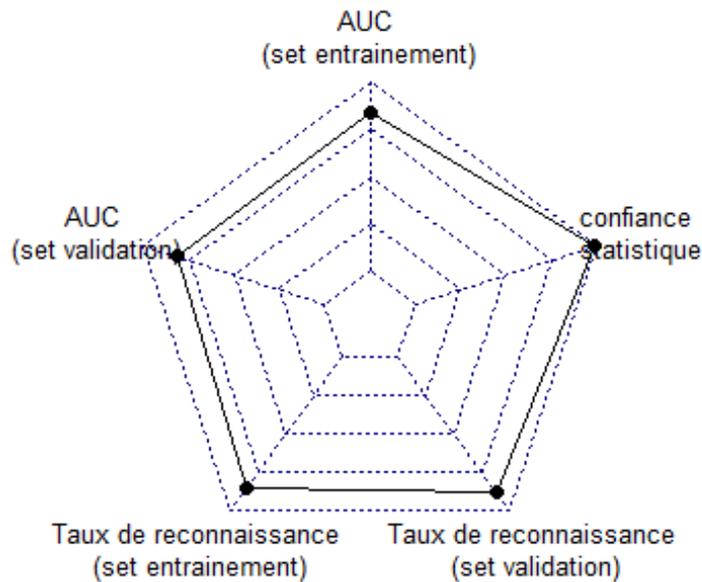
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000003	Nul à négligeable	178,503		
0.0000030	0.000030	Négligeable	184,002	112,888	61.35151
0.0000300	0.000300	Très faible	185,454	176,036	94.92165
0.0003000	0.002000	Faible	129,377	126,307	97.62709
0.0020000	0.010000	Moyenne	297,440	295,015	99.18471
0.0100000	0.050000	Elevée	181,709	179,700	98.89439
0.0500000	1.000000	Très élevée	121	121	100.00000

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

COURBE DE RECONNAISSANCE



INDICATEURS STATISTIQUES



PROBABILITE ANNUELLE DE RUPTURE TOTALE

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	6,9E+05	NA	NA	nulle à négligeable	nulle à négligeable	nul à négligeable
négligeable	2	1,7E+05	12	1,63E-06	très faible	négligeable	très faible
très faible	3	2,2E+05	21	2,19E-06	très faible	négligeable	faible
faible	4	2,5E+05	41	3,71E-06	très faible	très faible	modéré
moyenne	5	7,0E+05	322	1,04E-05	faible	très faible	modéré
forte	6	4,8E+05	431	2,04E-05	faible	faible	élevé
très forte	7	7,5E+02	12	3,63E-04	moyenne	moyenne	élevé

GLISSEMENTS FINS

METHODE GEOLOGIE 50K

TABLE DES POIDS

Table 8: 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	697,580	82	-0.1705	0.1104	0.0577	0.0609	-0.2282
gentle slope, fine texture, low convexity	17	115,815	14	-0.1426	0.2673	0.0063	0.0544	-0.1488
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	121,205	26	0.4311	0.1961	-0.0277	0.0554	0.4588
gentle slope, fine texture, high convexity	49	235,515	54	0.4977	0.1361	-0.0684	0.0579	0.5661
steep slope, coarse texture, low convexity	65	267,804	18	-0.7296	0.2357	0.0597	0.0547	-0.7893
steep slope, fine texture, low convexity	81	132,614	7	-0.9712	0.3780	0.0343	0.0538	-1.0055
steep slope, coarse texture, high convexity	97	270,147	60	0.4659	0.1291	-0.0732	0.0585	0.5390
steep slope, fine texture, high convexity	113	670,554	91	-0.0269	0.1048	0.0095	0.0619	-0.0363

Table 9: Poids sur jeu de donnée complet – Géologie 50k

Géologie.50	Class	Count	Point. Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Alluvions	1	178,474	0	-6.5609	100.0000	0.0736	0.0533	-6.6345
Argilites et siltites	2	398,859	148	0.9792	0.0822	-0.3716	0.0700	1.3508
Basaltes	3	23,876	4	0.1838	0.5000	-0.0010	0.0536	0.1849
Calcaires	4	185	0	0.3109	100.0000	0.0010	0.0533	0.3099
Colluvions à blocs (ultra)	5	50,742	3	-0.8578	0.5774	0.0122	0.0535	-0.8700
Colluvions indifférenciées	6	7,848	0	-3.4367	100.0000	0.0040	0.0533	-3.4407
Cuirasse démantelée	7	18,601	0	-4.2997	100.0000	0.0080	0.0533	-4.3077
Cuirasse en place	8	3,191	4	2.1975	0.5003	-0.0091	0.0536	2.2065
Flysch	9	13,504	0	-3.9794	100.0000	0.0060	0.0533	-3.9855
Formations littorales indifférenciées	10	6,629	0	-3.2679	100.0000	0.0030	0.0533	-3.2709
Gabbros	11	37,854	89	2.8275	0.1061	-0.2756	0.0617	3.1031
Granitoïdes	12	380	0	-0.4089	100.0000	0.0010	0.0533	-0.4099
Grès	13	145,566	12	-0.5254	0.2887	0.0252	0.0542	-0.5505
Latérites épaisses	14	70,766	6	-0.4973	0.4083	0.0123	0.0538	-0.5096
Latérites indifférenciées	15	158,057	16	-0.3200	0.2500	0.0190	0.0546	-0.3390
Latérites minces	16	148,677	8	-0.9520	0.3536	0.0386	0.0539	-0.9906
Laves indifférenciées	17	51,410	13	0.5956	0.2774	-0.0165	0.0543	0.6121
Listvénites	18	3,616	8	2.7665	0.3539	-0.0213	0.0539	2.7878
Péridotites	19	1,196,481	41	-1.4033	0.1562	0.5211	0.0567	-1.9243
Serpentinites	20	8,340	0	-3.4975	100.0000	0.0040	0.0533	-3.5015

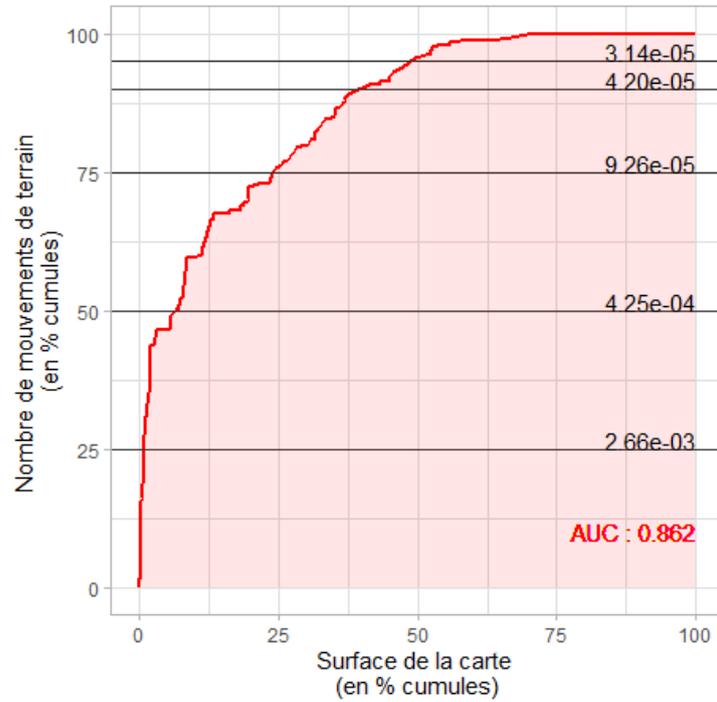
Table 10: Poids sur jeu de donnée complet - Pente

pente	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5°	1	268,136	4	-2.2349	0.5000	0.1077	0.0536	-2.3427
5-10°	2	177,474	15	-0.5004	0.2582	0.0351	0.0545	-0.5355
10-15°	3	209,556	55	0.6329	0.1349	-0.0775	0.0580	0.7103
15-20°	4	276,263	47	0.1992	0.1459	-0.0217	0.0573	0.2209
20-25°	5	322,008	79	0.5654	0.1125	-0.1109	0.0605	0.6763
25-30°	6	360,094	88	0.5615	0.1066	-0.1275	0.0615	0.6890
30-35°	7	350,431	32	-0.4231	0.1768	0.0601	0.0559	-0.4832
35-40°	8	314,496	23	-0.6452	0.2085	0.0721	0.0551	-0.7172
40-45°	9	179,668	8	-1.1414	0.3536	0.0569	0.0539	-1.1982
45-50°	10	47,301	1	-1.8863	1.0000	0.0213	0.0534	-1.9075
>50°	11	5,807	0	-3.1355	100.0000	0.0080	0.0533	-3.1436

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

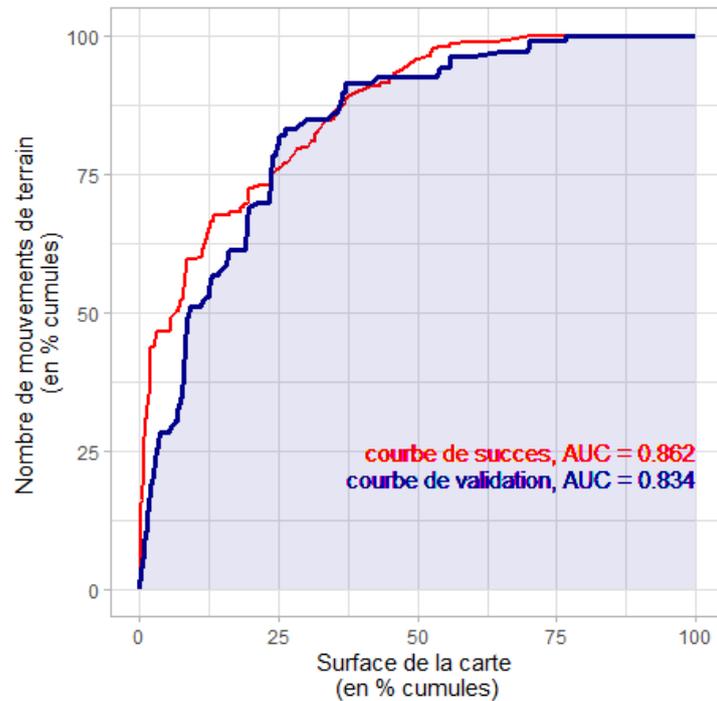
COURBE DE SUCCES ET AIRE SOUS LA COURBE

Courbe de succes sur set d'entrainement

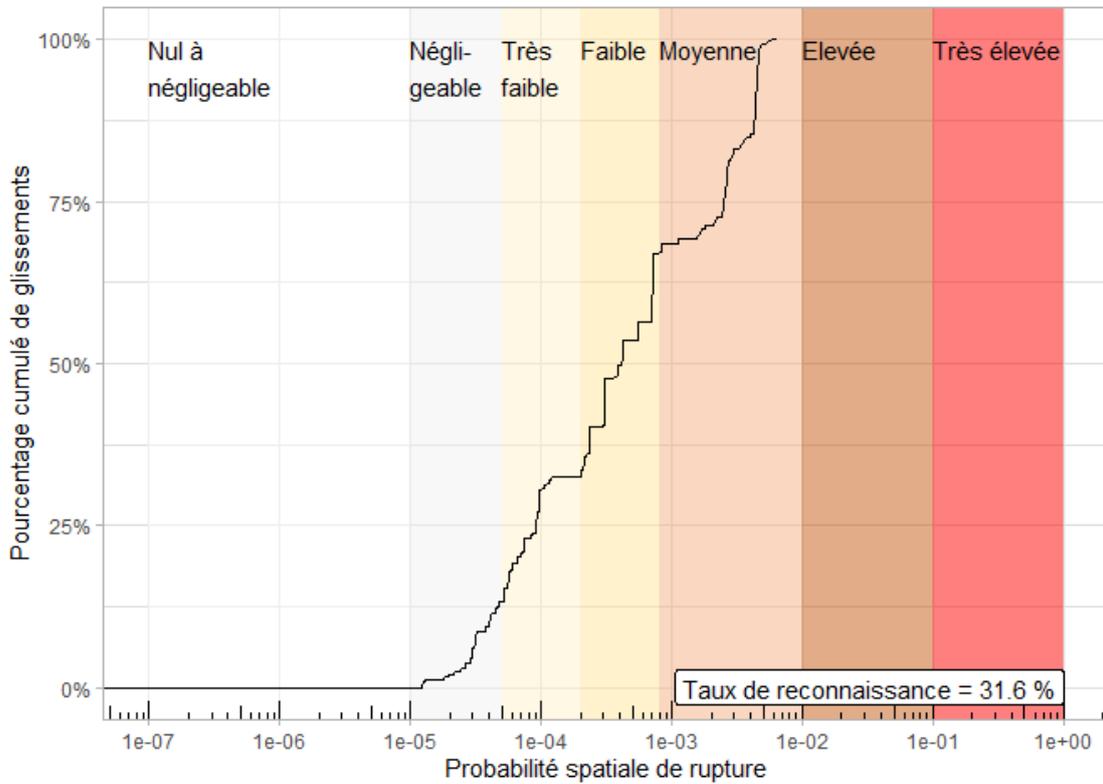


COURBE DE VALIDATION

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

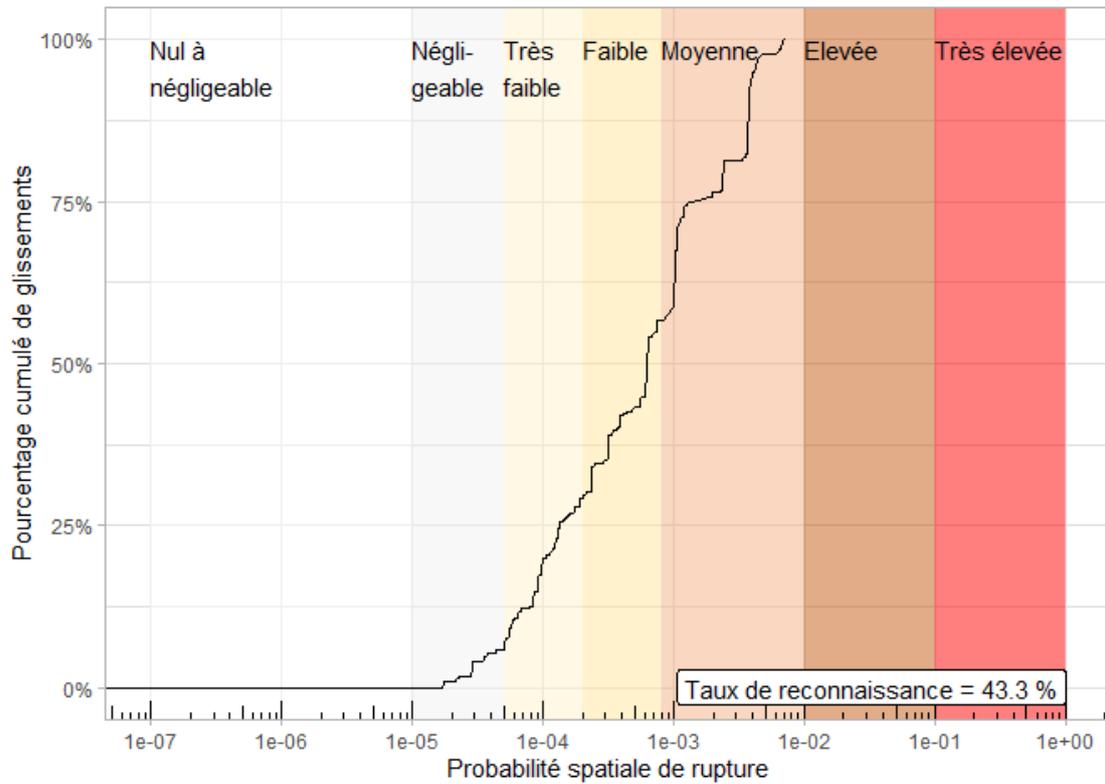


CONFIANCE STATISTIQUE

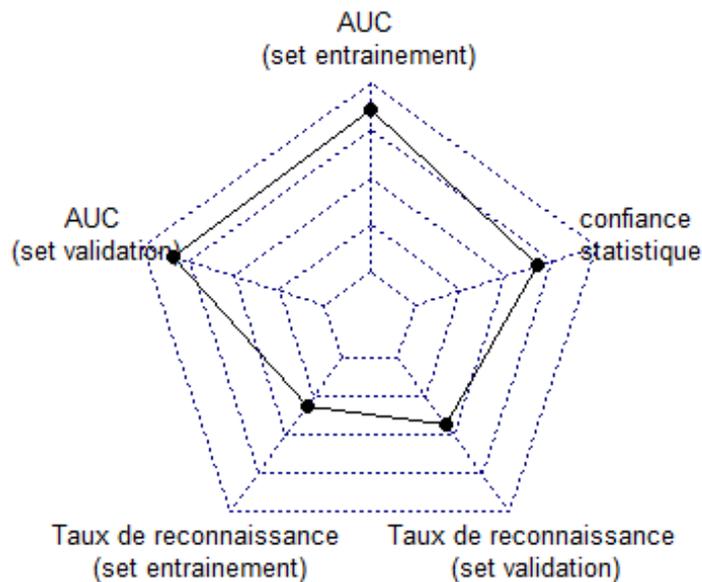
xmin	xmax	proba	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.00001	Nul à négligeable	540,217	107,627	19.92292
0.0000100	0.00005	Négligeable	923,502	545,516	59.07036
0.0000500	0.00020	Très faible	551,046	343,868	62.40278
0.0002000	0.00080	Faible	301,292	256,504	85.13469
0.0008000	0.01000	Moyenne	40,636	28,224	69.45566
0.0100000	0.10000	Elevée			
0.1000000	1.00000	Très élevée			

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

COURBE DE RECONNAISSANCE



INDICATEURS STATISTIQUES



METHODE REGOLITHE**TABLE DES POIDS**

Table 11 : Poids sur jeu de donnée complet - Régolithe

FS	Class	Count	Point. Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	765,271	257	0.6435	0.0624	-1.1109	0.1291	1.7544
FAU-très mince	2	427,812	36	-0.7408	0.1667	0.1508	0.0597	-0.8915
FAL-anthropique	3	4,361	0	-3.1898	100.0000	0.0020	0.0562	-3.1918
FAU-épais	5	129,897	21	-0.0877	0.2182	0.0064	0.0581	-0.0942
FAL-chaos blocs	6	127,465	0	-6.5650	100.0000	0.0736	0.0562	-6.6386
FAL-colluvions à blocs	7	165,062	2	-2.6788	0.7071	0.0905	0.0563	-2.7693
FAL-formations alluviales	8	166,013	0	-6.8292	100.0000	0.0965	0.0562	-6.9257
FAL-colluvions-ND	9	10,211	1	-0.5891	1.0000	0.0030	0.0563	-0.5921

Table 12 : Poids sur jeu de donnée complet - Pentes

pen	Class	Count	Point. Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
5-10°	2	168,804	15	-0.6863	0.2582	0.0594	0.0575	-0.7457
10-15°	3	188,423	52	0.4471	0.1387	-0.0592	0.0614	0.5064
15-20°	4	229,791	44	0.0815	0.1508	-0.0035	0.0605	0.0850
20-25°	5	244,409	68	0.4553	0.1213	-0.0866	0.0634	0.5418
25-30°	6	235,752	81	0.6663	0.1111	-0.1461	0.0651	0.8124
30-35°	7	186,255	28	-0.1604	0.1890	0.0255	0.0588	-0.1860
35-40°	8	146,063	18	-0.3592	0.2357	0.0345	0.0578	-0.3938
40-45°	9	86,217	6	-0.9307	0.4083	0.0384	0.0567	-0.9692
45-50°	10	27,293	1	-1.5723	1.0000	0.0203	0.0563	-1.5925
>50°	11	4,366	0	-3.1910	100.0000	0.0101	0.0562	-3.2010
5-10°	2	168,804	15	-0.6863	0.2582	0.0594	0.0575	-0.7457

Table 13 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	656,855	78	-0.3963	0.1132	0.1733	0.0647	-0.5697
gentle slope, fine texture, low convexity	17	96,793	14	-0.1991	0.2673	0.0105	0.0575	-0.2096
gentle slope, coarse texture, high convexity	33	96,179	24	0.3464	0.2041	-0.0235	0.0584	0.3699
gentle slope, fine texture, high convexity	49	185,907	46	0.3380	0.1475	-0.0480	0.0608	0.3859
steep slope, coarse texture, low convexity	65	132,766	15	-0.4461	0.2582	0.0287	0.0575	-0.4749
steep slope, fine texture, low convexity	81	69,746	7	-0.5645	0.3780	0.0175	0.0568	-0.5821
steep slope, coarse texture, high convexity	97	141,708	48	0.6521	0.1444	-0.0814	0.0610	0.7335
steep slope, fine texture, high convexity	113	402,347	85	0.1799	0.1085	-0.0584	0.0657	0.2382

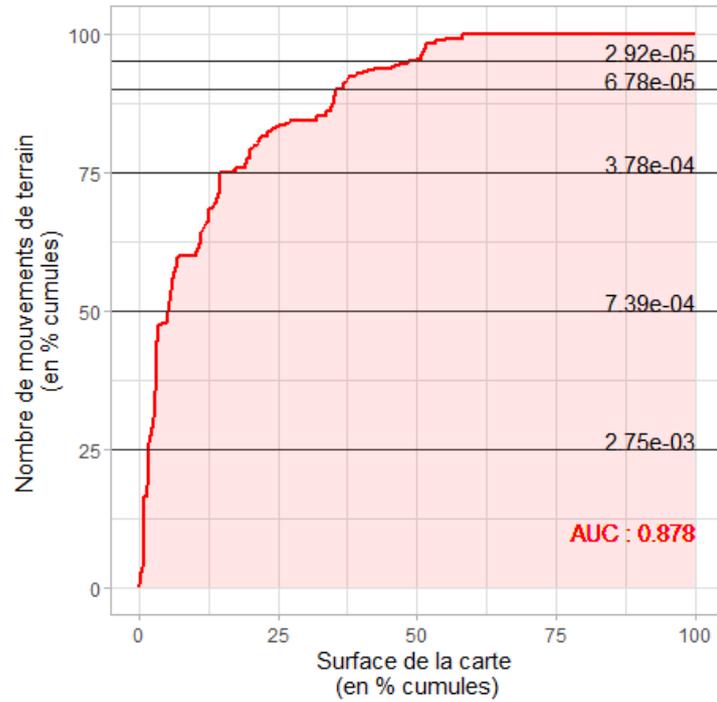
Table 14 Poids sur jeu de donnée complet – Substrat

Substrat	Class	Count	Point. Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Grès	1	170,432	12	-0.9190	0.2887	0.0611	0.0573	-0.9801
Argilites	2	532,116	151	0.4750	0.0814	-0.2953	0.0776	0.7703
Basaltes indifférenciés	3	37,223	13	0.6827	0.2774	-0.0206	0.0574	0.7033
Tufs	4	36,013	2	-1.1564	0.7071	0.0142	0.0563	-1.1705
Péridotites indifférenciées	5	910,746	35	-1.5246	0.1690	0.5907	0.0596	-2.1153
Laves indifférenciées	6	13,988	2	-0.2106	0.7072	0.0020	0.0563	-0.2126
Calcaires	7	185	0	-0.0297	100.0000	0.0010	0.0562	-0.0307
Listvénites	8	3,404	8	2.5912	0.3540	-0.0233	0.0569	2.6145
Flysch	9	13,760	0	-4.3389	100.0000	0.0080	0.0562	-4.3469
Serpentinites	10	22,189	0	-4.8167	100.0000	0.0121	0.0562	-4.8288
Gabbro	11	56,036	94	2.2533	0.1032	-0.3209	0.0670	2.5742

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

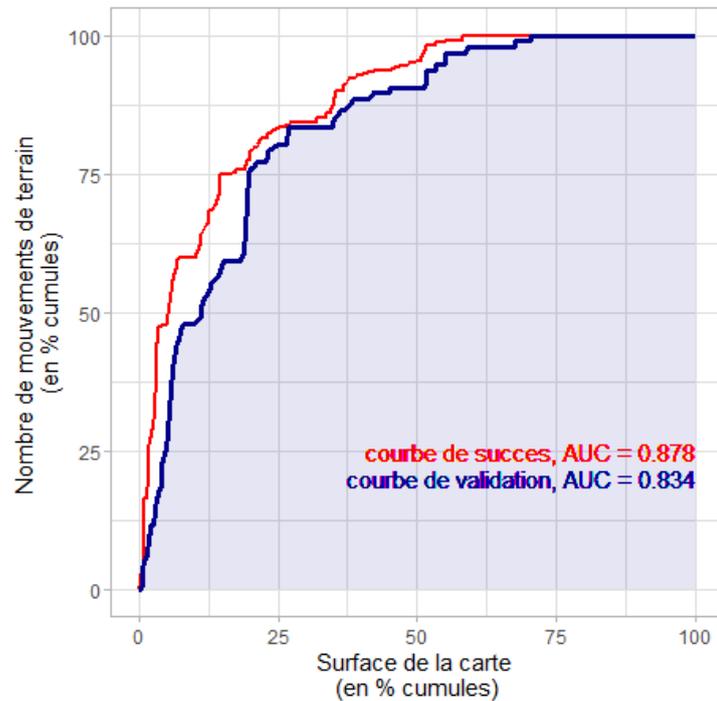
COURBE DE SUCCES ET AIRE SOUS LA COURBE

Courbe de succes sur set d'entrainement

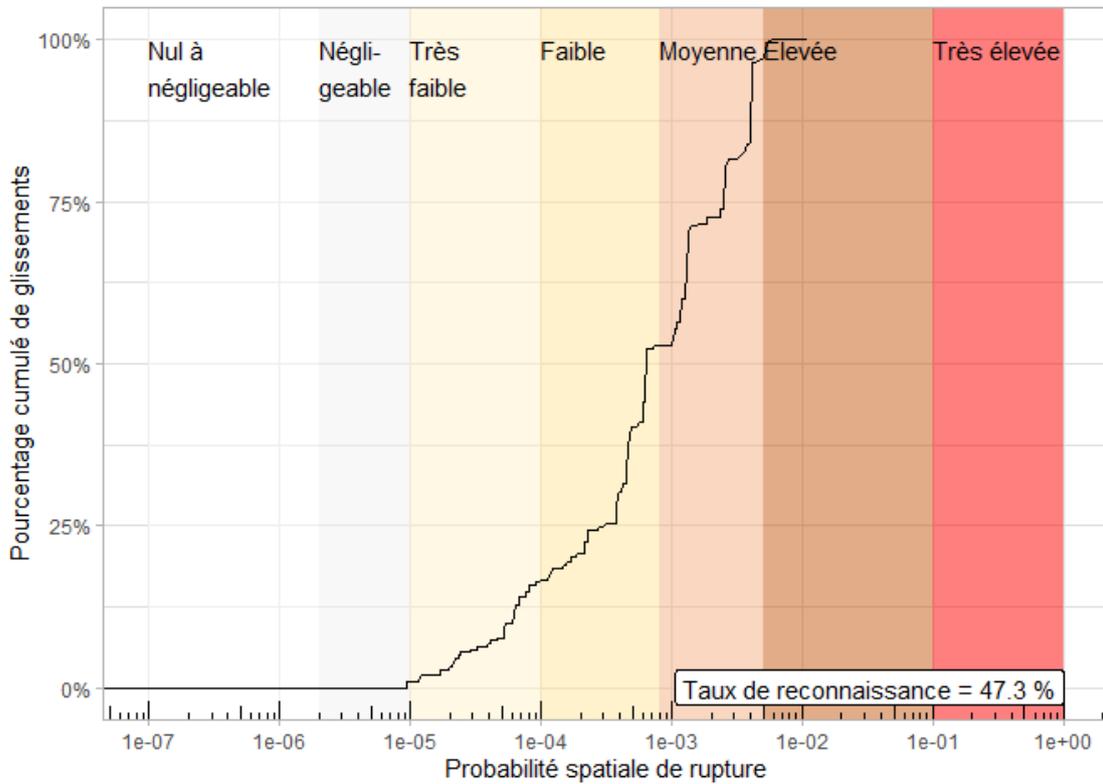


COURBE DE VALIDATION

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

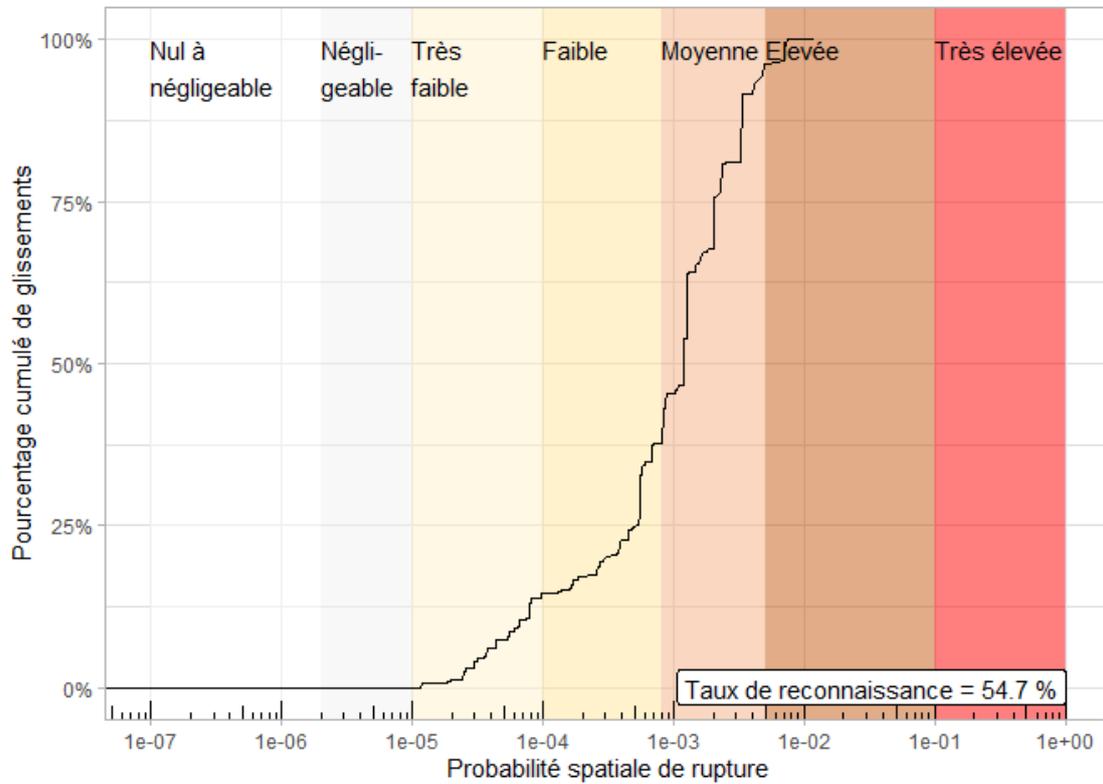


CONFIANCE STATISTIQUE

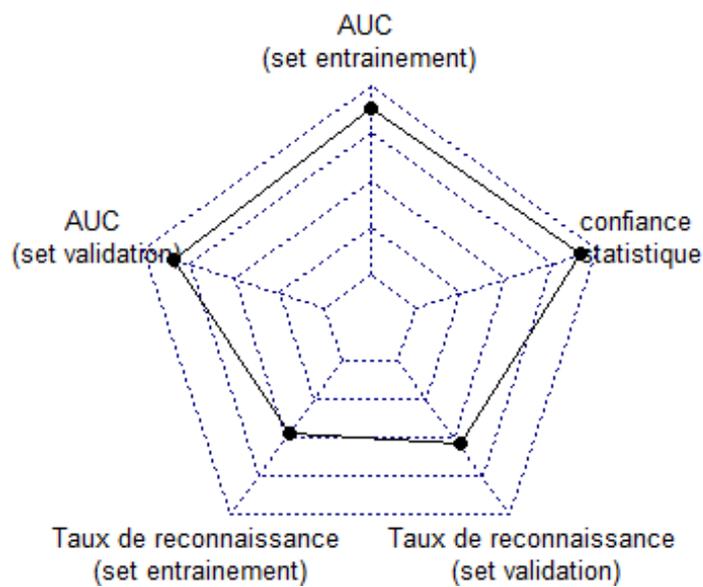
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000002	Nul à négligeable	137,325		
0.0000020	0.000010	Négligeable	321,318		
0.0000100	0.000100	Très faible	563,624	401,435	71.22390
0.0001000	0.000800	Faible	402,275	324,530	80.67367
0.0008000	0.005000	Moyenne	60,542	47,851	79.03769
0.0050000	0.100000	Elevée	11,006	11,006	100.00000
0.1000000	1.000000	Très élevée			

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	3,1E+05	NA	NA			négligeable
négligeable	2	5,1E+05	NA	NA			négligeable
très faible	3	8,7E+05	15	3,91E-07	négligeable	négligeable	très faible
faible	4	6,3E+05	19	6,89E-07	négligeable	très faible	faible
moyenne	5	1,7E+05	18	2,47E-06	très faible	faible	modéré
forte	6	3,1E+04	1	7,24E-07	négligeable	faible	modéré
très forte	7	2,2E+06	NA	NA			

LAVES TORRENTIELLES**METHODE GEOLOGIE 50K****TABLE DES POIDS**

Table 15 : Poids sur jeu de donnée complet – Géologie 50k

Géologie.50	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
Alluvions	1	178,474	0	-6.5610	100.0000	0.0736	0.0406	-6.6346
Argilites et siltites	2	398,859	0	-7.3652	100.0000	0.1732	0.0406	-7.5383
Basaltes	3	23,876	0	-4.5494	100.0000	0.0101	0.0406	-4.5595
Calcaires	4	185	0	0.3108	100.0000	0.0010	0.0406	0.3098
Colluvions à blocs (ultra)	5	50,742	0	-5.3033	100.0000	0.0212	0.0406	-5.3245
Colluvions indifférenciées	6	7,848	0	-3.4368	100.0000	0.0040	0.0406	-3.4408
Cuirasse démantelée	7	18,601	0	-4.2998	100.0000	0.0080	0.0406	-4.3078
Cuirasse en place	8	3,191	0	-2.5369	100.0000	0.0020	0.0406	-2.5389
Flysch	9	13,504	0	-3.9795	100.0000	0.0060	0.0406	-3.9856
Formations littorales indifférenciées	10	6,629	0	-3.2680	100.0000	0.0030	0.0406	-3.2710
Gabbros	11	37,854	0	-5.0103	100.0000	0.0161	0.0406	-5.0264
Granitoïdes	12	380	0	-0.4090	100.0000	0.0010	0.0406	-0.4100
Grès	13	145,566	0	-6.3572	100.0000	0.0598	0.0406	-6.4169
Latérites épaisses	14	70,766	1	-2.8325	1.0000	0.0274	0.0407	-2.8599
Latérites indifférenciées	15	158,057	107	1.0375	0.0967	-0.1297	0.0448	1.1672
Latérites minces	16	148,677	72	0.7023	0.1179	-0.0648	0.0433	0.7671
Laves indifférenciées	17	51,410	0	-5.3164	100.0000	0.0212	0.0406	-5.3376
Listvénites	18	3,616	0	-2.6619	100.0000	0.0020	0.0406	-2.6639
Péridotites	19	1,196,481	426	0.3946	0.0485	-0.5697	0.0745	0.9642
Serpentinites	20	8,340	0	-3.4976	100.0000	0.0040	0.0406	-3.5016

Table 16 : Poids sur jeu de donnée complet - Pentes

pen	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5°	1	268,136	0	-6.9681	100.0000	0.1188	0.0406	-7.0868
5-10°	2	177,474	1	-3.7519	1.0000	0.0770	0.0407	-3.8290
10-15°	3	209,556	6	-2.1263	0.4083	0.0821	0.0408	-2.2084
15-20°	4	276,263	37	-0.5834	0.1644	0.0592	0.0419	-0.6426
20-25°	5	322,008	63	-0.2043	0.1260	0.0329	0.0429	-0.2372
25-30°	6	360,094	89	0.0294	0.1060	0.0012	0.0440	0.0282
30-35°	7	350,431	149	0.5721	0.0819	-0.1269	0.0468	0.6990
35-40°	8	314,496	158	0.7390	0.0796	-0.1632	0.0473	0.9022
40-45°	9	179,668	78	0.5929	0.1133	-0.0580	0.0435	0.6509
45-50°	10	47,301	25	0.7898	0.2001	-0.0176	0.0415	0.8073
>50°	11	5,807	0	-3.1356	100.0000	0.0080	0.0406	-3.1437

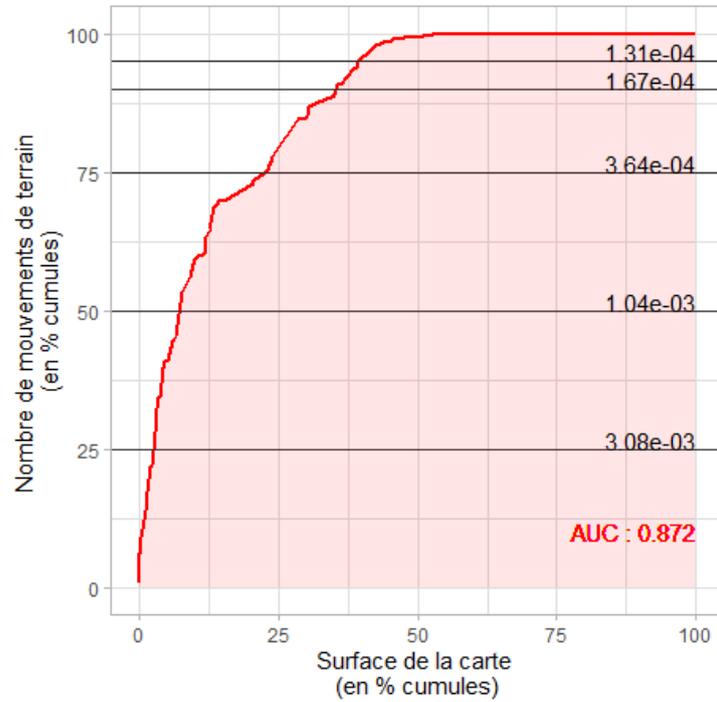
Table 17 Poids sur jeu de donnée complet – TPI

TPI	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
V-shape river valley. Deep narrow canyons	1	126,976	39	0.2468	0.1602	-0.0085	0.0420	0.2553
Lateral midslope incised drainage	2	179,147	290	1.9102	0.0588	-0.5730	0.0563	2.4832
Upland incised drainage. Stream headwaters	3	18,307	34	2.0478	0.1717	-0.0445	0.0418	2.0924
U-shape valleys	4	197,590	5	-2.2498	0.4472	0.0797	0.0408	-2.3295
Broad flat area (slope=0)	5	249,511	0	-6.8961	100.0000	0.1098	0.0406	-7.0059
Broad open slopes (slopes>0)	6	1,171,310	160	-0.5637	0.0791	0.3265	0.0474	-0.8901
Flat ridge tops mesa tops	7	226,213	72	0.2824	0.1179	-0.0269	0.0433	0.3093
Local ridge/hilltops within broad valleys	8	17,488	0	-4.2381	100.0000	0.0121	0.0406	-4.2501
Lateral midslope drainage divides. Local ridges in plains	9	189,041	6	-2.0233	0.4083	0.0733	0.0408	-2.0966
Mountain top. High narrow ridges	10	135,651	0	-6.2866	100.0000	0.0608	0.0406	-6.3475

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

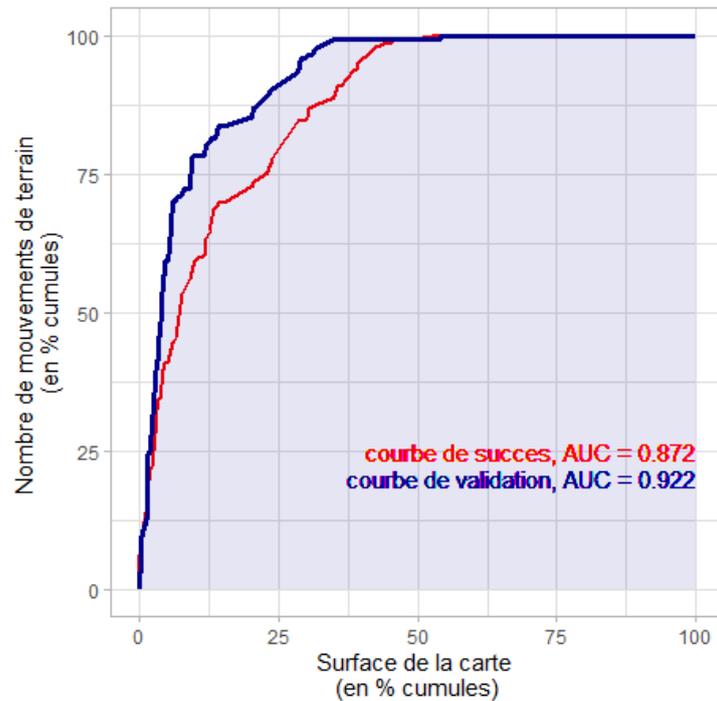
COURBE DE SUCCES ET AIRE SOUS LA COURBE

Courbe de succes sur set d'entrainement

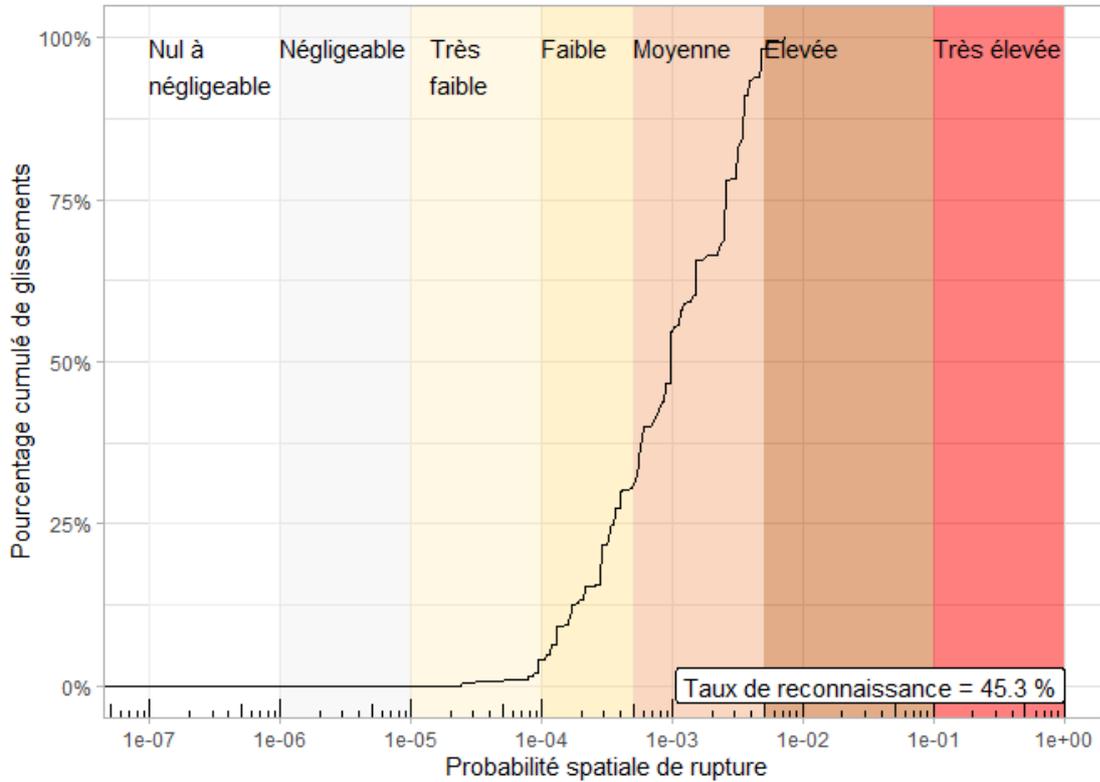


COURBE DE VALIDATION

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

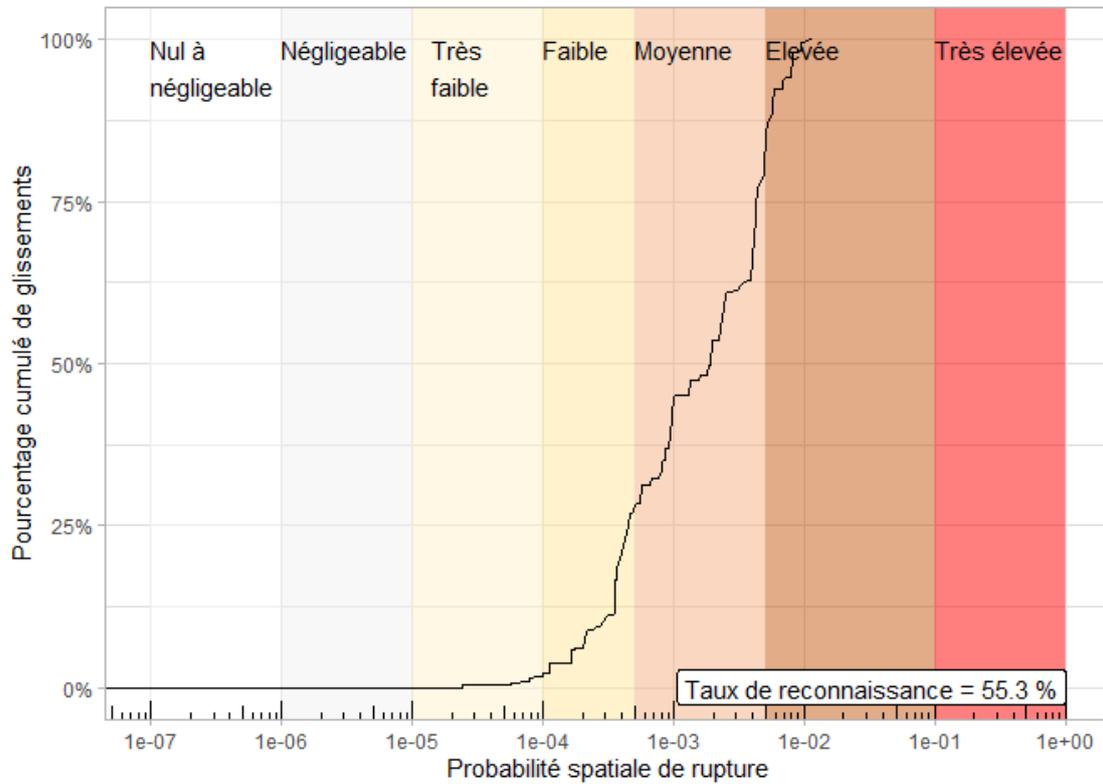


CONFIANCE STATISTIQUE

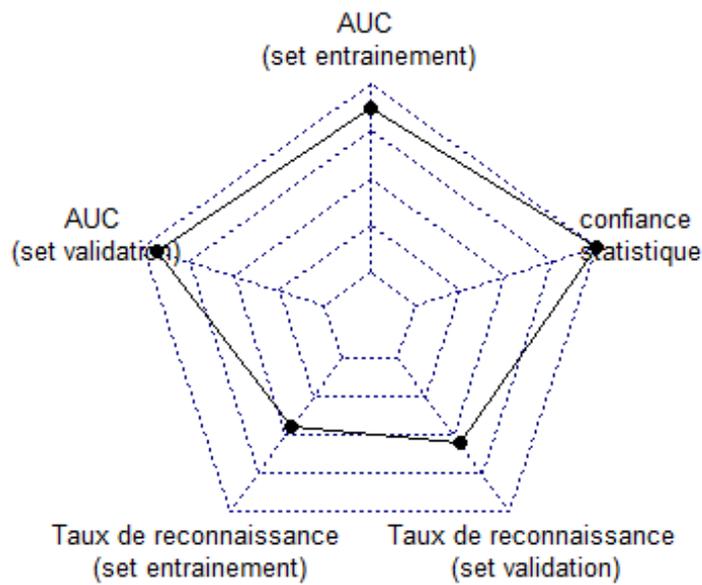
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000001	Nul à négligeable	285,396		
0.0000010	0.000010	Négligeable	122,597		
0.0000100	0.000100	Très faible	331,285	67,348	20.32932
0.0001000	0.000500	Faible	661,304	634,854	96.00033
0.0005000	0.005000	Moyenne	355,825	355,792	99.99073
0.0050000	0.100000	Elevée	2,311	2,311	100.00000
0.1000000	1.000000	Très élevée			

SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

COURBE DE RECONNAISSANCE



INDICATEURS STATISTIQUES



METHODE REGOLITHE**TABLE DES POIDS***Table 18 : Poids sur jeu de donnée complet - Régolithe*

Régolithe	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
FAU-mince	1	765,271	64	-0.9097	0.1250	0.3664	0.0569	-1.2760
FAU-très mince	2	427,812	126	0.3495	0.0891	-0.1407	0.0636	0.4902
FAL-anthropique	3	4,361	7	2.0464	0.3783	-0.0172	0.0523	2.0636
FAU-épais	5	129,897	9	-1.0978	0.3333	0.0504	0.0524	-1.1483
FAL-chaos blocs	6	127,465	75	1.0418	0.1155	-0.1507	0.0579	1.1926
FAL-colluvions à blocs	7	165,062	92	0.9876	0.1043	-0.1872	0.0597	1.1748
FAL-formations alluviales	8	166,013	0	-6.8292	100.0000	0.0965	0.0518	-6.9257
FAL-colluvions-ND	9	10,211	0	-4.0406	100.0000	0.0060	0.0518	-4.0466

Table 19 : Poids sur jeu de donnée complet - Pentes

Pente	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
0-5°	1	264,928	0	-7.2966	100.0000	0.1684	0.0518	-7.4650
5-10°	2	168,804	1	-3.5571	1.0000	0.1046	0.0519	-3.6617
10-15°	3	188,423	3	-2.5685	0.5774	0.1119	0.0520	-2.6803
15-20°	4	229,791	16	-1.0929	0.2500	0.1022	0.0529	-1.1951
20-25°	5	244,409	38	-0.2895	0.1622	0.0479	0.0546	-0.3374
25-30°	6	235,752	48	-0.0198	0.1444	0.0115	0.0555	-0.0313
30-35°	7	186,255	108	1.0272	0.0963	-0.2248	0.0614	1.2520
35-40°	8	146,063	92	1.1100	0.1043	-0.1905	0.0597	1.3005
40-45°	9	86,217	48	0.9865	0.1444	-0.0805	0.0555	1.0670
45-50°	10	27,293	19	1.2101	0.2295	-0.0291	0.0532	1.2392
>50°	11	4,366	0	-3.1910	100.0000	0.0101	0.0518	-3.2011

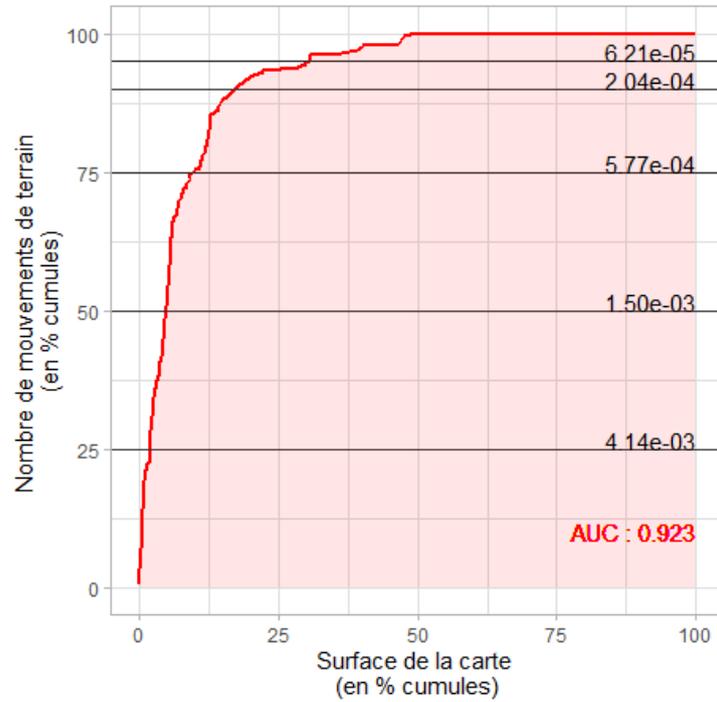
Table 20 Poids sur jeu de donnée complet – TPI

TPI	Class	Count	Point.Count	W_Plus	S_WPlus	W_Minus	S_WMinus	Contrast
V-shape river valley. Deep narrow canyons	1	62,904	16	0.2028	0.2500	0.0450	0.0529	0.1579
Lateral midslope incised drainage	2	125,837	200	2.0365	0.0708	-0.6867	0.0760	2.7232
Upland incised drainage. Stream headwaters	3	10,510	14	1.8597	0.2674	-0.0246	0.0528	1.8843
U-shape valleys	4	105,357	1	-3.0857	1.0000	0.0653	0.0519	-3.1510
Broad flat area (slope=0)	5	249,197	0	-7.2354	100.0000	0.1578	0.0518	-7.3932
Broad open slopes (slopes>0)	6	889,144	85	-0.7759	0.1085	0.4404	0.0589	-1.2163
Flat ridge tops mesa tops	7	121,330	55	0.7809	0.1349	-0.0810	0.0561	0.8619
Local ridge/hilltops within broad valleys	8	6,374	0	-3.5694	100.0000	0.0111	0.0518	-3.5804
Lateral midslope drainage divides. Local ridges in plains	9	129,812	2	-2.6013	0.7071	0.0784	0.0519	-2.6797
Mountain top. High narrow ridges	10	81,836	0	-6.1219	100.0000	0.0545	0.0518	-6.1763

SUR LES JEUX DE DONNEES D'ENTRAINEMENT ET DE VALIDATION

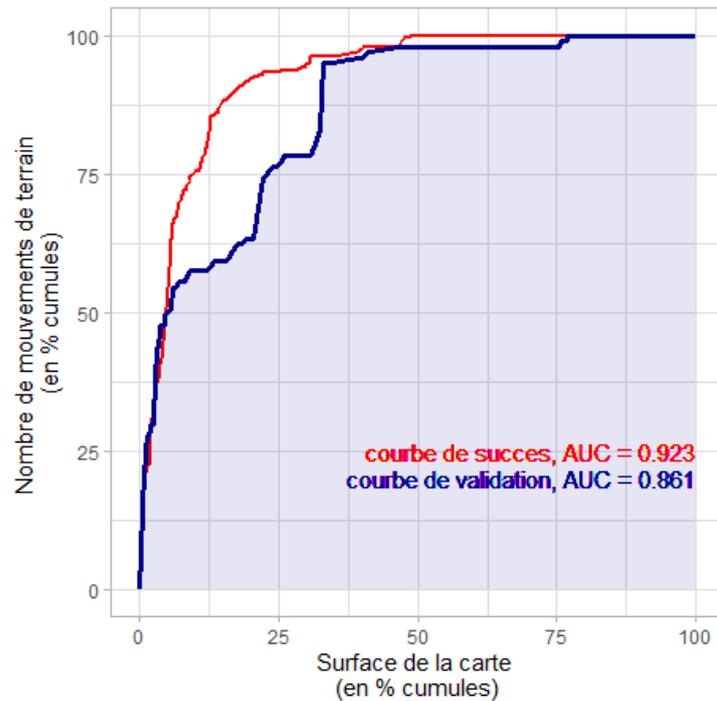
COURBE DE SUCCES ET AIRE SOUS LA COURBE

Courbe de succes sur set d'entrainement

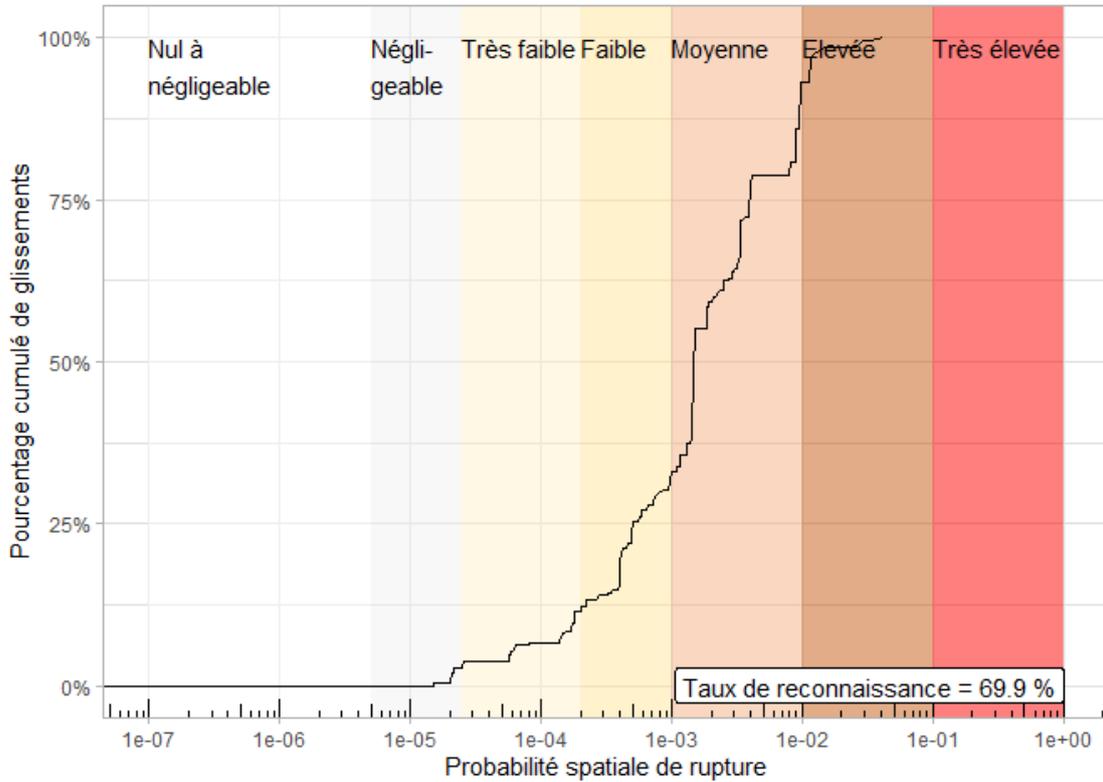


COURBE DE VALIDATION

Courbes de succès et validation



COURBE DE RECONNAISSANCE SUR SET D'ENTRAINEMENT

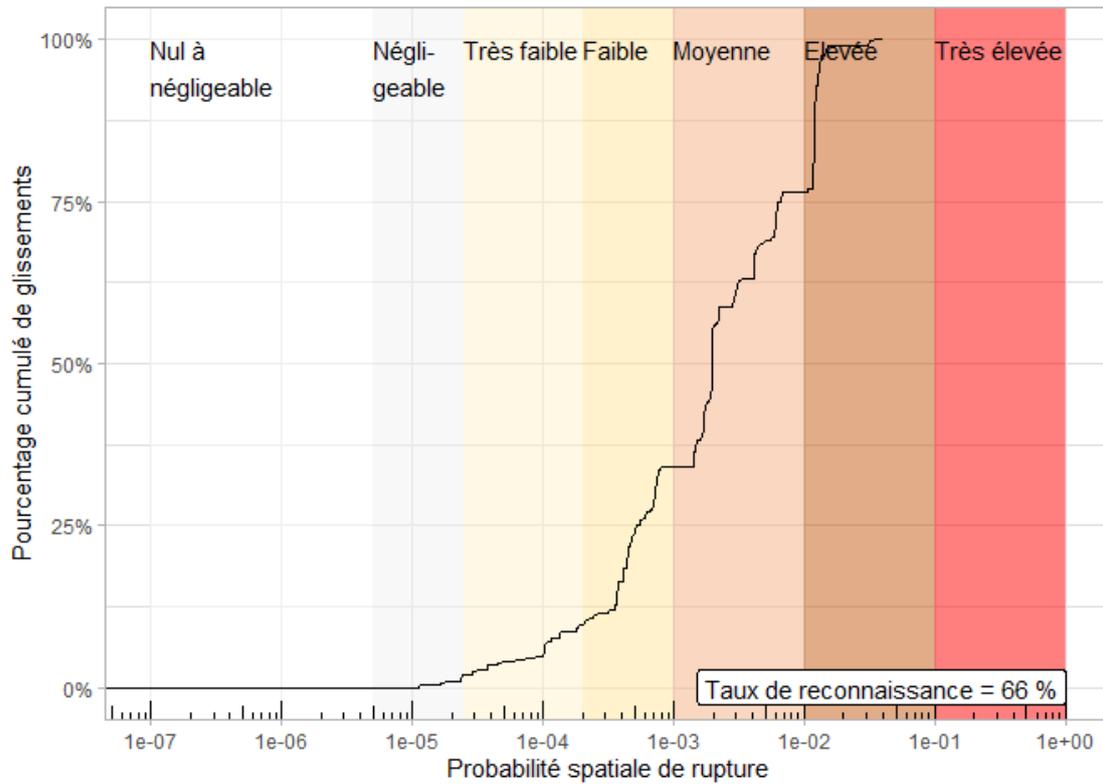


CONFIANCE STATISTIQUE

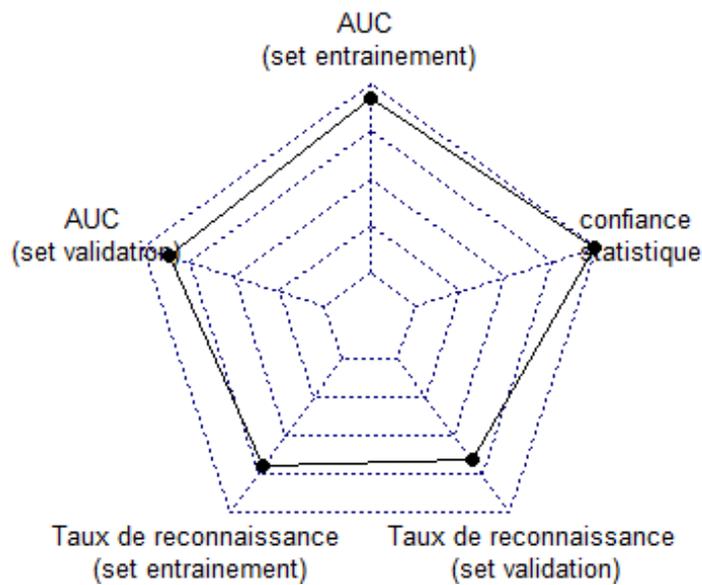
lower	upper	hazard_class	ncell	ncell_sup95	prct_sup95
0.0000001	0.000005	Nul à négligeable	369,563		
0.0000050	0.000025	Négligeable	329,008	219,448	66.69990
0.0000250	0.000200	Très faible	428,854	348,275	81.21062
0.0002000	0.001000	Faible	155,841	143,042	91.78714
0.0010000	0.010000	Moyenne	119,680	117,943	98.54863
0.0100000	0.100000	Elevée	8,767	8,647	98.63123
0.1000000	1.000000	Très élevée			

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	6,1E+05	NA	NA			
négligeable	2	2,6E+05	NA	NA			négligeable
très faible	3	5,5E+05	7	2,91E-07	négligeable	nulle à négligeable	très faible
faible	4	7,1E+05	100	3,18E-06	très faible	négligeable	faible
moyenne	5	3,2E+05	219	1,54E-05	faible	très faible	modéré
forte	6	5,7E+04	97	3,87E-05	faible	faible	élevé
très forte	7	2,2E+06	NA	NA			

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

DEFINITIONS ET PRINCIPES

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

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

ALEA DE REFERENCE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DETERMINATION DE L'INTENSITE DES PHENOMENES

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

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

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

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

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

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

Echelle d'intensité retenue pour GG, GF, LT

DETERMINATION DE L'ATTEINTE DES PHENOMENES

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

RUPTURE

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

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

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

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

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

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

		Probabilité annuelle d'occurrence	Qualification de l'activité sur 100 ans (période de référence)
Probabilité de rupture (et d'atteinte)	Nul à négligeable	$< 10^{-7}$	Improbable moins d'une "chance" sur 100 000
	Négligeable	10^{-7} à 10^{-6}	Très incertaine moins d'une "chance" sur 10 000
	Très faible	10^{-6} à 10^{-5}	Incertaine 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 événements cartographiés ;
- La vitesse présumée des mouvements (# 10 m.s-1 au maximum) ;
- Le mode de dispersion latérale définie suivant des modèles d'étalement.

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

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

CB (CHUTES DE BLOCS)

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

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

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

OCCURRENCE (OU ATTEINTE)

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

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

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

		Probabilité de propagation						
		1	2	3	4	5	6	7
Probabilité annuelle de rupture		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 DUMBÉA

PARAMETRES VALORISES POUR LA COMMUNE DE DUMBÉA

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-72236-FR / DIMENC/SGNC-2022(20)). 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'Iwashiro 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.

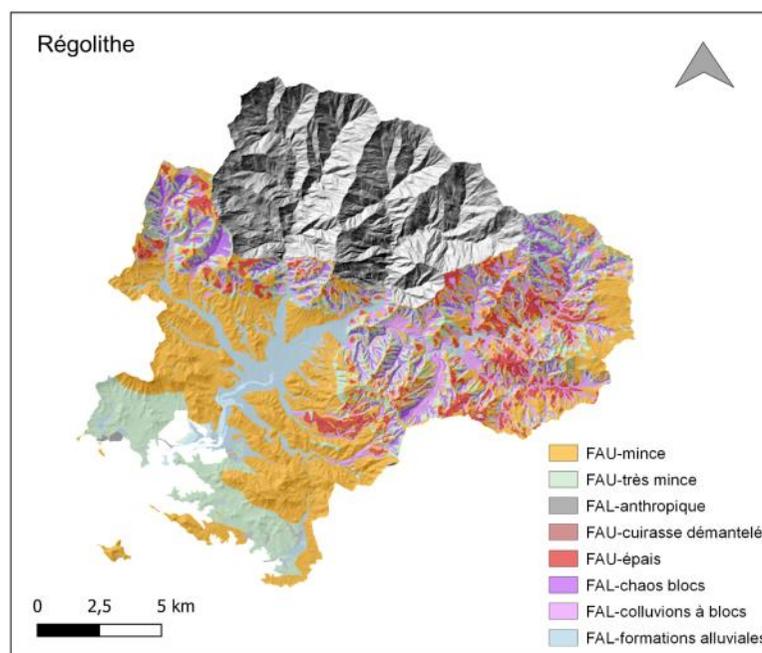
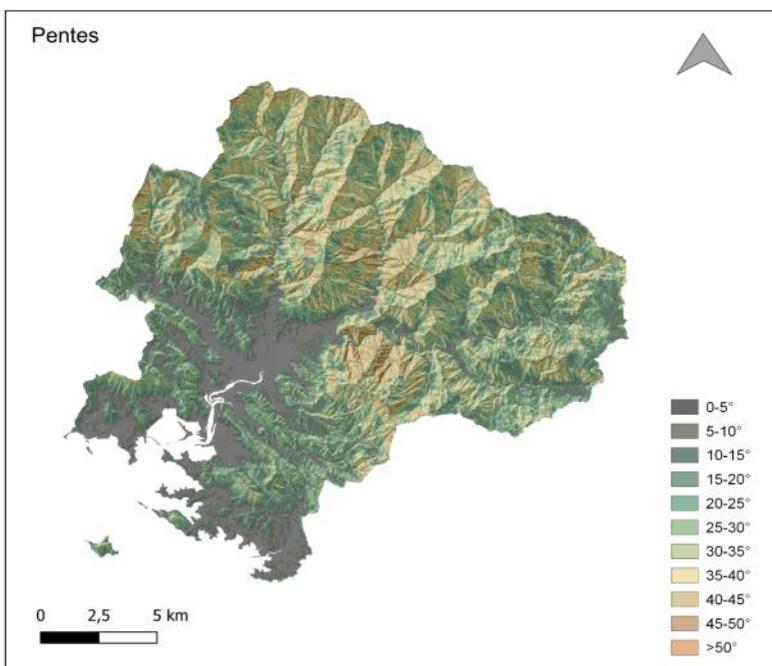
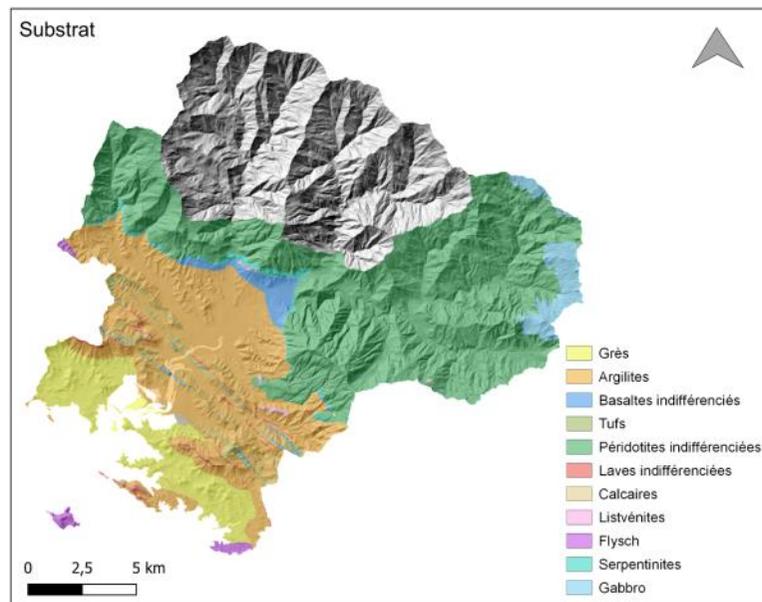
La méthodologie générale est détaillée pour chaque phénomène (GG, GF, LT) dans le rapport méthodologique, et est rappelée en annexe 0. Cependant, pour chaque typologie de phénomène, les données d'entrées et divers paramètres diffèrent :

- 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).

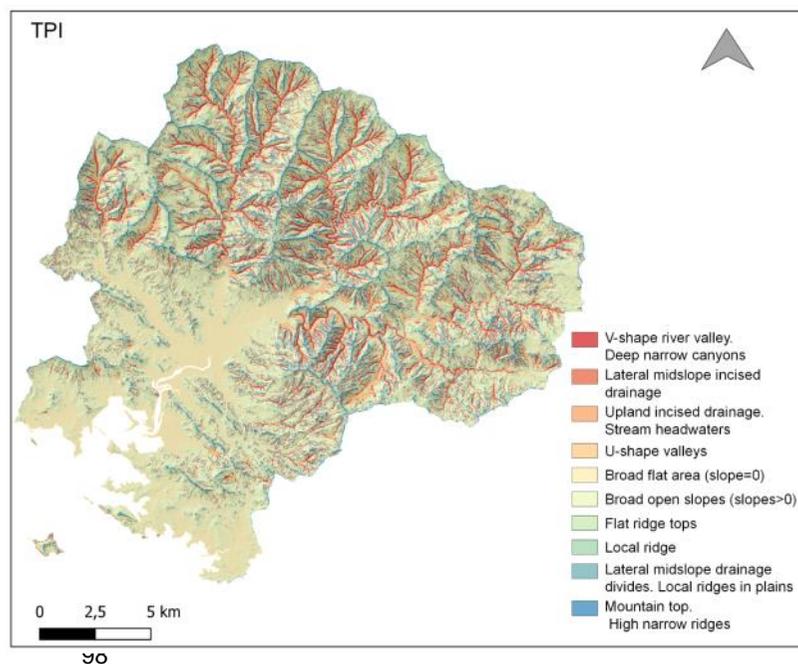
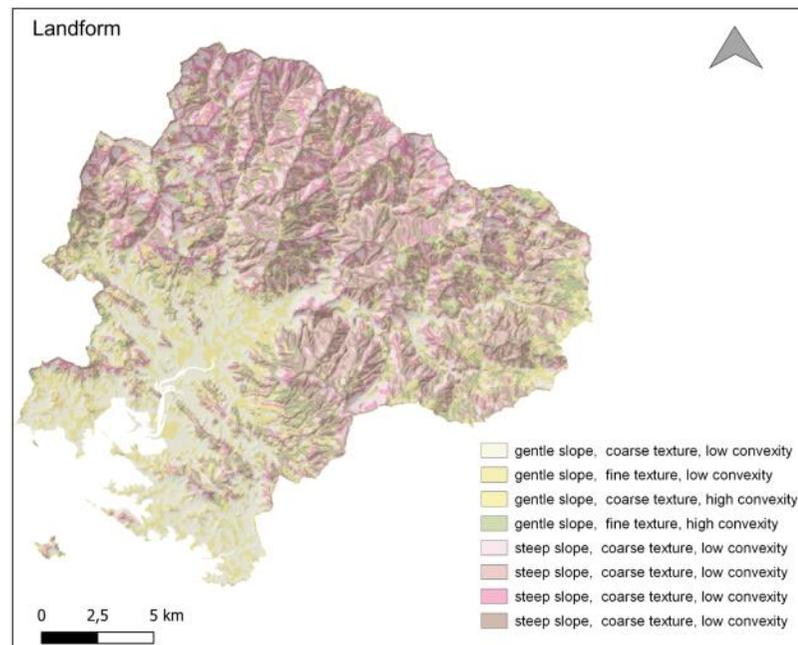
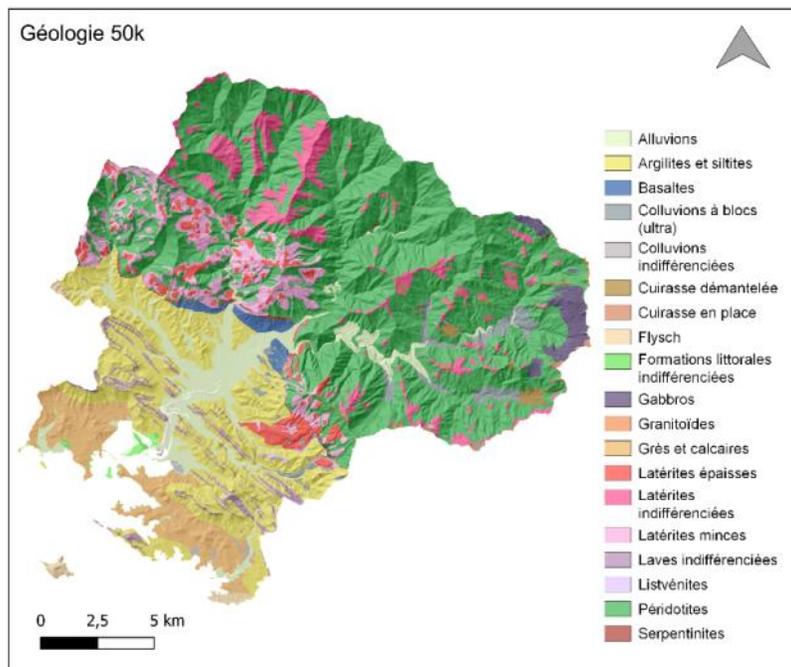
Pour les chutes de blocs, l'approche est différente et également détaillée dans le rapport méthodologique. Les paragraphes suivants présentent les paramètres d'entrée valorisés et les résultats pour les quatre phénomènes considérés (GG, GF, LT et CB). Les paramètres de l'approche statistique (GG, GF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

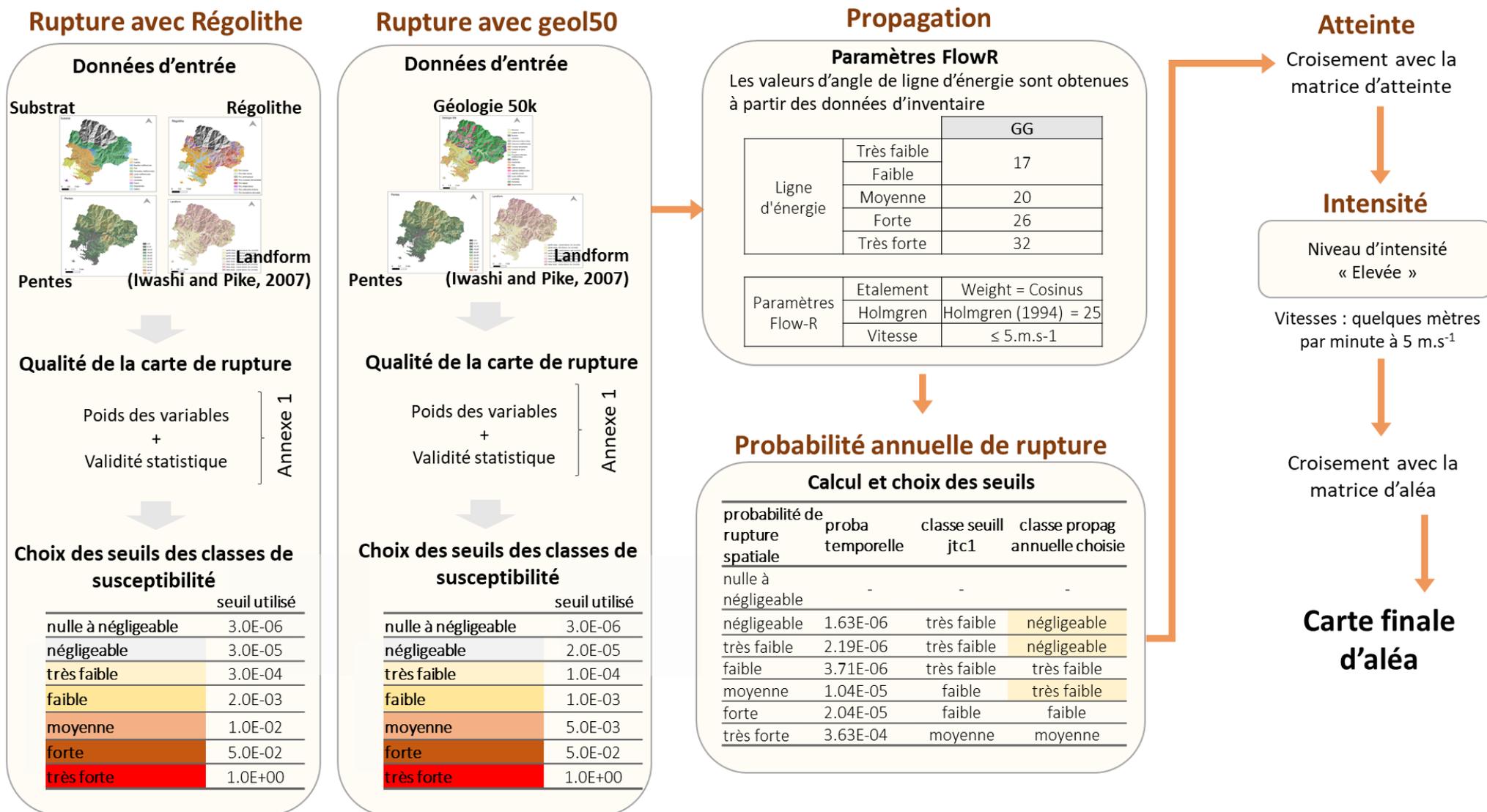
Cartes de référence des variables valorisées



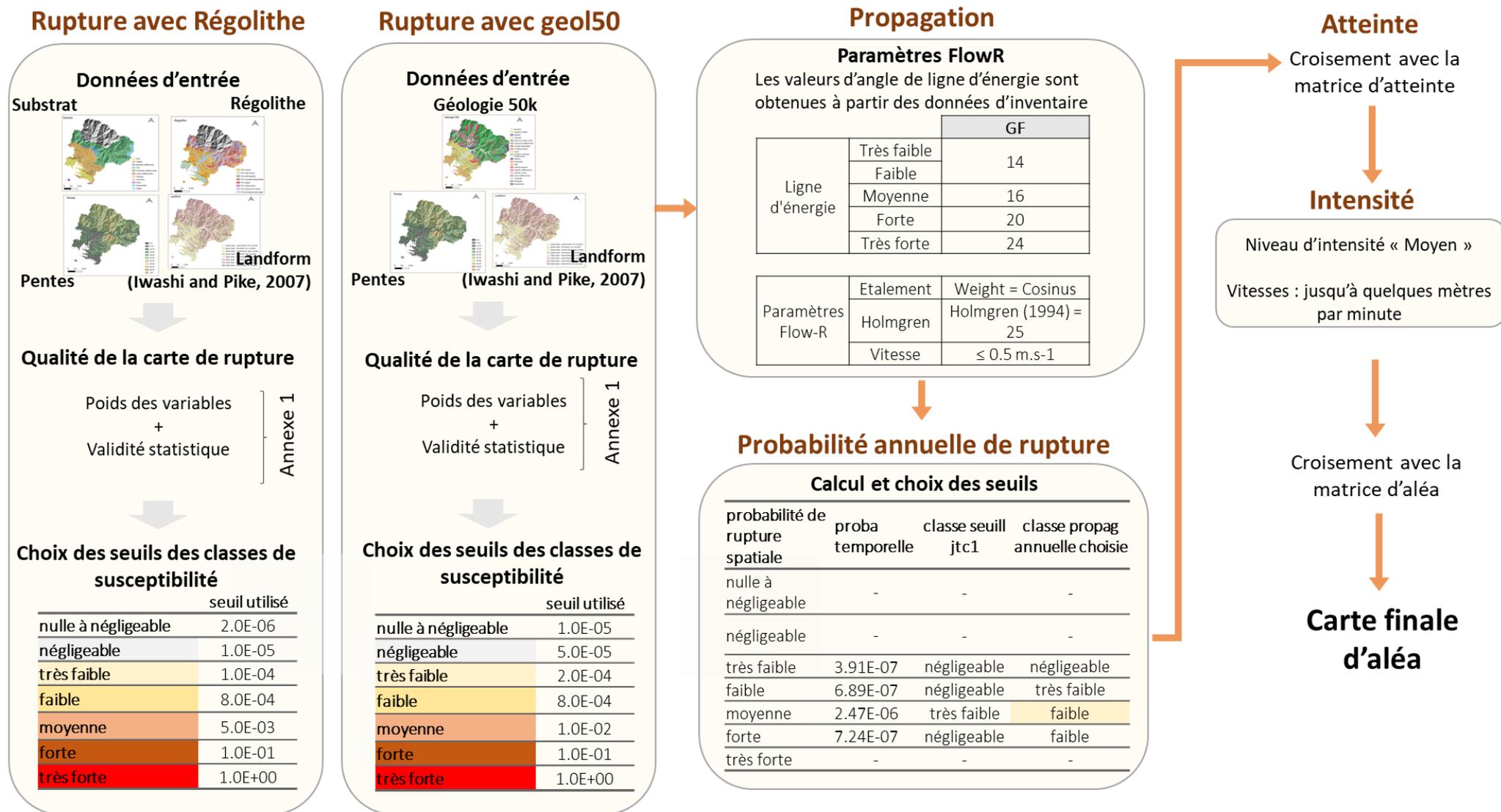
Cartographie des aléas mouvements de terrain – Commune de DUMBEA



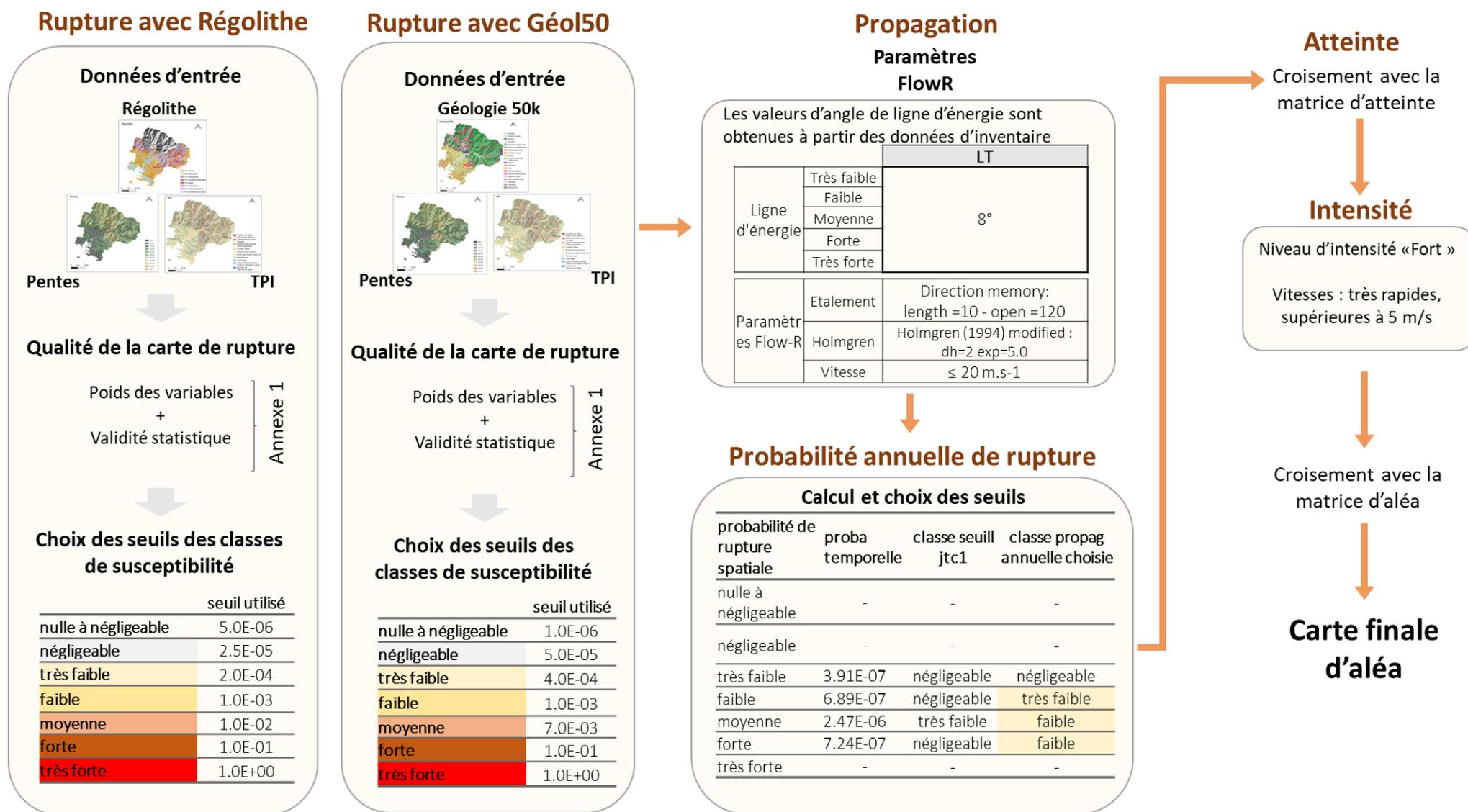
Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des glissements grossiers sur la commune de Dumbéa



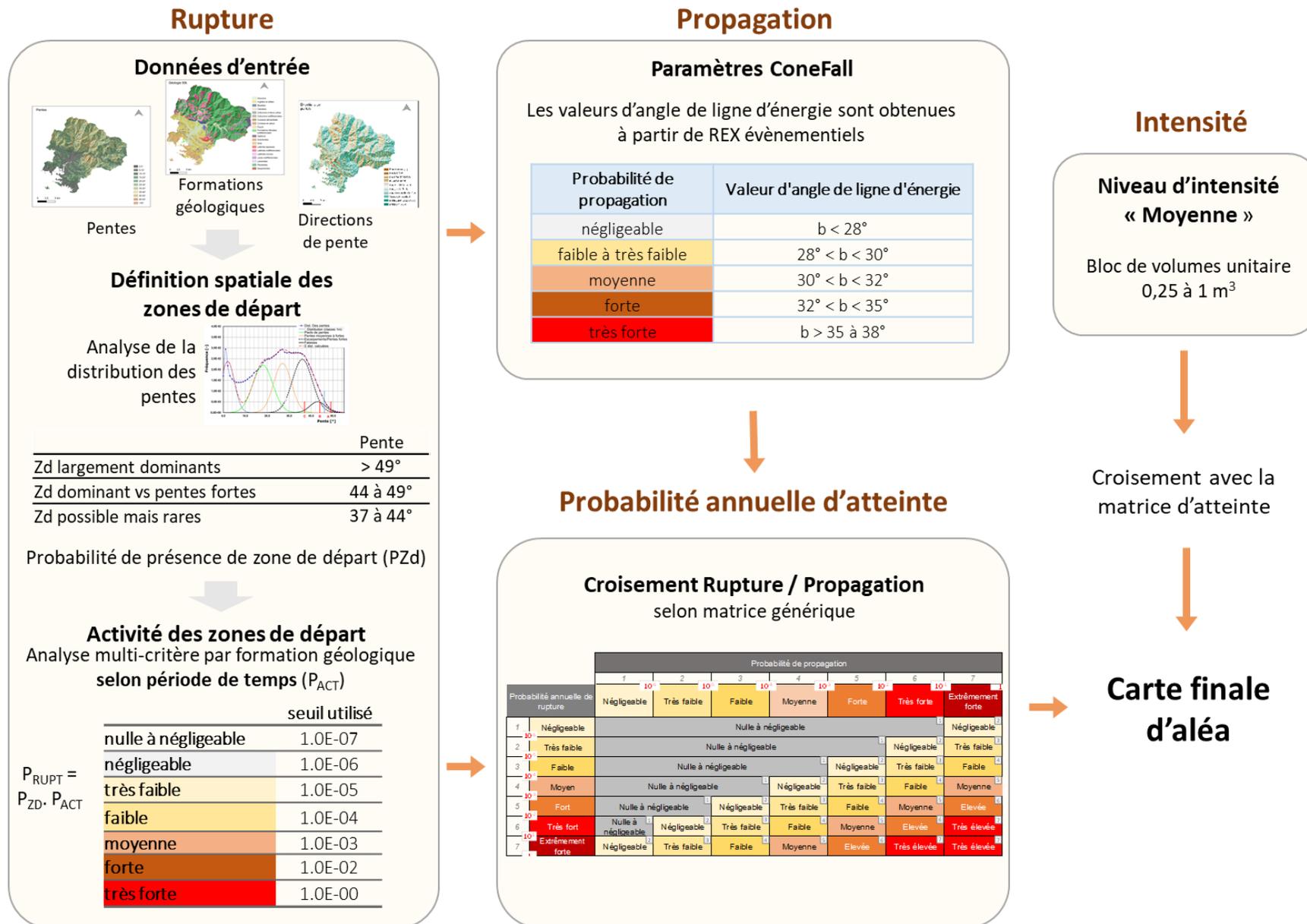
Paramètres et valeurs de seuils utilisés pour calculer la carte d'aléa des glissements fins sur la commune de Dumbéa



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



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



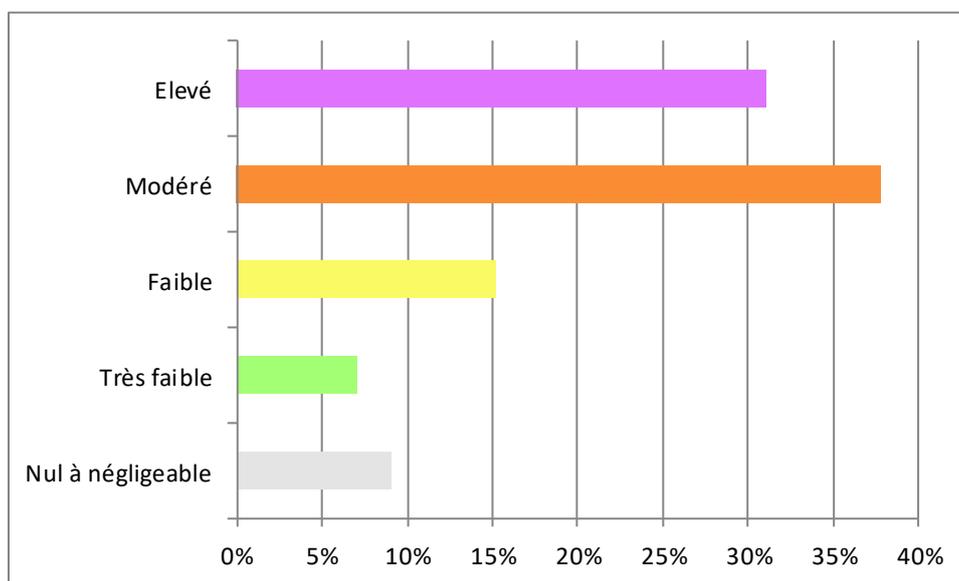
CARTE D'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN

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

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

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (Km ²)	Nul à négligeable	68.42	100.94	81.42	162.71	22.69
	Très faible	15.77	83.70	49.28	8.72	17.82
	Faible	18.75	42.66	66.14	19.36	38.11
	Modéré	79.51	23.81	34.71	61.13	95.10
	Elevé	68.67	-	19.56	-	78.24
<i>Surface totale soumise à aléa</i>		182.70	150.18	169.70	89.21	229.28
<i>% de la commune soumis à aléa</i>		73%	60%	68%	35%	91%

		GG	GF	LT	CB	ALEA MVT
Aléa (% commune)	Nul à négligeable	27%	40%	32%	65%	9%
	Très faible	6%	33%	20%	3%	7%
	Faible	7%	17%	26%	8%	15%
	Modéré	32%	9%	14%	24%	38%
	Elevé	27%	0%	8%	0%	31%



Exposition de la commune de Dumbéa 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

