GUIDE TECHNICO-METHODOLOGIQUE

- Cartographie des formes érosives en Province Sud -

- Recherche méthodologique et tests préliminaires -

- Classification des niveaux 1, 2 et 3 -

Référence : **20190102_SP7_OEIL_Erosion_Guide-Atelier2**

Date	Version	Auteurs	Commentaires
28/10/2019	1.0	INSIGHT/ROUET Isabelle	

INSIGHT SAS, 34 Avenue Gallieni, 98800 Nouméa - Contact : eo-contact@insight.nc

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Table des matières

1. INTRODUCTION 5
2. Classification semi-automatisée aux niveaux N1 et N2 9
2.1. Sols nus à partir d'imagerie spatiale 9
2.2. Détection des sols nus ou peu végétalisés (N1) 11
2.2.1. Masque « Ombres » 13
2.2.2. Masque « Nuages » 14
2.2.3. Classification N1 14
2.3. Classification N2 16
3. Classification N3 : Cartographie des zones tests par photo-interprétation 17
3.1. Protocole cartographique 17
3.2. Sols nus cartographiés et limites identifiées 17
4. Classification N3 : Règles de décision & connaissances expertes 33
4.1. Zones Aménagées 33
4.1.1. Carrières, zones de chantier & verses contrôlées 33
4.1.2. Pistes 34
4.1.3. Bâti & autres zones imperméabilisées 34
4.2. Sols nus non aménagés 35
4.2.1. Sols nus peu végétalisés 39
4.2.2. Zones significativement brûlées 40
4.2.3. Ravines isolées et Zones de ravinements (lavakas, badlands...) 43
4.2.4. Sédiments, colluvions et affleurements de fonds de vallée 46
5. CONCLUSION 50
ANNEXE 51

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Liste des figures

Figure 1: protocole méthodologique pour la classification des Niveaux 1 & 2 des sols nus ou peu végétalisés à partir d'images SPOT 6/7 15
Figure 2 : erreurs de classification et limites de l'approche retenue 35
Figure 6 : carte des classes de pentes (exprimées en degrés) 36
Figure 7 : exemple de paramètres dérivés du MNT sur l'ile Ouen 37
Figure 8 : exemple de TPI calculé à partir du MNT (DTSI) sur l'ile Ouen 38
Figure 3 : exemple de détection des sols faiblement végétalisés (localisés surtout autour des zones de sols nus) 39
Figure 4 : protocole de cartographie des « surfaces brûlées » 41
Figure 5 : exemple de résultat issu du protocole de détection de surfaces brûlées 42
Figure 9 : protocole de cartographie de l'érosion linéaire (simplifié) 44
Figure 10 : exemple de résultats issue de classification orientée « objet » sur le secteur de Goro 45
Figure 11 : protocole Cartographie des « Sédiments & colluvions » 47

Liste des tableaux et équations

Tableau 1 : Typologie des formes érosives en 3 niveaux 10
Tableau 2 : Tableau des correspondances entre les éléments rencontrés et leur affectation dans les classes retenues lors de l'atelier 1 51

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Acronymes

SIG	Système d'Informations Géographiques
AOI	Area of Interest = Zone d'intérêt
UIA	Utilisateur Institutionnel Autorisé
THR	Très Haute Résolution (pixel inférieur à 1m)
HR	Haute Résolution (pixel compris entre 1 et +/- 30m)
CN	Couverture Nuageuse d'une image satellite
RGB	Red-Green-Blue (Canaux Rouge Vert et Bleu)
PIR	Proche Infrarouge
NIR	Near Infra-Red (Proche Infrarouge)
RMS	Root Mean Square = Erreur Quadratique Moyenne
TOC	Top Of Canopy (Calibration radiométrique)
GEOBIA	Geographic Object Based Image Analysis (Analyse géographique d'image orienté objet)
UMC	Unité Minimale de Collecte, exprimée en surface ; définit la taille des objets concernés par la typologie

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

1. INTRODUCTION

Le présent document, entièrement réalisé par le consortium INSIGHT/ROUETIS, consiste en un rapport présentant les aspects techniques et thématiques des travaux portant sur la cartographie des sols nus et dégradés participant au phénomène de l'érosion en Province Sud. La demande, établie par **l'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie** (ci-après l'OEIL), porte plus spécifiquement sur l'identification et la cartographie des formes érosives, leurs origines ainsi que leur évolution diachronique entre 1976 et 2018.

Le travail présenté dans ce rapport répond aux objectifs suivants :

- Acquérir un fond d'imagerie adaptée à la thématique des formes d'érosion sur le territoire calédonien ;
- Produire, à partir de cette imagerie, la première cartographie de référence des objets (ravinements, sol nu, etc.) participant au processus d'érosion physique et d'associer aux différents objets des informations (origine de la forme, dynamique spatiotemporelle…).

L'imagerie satellitaire, combinée à des techniques de traitement de données, permet de produire relativement rapidement des cartographies thématiques et de manière fréquente, permettant ainsi l'étude des évolutions des surfaces observées. Le recours à ce type de données permet un gain de temps, un travail incrémental (le fait de disposer de cartes des états précédents facilite la production de nouvelles cartes) et assure la qualité et la continuité des résultats. Enfin, cela permet l'analyse des changements détectés voire leur simulation.

La présente étude se base sur une mise en application de méthodologies validées et une confrontation des résultats basés sur de l'utilisation d'imagerie spatiale, des connaissances expertes et une validation terrain. Elle se focalise dans ce cadre présent sur une approche par télédétection à partir d'imagerie HR SPOT 6/7 (Airbus D&S) associée à la connaissance d'expert thématique pour la cartographie des sols nus et dégradés.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Il convient donc de commencer par définir ce qu'on entend par la cartographie par imagerie de télédétection :

> *Il s'agit d'une représentation concise (donc simplifiée) tout en restituant les éléments essentiels dans le respect des règles de sémiologie. L'imagerie satellite permet d'appréhender les objets physiques, biologiques et morphologiques de la surface des terres émergées et pouvant être décrits en termes de types d'occupation des sols*[1].
>
> *L'enjeu principal des cartes d'occupation des sols est de* ***délimiter, inventorier et comprendre les évolutions et les tendances des typologies au cours du temps afin d'en expliquer les déterminismes et d'en prévenir le devenir***.[2]

Les processus de production de carte à partir d'images satellites sont souvent basés sur des méthodes de classification d'image.

Cette classification d'image peut être :

- **Supervisée** : on utilise des zones de réalité terrain (dont on connaît l'affectation) pour procéder à l'apprentissage et par la suite à la généralisation des modèles appris.
- **Non supervisée** : les pixels sont regroupés par similarité, l'analyse thématique (les classes) intervient à posteriori.

La classification supervisée fournit souvent de meilleurs résultats, mais elle nécessite des données de référence pour l'apprentissage qui peuvent-être longues et coûteuses à obtenir (campagnes sur le terrain, photo-interprétation, etc.).

Pour répondre aux exigences de qualité et d'échelle d'exploitation, une classification supervisée a été privilégiée dans ce travail. Les bases de connaissances (issues entre autres du travail de l'expert thématique sur des zones tests) ont permis de mettre en place des protocoles de classification semi-automatique fiables complétés par une phase de photo-interprétation quand l'automatisation n'est pas suffisante.

---

1 *Il est entendu ici une « occupation du sol » au sens large*. Il s'agit des formes érosives dans le cas qui nous intéresse ici.

2 **Baghdadi, N., et Zribi, M., 2016 :** Observation des surfaces continentales par télédétection I, Vol.3.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Afin de mener au mieux ce travail, l'équipe d'INSIGHT s'est appuyé sur les études de référence, ainsi qu'une revue bibliographique enrichie au fil du temps sur les approches de classification d'imagerie de télédétection. De plus, dans le cadre du présent projet, il nous apparaît nécessaire de citer certaines références incontournables ayant déjà traité le sujet de l'érosion en Nouvelle-Calédonie et dont INSIGHT relève un intérêt majeur (*liste non exhaustive*) :

Les travaux menés par Pascal DUMAS

DUMAS P. 2010. Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta – Bouloupari (Nouvelle-Calédonie).

LUNEAU G., DUMAS P. 2006. Projet GERSA – Spatialisation de l'aléa érosion en Nouvelle-Calédonie. Nouméa, New Caledonia: Coral Reef Initiatives for the Pacific (CRISP). 79 p.

Les travaux dirigés par l'OEIL

ROUET I., 2012. Cartographie de l'érosion en province Sud – Inventaire des données existantes dans la perspective d'un suivi cartographique de l'érosion. *Rouetis R&D 201206-01V, 16 p. pour l'OEIL.*

ROUET I., 2012. Guide de reconnaissance des principales formes liées à l'érosion en Province Sud. *Rouetis R&D 201202-02V,* 36p pour le compte de l'OEIL.

OEIL-BERTAUD A., 2013. Suivi des pressions associées à l'érosion dans les milieux naturels : panorama des principales méthodes de suivi.

ASCONIT Consultants. 2016. Surveillance de la pression érosion dans les milieux naturels situés dans la zone d'influence du site industriel et minier de Vale NC.

Autres

PRINTEMPS J. 2007. Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie : utilisation de l'équation universelle de perte de sol assistée d'un SIG sur les communes de Voh, Koné et Pouembout.

ROUET I., 2009. Thèse : Caractérisation et éléments de quantification d'aléas naturels liés à l'évolution des versants dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie.

ESPIGAT M. 2010. Etude des sites dégradés du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Aussi, pour les besoins de cette étude, un guide technico-méthodologique a été rédigé et est soumis à l'ensemble des participants de l'Atelier 2 autour des résultats de la phase de tests avant généralisation des méthodes retenues.

Ce guide regroupe l'ensemble des méthodes mobilisées et retenues pour la cartographie des formes érosives à partir d'images satellites. Il s'agit d'un travail collaboratif entre les experts thématiques (Isabelle Rouet et Dominique Cluzel) et techniques (équipe INSIGHT).

Il se décline en plusieurs parties :

- Une première présente les traitements semi-automatisés de niveau 1 (N1) et 2 (N2) de classification.
- Une seconde partie détaille le retour d'expérience sur la cartographie par photo-interprétation des classes de niveau 3 (N3) retenues à l'issue de l'Atelier 1 du 18/04/2019. Elle précise leurs clés d'identification ainsi que les règles de décision retenues pour cette classification à dire d'expert.
- Une troisième partie regroupe l'ensemble des traitements testés sur les images satellites et retenus, par classe de typologie de N3. Seules les classes automatisées ou semi-automatisées sont ainsi présentées dans cette partie, les classes traitées par photo-interprétation étant déjà présentées dans lapartie précédente.

Nota Bene : Ce document s'adresse à un public averti, maîtrisant les bases dans les domaines de l'érosion, de la télédétection et des SIG. Les principes fondamentaux des sciences de la terre, de la géologie et de la végétation sont supposés être connus et maîtrisés.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

2. CLASSIFICATION SEMI-AUTOMATISEE AUX NIVEAUX N1 ET N2

2.1. Sols nus à partir d'imagerie spatiale

L'étude des sols nus est une thématique bien étudiée dans le domaine de la télédétection depuis plusieurs dizaines d'années et plus particulièrement à partir d'imagerie optique.

En effet, les signatures spectrales d'un sol dépourvu de végétation sont bien spécifiques et facilement détectables à partir de différents indices scientifiquement éprouvés.

La typologie retenue pour ce travail a fait l'objet de discussion lors d'un Atelier thématique réunissant les principaux acteurs du domaine en Nouvelle-Calédonie. L'atelier, organisé conjointement par l'OEIL et INSIGHT, s'est tenu en début de projet afin notamment d'aboutir à un consensus autour de la typologie retenue.

Il a ainsi été conclu lors de cet atelier une classification à trois niveaux de détails :

- Niveau 1 : trois classes
- Niveau 2 : cinq classes
- Niveau 3 : 17 classes

Le tableau ci-dessous reprend la typologie arrêtée. Un N0 représente un masque de données valides. Un résiduel de nuages et des ombres topographiques subsistent sur les images et ne peuvent être exploitée pour l'étude en cours. C'est pourquoi ces secteurs seront exclus de la suite des traitements.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Tableau 1 : Typologie des formes érosives en 3 niveaux

Typologie 2018			
N0	**N1**	**N2**	**N3**
Données non exploitables	**Nuages**	**Nuages**	**Nuages**
	Ombres topographiques	**Ombres topographiques**	**Ombres topographiques**
Données exploitables	Autre	Autre	Autre
	Eau	Eau	Eau statique
			Eau dynamique
	Sol non ou peu végétalisé	Aménagement	Carrière, zone de chantier, verse contrôlée
			Décharge non contrôlée
			Piste
			Bâti et autres surfaces imperméabilisées
			Aménagement indifférencié
		Sol nu ou peu végétalisé indifférencié	Arasement
			Sol nu faiblement végétalisé
			Surface significativement brûlée
			Ravine
			Zone de ravinement (lavaka, badlands…)
			Falaise, escarpement rocheux actif
			Mouvement de terrain (arrachement, glissement, coulée…)
			Affleurement peu sensible à l'érosion (rocheux hors escarpement…)
			Cuirasse
			Eboulis
			Colluvions et sédiments
			Sol nu indifférencié

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Afin d'aboutir à la classification recherchée, nous avons procédé par étapes successives en fonction du niveau visé et des caractéristiques des classes à déterminer. Les principales phases sont résumées ci-dessous :

- Détection des sols nus ou peu végétalisés à partir des néocanaux :
- NDVI, Water Index, Indice de Brillance (BI) et SARVI.
- Classification supervisée des sous-ensembles de sols nus et dégradés
- Contrôle opérateur de la classification produite basé sur la connaissance experte.

Plusieurs compagnes de contrôle terrain par l'Expert local ont eu lieu. Durant la phase de classification des zones tests. Des validations de l'expert seront également menées durant la phase de généralisation du niveau 3.

2.2. Détection des sols nus ou peu végétalisés (N1)

Une liste d'indices biophysiques et d'activités de la végétation ont été testés dans ce travail, seul les indices les plus pertinents ont été retenus pour la classification N1.

La classification se base sur ces différents indices traitant tour à tour le potentiel des bandes spectrales du capteur utilisé :

- **NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index (Rouse et Haas 1973)

C'est l'indice de végétation le plus largement utilisé pour l'extraction des propriétés biophysiques du couvert végétal.
Cet indice est sensible à la vigueur et l'activité photosynthétique de la canopée. Cet indice minimise l'effet topographique et a l'avantage d'être borné entre [-1 et 1].

$$NDVI = \frac{(\rho nir - \rho red)}{(\rho nir + \rho red)}$$

$$avec$$

$$\rho red : Valeursdans \leq rouge$$

$$\rho nir : Valeurdans \leq procheinfra - rouge$$

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

- **NDWI**: Normalized Difference Water Index de (McFeeters, 1996)

Cet indice est sensible à la présence d'eau et l'humidité des sols.

$$NDWI = \frac{(\rho green - \rho nir)}{(\rho green + \rho nir)}$$

$$avec$$

$$\rho green : Valeurs dans \leq vert$$

$$\rho nir : Valeur dans \leq proche infra - rouge$$

- **SARVI**: Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index (Kaufman 1992)[3]

Cet indice traduit l'activité de la végétation en minimisant les effets atmosphériques et les effets du sol, intéressant notamment pour des végétations basses et ouvertes. Le SARVI est en moyenne quatre fois moins sensible aux effets atmosphériques que le NDVI. Sa résistance aux effets atmosphériques est obtenue par un processus d'auto-correction de l'effet atmosphérique sur le canal rouge, en utilisant la différence de luminance énergétique entre les canaux bleu et rouge pour corriger celle-ci dans le canal rouge.

$$SARVI = \frac{(\rho nir - RB) \times (1 + L)}{(\rho nir + RB + L)}$$

$$avec$$

$$RB = \rho red - Gamma \times (\rho blue - \rho red) Gamma = Aerosol content stabilization factor : 1 L = Vegetation Cover Correction factor : 0.5$$

3 Kaufman, Y.J., Tanre, D., 1992 : Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS, IEEE Transactions on geoscience and Remote Sensing, Vol. 30, Issue :2, p : 261-270.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

- **BI** : Brightness Index

C'est l'indice de brillance le plus utilisé, il s'agit d'un indicateur de teinte des sols nus et des roches, sa formule est la suivante :

$$BI = \sqrt{(\rho red^2 + \rho nir^2)}$$

$$avec$$

$$\rho red : Valeurs dans \leq rouge avec$$

$$\rho nir : Valeur dans \leq proche infra - rouge$$

Le BI met en évidence :

- L'humidité des sols ;
- Les rugosités de surface ;
- La couleur des sols ;

Dans le cadre de ce projet en plus de son utilisation pour la détection des sols nus, il a été utilisé pour la détection des zones d'ombres.

2.2.1. Masque « Ombres »

Les ombres topographiques peuvent être à l'origine d'erreurs de classification. C'est pourquoi, des cartes d'illumination ont été produites au début de ce travail, afin d'avoir une estimation des zones inexploitables.

Lors du premier atelier, nous avions présenté notre méthodologie de détection des ombres topographiques qui faisait intervenir les éléments topographiques tels que les pentes et leur orientation en fonction de l'azimut et de l'élévation solaire. Des cartes d'illuminations ont alors été produites pour chaque image, ce qui a permis d'aboutir à une carte d'illumination globale sur l'ensemble de la zone d'étude.

Cette carte présentait en outre localement des défauts liés au MNT à l'origine des calculs de pente et de l'orientation. C'est pourquoi nous avons choisi de l'utiliser comme donnée de référence, en excluant les zones de défauts évidents, afin de valider un masque d'ombre capable de traiter autant les ombres topographiques, les ombres projetées comme celles des nuages et des bâtiments.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Un protocole de masquage a été élaboré grâce à l'utilisation des pentes et de l'indice de brillance, qui en plus d'être utilisé pour la détection des sols nus, a permis de réaliser un masquage des ombres de manière optimale.

Après évaluation de l'expert, des ajustements manuels ont pu être effectués afin de limiter toute confusion avec les surfaces en eau.

2.2.2. Masque « Nuages »

Un premier masque a été effectué sur les zones les plus ennuagées et, bien que ne représentant que 2 % de la surface totale de la zone concernée par l'étude, ces secteurs (ainsi que les ombres portés des nuages) apparaissent encore comme trop étendus. Ceci est vrai pour la zone de la Dumbea par exemple, secteur fortement concerné par le phénomène d'érosion.

C'est pourquoi une stratégie de masquage plus fine a été élaborée, permettant ainsi de limiter le masque uniquement aux secteurs inexploitables.

Le masquage a fait appel à une transformation des bandes du visible vers des valeurs de saturation, luminosité et teinte. Un seuillage a par la suite permis de détecter les nuages les plus épais. Ce masque a également été corrigé manuellement pour éliminer les voiles nuageux qui détériorent l'information spectrale utilisée pour la suite des traitements.

Ainsi, grâce à cette stratégie conservatoire, nous avons pu réduire les zones de nuages au strict minimum et de ce fait optimiser les données à exploiter.

2.2.3. Classification N1

Le point le plus délicat à ce niveau de la typologie est de déterminer des limites claires entre les « sols nus ou faiblement végétalisés » et les autres classes (eau, autres).

Une classification emboitée par seuillage des indices a été opérée pour chaque image. Les seuils ont été fixés par examen des histogrammes et ajustés par la suite de manière empirique jusqu'à obtention des résultats optimaux. Ci-après le protocole de classification avec les principales étapes de traitements.

Conformément à la Proposition technique d'INSIGHT, l'unité minimale de collecte (UMC) est fixée à 100 m² pour le N1. Un lissage des objets détectés a donc été opéré pour parvenir à l'UMC retenue et les objets de surface inférieure à l'UMC ont été éliminés.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

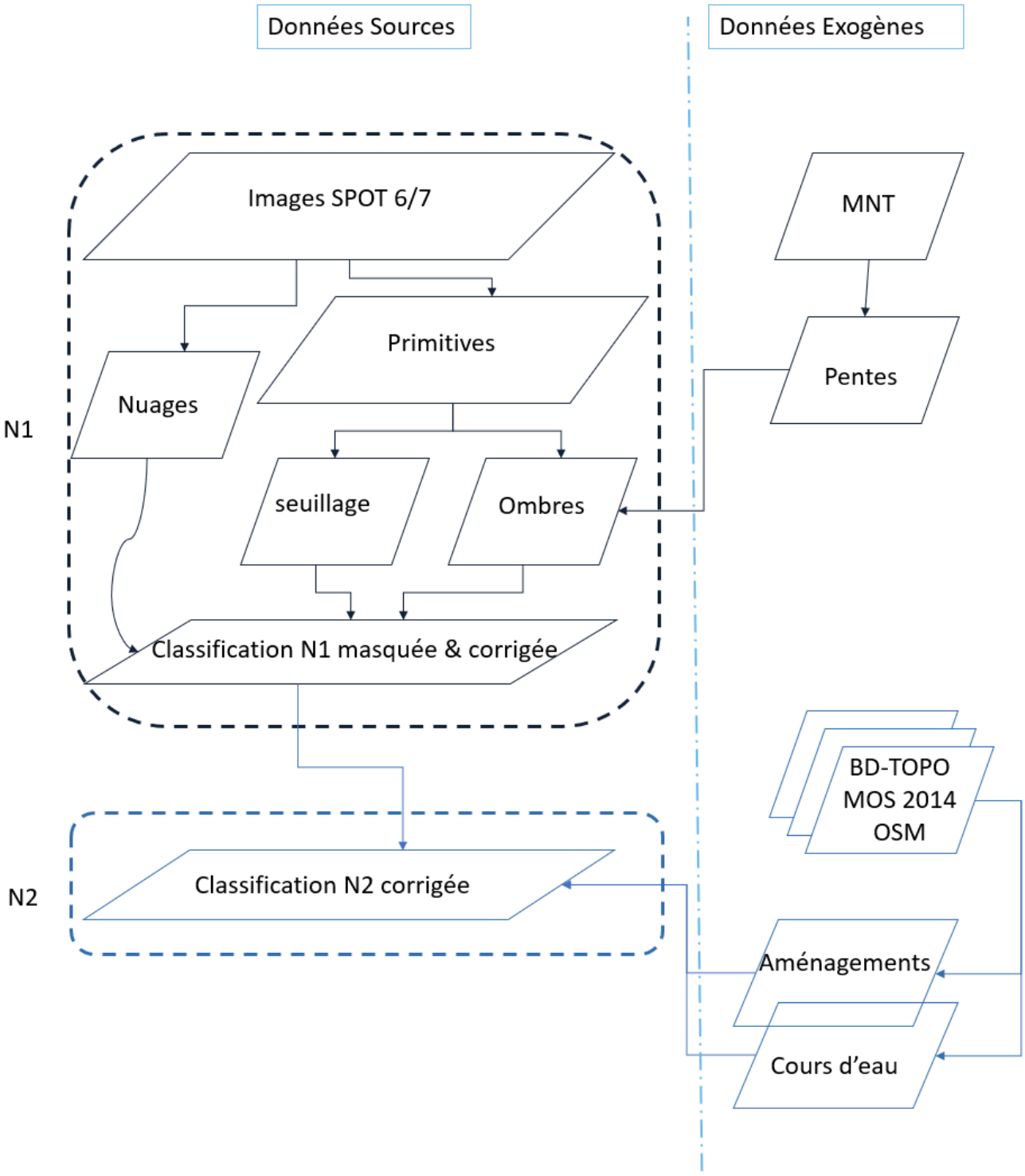


Figure 1: protocole méthodologique pour la classification des Niveaux 1 & 2 des sols nus ou peu végétalisés à partir d'images SPOT 6/7

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

2.3. Classification N2

La classification au niveau 2 est basée sur le croisement des résultats du N1 avec les données exogènes disponibles pour aboutir aux cinq classes visées.

Un travail en amont a été réalisé pour compiler, corriger et compléter les données disponibles (MOS 2014, BD-Topo, OSM). Un croisement a par la suite permis de créer le N2 avec les 5 classes suivantes :

- Eaux statiques
- Eaux Dynamiques
- Aménagements
- Sols nus indifférenciés
- Autres

Une phase de vérification et de correction par photo-interprétation a également été conduite pour aboutir au N2 final.

A ce stade l'UMC retenue dans le CDC est de 0.25 ha soit 2500 m² ; seuls les objets supérieurs à cette limite ont ainsi été conservés pour ce niveau de nomenclature.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

3. Classification N3 : Cartographie des zones tests par photo-interprétation

3.1. Protocole cartographique

La cartographie N3 sur les zones test est basée sur des traitements d'image semi-automatisés complétés par photo-interprétation sur les images de 2018 (N1 brut non filtré, non lissé). Lorsqu'il n'a pas été possible d'effectuer un contrôle terrain pour lever une incertitude, c'est la classe la moins précise de la typologie qui est retenue au bénéfice du doute. Du fait de l'objectif de cartographie initiale, les données d'imagerie exogènes (à d'autres dates) ont été utilisées pour faciliter l'interprétation sans malgré tout perdre de vue l'objectif de conserver la limite de détection en autonomie sur les images de 2018 (certains objets sont par ailleurs différents d'une date à l'autre).

Pour la plupart des classes, conformément à la préconisation technique et demande d'INSIGHT, la cartographie raster a été réalisée au 1/5 000, avec un travail au 1/2 500 pour les objets linéaires (pistes et ravines).

Les termes et précisions apportées dans cette partie se limitent aux éléments cartographiables sur les zones test dans le présent contexte de photo-interprétation des sols nus. Toutes les classes établies à l'atelier 1 y sont représentées.

Limites surfaciques : il peut arriver que des amas de pixels (ou pixels isolés) aient été classés malgré leur taille inférieure à la limite des 100 m² ; il s'agit généralement d'objets plus grands partiellement détectés ou des effets de bordure liés à l'échelle de travail.

Limites thématiques : les 17 classes de sols nus de niveau N3 ont été traitées, ainsi que l'eau partiellement au N1 pour établir la limite avec les sols nus ou faiblement végétalisés.

3.2. Sols nus cartographiés et limites identifiées

Rappel : dans ce projet, on entend par érosion tout phénomène ou processus perceptible à l'échelle humaine qui mobilise de la matière solide à la surface, essentiellement sous l'action du ruissellement et de la gravité– sont par conséquent exclues l'érosion chimique, souterraine et littorale. L'érosion conduit à des zones de départ, de transit et de dépôt des matières mobilisées.

Les classes initialement discutées et définies lors de l'atelier 1 ont fait l'objet d'une définition détaillée par les experts thématiques. Une liste des objets inclus pour chaque classe est également détaillée dans le tableau fourni en annexe. Les limites et possibles imprécisions/confusions suite à la cartographie N3 sur les zones test sont également relevées et détaillées ci-après.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Zone d'ombre (N1)	*Les secteurs d'ombre non exploitables, il s'agit essentiellement de zones d'ombre topographique. Une zone d'ombre n'a pas lieu d'avoir une valeur d'origine (précédemment discriminés par processus automatique, non photo-interprétés).*
Eau (N1)	*Surface couverte par une étendue d'eau (traitée partiellement par processus automatique, au contact avec des sols nus ou peu végétalisés ou si confusion avec ces derniers).*
Eau statique (N3)	*Surface en eau sans écoulement hydrique caractérisé, par exemple un lac (précédemment discriminée par processus automatique, non photo-interprétée).*
Eau dynamique (N3)	*Surface en eau présentant des évidences d'écoulement hydrique, par exemple un cours d'eau (précédemment discriminée par processus automatique, non photo-interprétée).*
Aménagement (N2)	*« Transformation volontaire d'un espace géographique au bénéfice de la société qui l'occupe », dictionnaire Larousse. Par définition, un aménagement se distingue donc d'un espace transformé involontairement à la suite d'une activité anthropique. La seule exception faite à cette définition concerne le curage des sédiments des cours d'eau sous certaines conditions pour répondre spécifiquement aux objectifs de ce projet (voir sédiments).* ***Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 :*** *les aménagements peuvent présenter des formes plus ou moins géométriques, sans que cela soit systématique. Ces formes sont cependant diverses, selon le type d'aménagement et aussi en intra-classe.*
Carrière (N3)	*Une carrière est le lieu à ciel ouvert d'où sont extraits des matériaux quelle qu'en soit la destination. C'est une zone de départ potentiel de matériaux par érosion. Les carrières sont regroupées avec les zones de chantier et les verses contrôlées.* ***Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018*** *: de forme souvent ramassée, la superficie des carrières est très variable. Les carrières de matériaux rocheux présentent fréquemment des gradins, alors que pour les matériaux moins cohésifs l'aspect général est moins caractéristique, ce qui peut conduire à une confusion avec une zone de ravinement par exemple. Ceci est d'autant plus vrai que la carrière est ancienne. Si le ravinement n'est pas caractérisé, des données exogènes peuvent aider à lever le doute ou à préciser l'emprise de la carrière.*

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

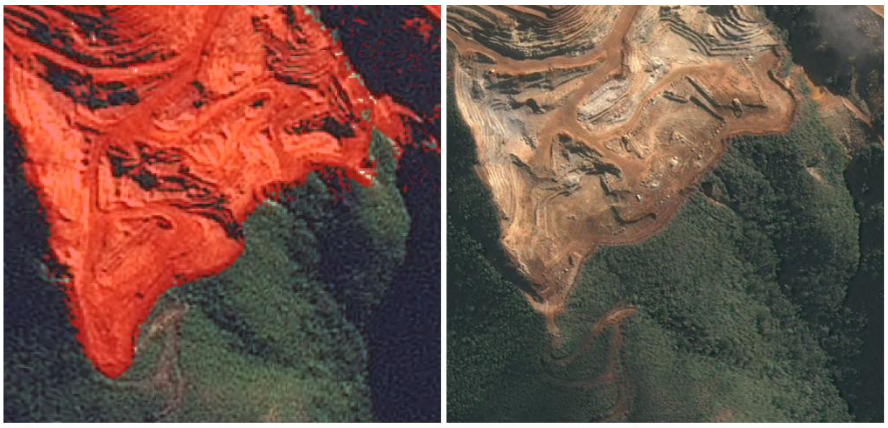
Zone de chantier (N3)

Le chantier est un lieu d'extraction unitaire, c'est une variante de carrière liée à l'activité minière. Sur une mine de nickel le chantier est le composant actif de l'extraction à ciel ouvert, soit « à flanc de coteau », soit « en fosse » (jusqu'à une centaine de mètres de profondeur parfois. Les zones de chantier sont soumises au ruissellement et conduisent souvent au départ de matériaux par érosion, que ce départ soit ou non contrôlé. Seules les fosses sont relativement neutres vis-à-vis de l'érosion. Par extension, c'est l'enveloppe des zones de chantier qui est ici cartographiée, pistes et autres sols nus compris. Les zones de chantier sont regroupées avec les carrières et les verses contrôlées.

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *situées dans les massifs ultramafiques, les zones de chantier se rencontrent pour la plupart en position dominante dans le paysage ou encore en plaine dans le Grand Sud. Différents espaces sont y aménagés, dont les plus caractéristiques présentent une morphologie en gradins (présence non systématique). Ces derniers sont principalement rocheux : les banquettes sont restreintes et les talus sont assez redressés, ce qui les distingue des verses contrôlées.*

0 50 100 m

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; zone de chantier en rouge.



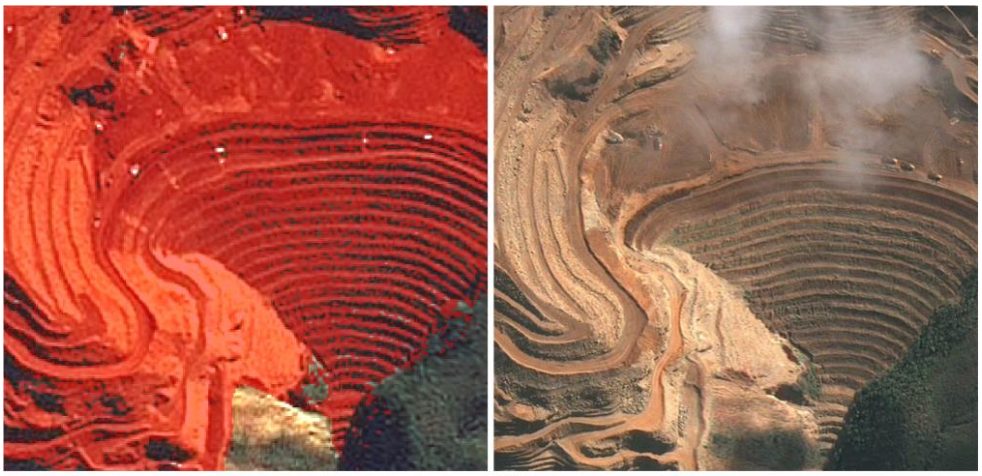
0 50 100 m

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; chantier en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Verse contrôlée

Lieu de dépôt, la plus souvent ancienne zone d'extraction, où sont mis en verse les matériaux stériles. Le contrôle consiste à maîtriser l'infiltration (drains), le ruissellement (couverture de blocs) et d'éventuels mouvements de pente (gradins). L'étape ultime consiste en la re-végétalisation du site. Normalement, la verse contrôlée ne libère pas de manière significative de matériaux par érosion, c'est une zone que l'on pourrait qualifier de « neutre » du point de vue des processus érosifs. Les verses contrôlées sont regroupées avec les zones de chantier et les carrières.
Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *la verse présente une morphologie en gradins comme une carrière en zone de chantier, mais s'en distingue par le caractère plus régulier et un peu plus large des alternances banquette/talus. Si le risque de confusion existe pour un œil peu familier de la mine, il ne pose a priori pas de problème dans ce projet car les deux types d'objets sont inclus dans la même classe et leur contribution à l'érosion est minime tant que leur contrôle environnemental est effectif.*



Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; chantier et verse en rouge.

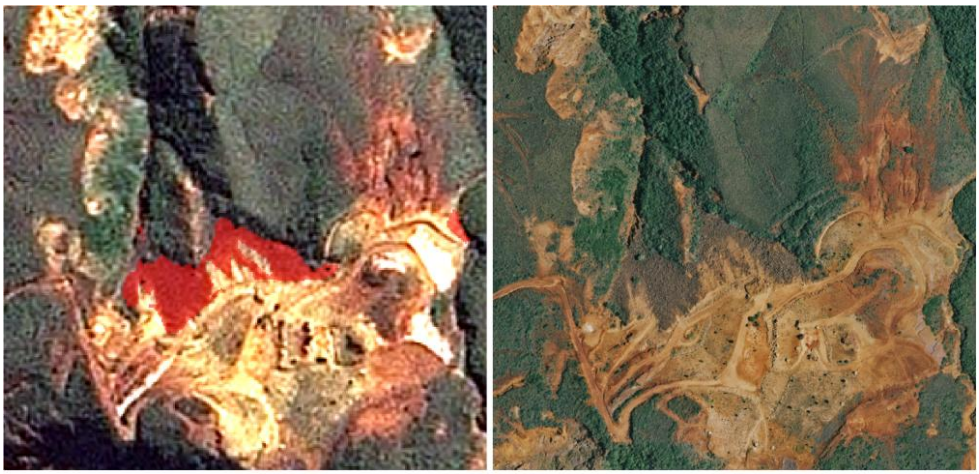
Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Décharge non contrôlée

Verse de stériles sur pente sans les précautions mentionnées ci-dessus. Conséquences : érosion aisée et destruction de la végétation sous-jacente jusqu'à l'arasement parfois, avec risque de création de ravines et ou de glissements. C'est fréquemment une zone de départ de matériaux par érosion. Au sein des complexes miniers, il arrive que ces décharges soient réaménagées, elles ont par conséquent été cartographiées uniquement si elles sont restées telles quelles et plus spécifiquement dans les zones périphériques.

***Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 :** formes de dépôt sur versant à proximité immédiate des zones d'extraction minière, les décharges se distinguent des éboulis et autres colluvions car elles ne présentent pas de zone d'alimentation naturelle évidente à l'amont puisqu'elles étaient alimentées mécaniquement par le chantier (engins). Les décharges non contrôlées sont liées aux anciennes zones de chantier, ces pratiques n'ayant plus cours actuellement. Lorsque les matériaux de la décharge atteignent un cours d'eau et qu'ils sont remaniés par ce dernier, ils deviennent des sédiments.*

De par la multiplicité de leur forme et de leur aspect, il est pressenti que la cartographie des décharges non contrôlées sera difficile à automatiser. Par photo-interprétation, c'est le contexte du voisinage immédiat qui permet de les reconnaître (identification de la zone de départ).



Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; décharge non contrôlée en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Piste

Voie de circulation non coaltarée (seuil de détection : donnée N1 brute). Une piste, de par sa linéarité, est susceptible de concentrer le ruissellement et de devenir une zone de départ de matériaux par érosion. Dans sa conception, la piste présente cependant une chaussée et des bordures (talus, etc.) et l'ensemble est susceptible de libérer des matériaux par ruissellement, ce qui conduit à intégrer tous ces éléments dans la classe piste. Lorsqu'il existe de petits aménagements accolés aux pistes (gestion des eaux par exemple), ils sont parfois pris avec la piste car trop petits pour être isolés ou détectés.

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *objets linéaires par définition, les pistes ont une largeur variable lorsqu'elles sont bordées de talus. Cette largeur peut aller d'un pixel à une dizaine ou plus selon le gabarit de la chaussée et l'extension des talus. Négligeable, la pente de la chaussée ne peut cependant pas être prise en compte la plupart du temps du fait de la maille trop grande du MNT disponible (10 m devant des pixels à 1,5 m). La continuité de la piste est généralement bien appréhendée par l'œil humain mais sa détection automatique est bien plus délicate du fait de la présence des ombres (talus, végétation arborée). C'est aussi vrai lorsque la signature spectrale de végétation plus ou moins dense à proximité immédiate « écrase » le signal de sol nu d'une piste étroite. Au sein de grandes zones dénudées (chantier, ravinement, etc.), l'identification des pistes peut s'avérer difficile à impossible par photo-interprétation.*

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; pistes en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Bâti et autres surfaces imperméabilisées

Rassemble toutes les surfaces imperméabilisées (bâti et voies de circulation coaltarées notamment). Du point de vue de l'érosion, ces surfaces ne sont pas directement productrices de matériaux mais elles peuvent contribuer à concentrer le ruissellement en périphérie du fait de leur caractère plus ou moins imperméable. Certains petits objets isolés comme les toits ont été pris en considération pour les plus grands, bien qu'ils soient pour la plupart voués à disparaître du fait de l'unité minimale à 100 m² dans le produit fini dès le N1.

***Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 :** le bâti ne pose a priori pas de difficulté de reconnaissance à l'échelle de l'unité minimale de collecte. Les surfaces coaltarées présentent quant à elles un signal souvent proche de celui des sols peu végétalisés voire de la végétation ou d'autres surfaces non imperméabilisées, ce qui les rend parfois difficiles à cartographier en continu. L'automatisation de leur détection devra prendre en compte cette caractéristique particulière dans la mesure du possible. Il arrive aussi que le ruissellement les recouvre d'un voile de particules fines qui se traduit par une réponse semblable à une piste, donc un classement dans cette dernière catégorie. Dans le doute, les voies concernées par ces incertitudes ont été classées en piste. Les éléments de bordure des chaussées goudronnées (talus, accotement, etc.) sont classés en aménagement indifférencié. Une confusion est par ailleurs constatée entre les voies revêtues de matériel goudronné (imperméables) et les voies simplement revêtues de scories (non imperméables) ; référence utilisée : site de Doniambo. Ce cas ne peut être tranché en photo-interprétation et les chaussées ont été classées comme imperméables par défaut, cas qui semble fréquemment le plus vraisemblable dans les zones test.*

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; aménagement indifférencié (brique) et voie imperméabilisée (rouge).

Aménagement indifférencié (N3)

Tout aménagement ne rentrant pas dans une des catégories précédemment définies, quelle qu'en soit l'origine (voir illustration précédente). Suivant sa nature, un aménagement indifférencié pourra être assimilé à une zone de départ érosif, de dépôt ou neutre.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

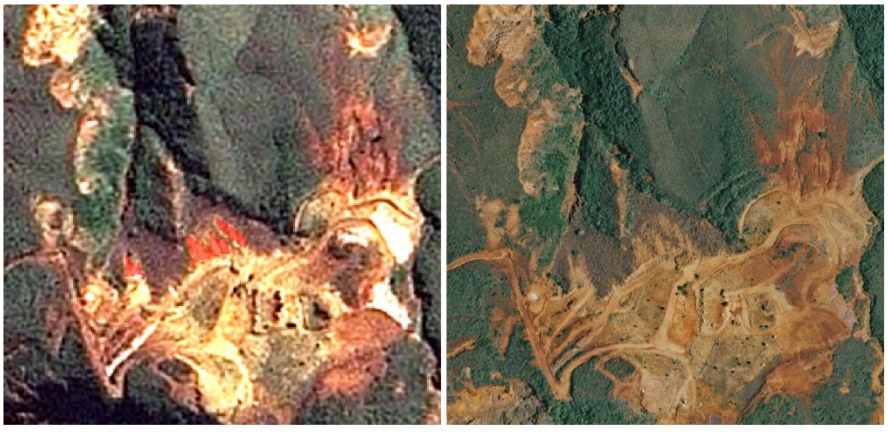
Sol nu ou peu végétalisé indifférencié (N2)

Toute surface non aménagée sans couverture végétale significative, non couverte par des nuages, par une ombre topographique portée ou par une étendue d'eau (traité partiellement : sols nus uniquement).

Arasement (N3)

C'est une surface dénuée de végétation, où la roche est mise à nu par abrasion et ruissellement. En contexte calédonien, l'arasement résulte du déversement de matériaux issus de l'activité minière sur des versants à forte pente (décharge non contrôlée). Les arasements sont généralement repris par les effets du ruissellement (défaut de gestion des eaux pluviales). Ils peuvent par conséquent contribuer au départ de matériaux de manière plus ou moins similaire aux escarpements rocheux actifs.

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *localisés entre la zone d'apport par les engins (piste, plateforme) et la décharge non contrôlée, les arasements sont d'emprise variable et leur présence n'est pas systématique. Lors de cette cartographie sur les zones tests, il est apparu que les arasements sont souvent difficiles à identifier car soit ils sont masqués dans les zones d'ombre, soit la donnée occasionne fréquemment une confusion sur mine avec certains ravinements liés au défaut de gestion des eaux et avec les décharges non contrôlées (en cas de doute, c'est le ravinement ou la décharge qui prime). La confusion avec des talus en remblai est aussi possible pour un œil peu habitué au contexte minier calédonien, ce qui suggère que l'automatisation de la cartographie de cette classe semble compromise. Le choix a par conséquent été fait de ne pas les cartographier à l'intérieur des zones d'activité minière pour retenir surtout les périphériques qui peuvent potentiellement poser des problèmes environnementaux. L'érosion ayant conduit à l'ablation de la végétation et du matériel meuble sans ravinement majeur ni arasement a été laissée en sol nu indifférencié. Malgré ces précautions, cette classe est susceptible de présenter plus que d'autres des erreurs d'interprétation sans vérité terrain ou donnée exogène. Si cette classe arasement est maintenue pour la généralisation à la Province, sa cartographie ne pourra être automatisée et elle nécessiterait de disposer d'un inventaire exogène, ces objets étant a priori historiques et non plus susceptibles d'apparaître de nouveau.*



Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; arasement en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Surface significativement brûlée (N3)

Surface affectée plus ou moins récemment par un incendie. La destruction de la couverture végétale et la déstructuration plus ou moins profonde de la couverture pédologique qui résultent d'un incendie conduisent potentiellement à des départs érosifs.

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *en contexte calédonien, la signature spectrale des zones brûlées est souvent proche de celle de la cuirasse, ce qui rend la reconnaissance difficile, parfois même pour un œil averti. Des zones précédemment en végétation dans lesquelles on reconnaît une texture de couverture végétale sont tout de même identifiables en autonomie. En cas d'impossibilité de discriminer surface brûlée et cuirasse, la zone est laissée en sol nu indifférencié. La forme et la superficie des zones significativement brûlées est très variable et non spécifique : ramassée, suivant les versants ou des talwegs, discontinue d'un versant à l'autre, etc. Ce caractère discontinu de certaines zones brûlées conduit à sous-estimer les superficies du fait de la taille de l'unité minimale de collecte. Lorsqu'une surface brûlée est détectée sur un autre élément (zone d'érosion préexistante, piste, etc.), celui-ci prime sur la zone brûlée, ce qui contribue aussi à fragmenter les surfaces concernées. Si le départ du feu advient souvent à proximité de la présence humaine, il est fort probable qu'à l'échelle de ce projet ce critère ne puisse pas aider à l'automatisation de la cartographie, notamment en cas de fragmentation des surfaces.*

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; zone significativement brûlée en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Ravine
Zone de ravinement (N3)

Zone d'incision linéaire. Dans sa forme isolée, c'est une ravine (seuil de détection : donnée N1 brute). La coalescence de formes d'incision linéaire conduit à dénuder des surfaces continues parfois très étendues (lavakas, badlands…). Tous les types de ravinement contribuent aux départs érosifs. Le ravinement présente fréquemment une évolution régressive. Il est cartographié ici sur une base des formes détectables, sans considérer d'éventuels aménagements de gestion des eaux non détectables à l'échelle de travail (drains, déviations, etc.).

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *l'identification des ravines est généralement aisée du fait de la forme linéaire caractéristique, aux bords nets. A noter que les ravines présentent fréquemment un flanc dans l'ombre. Cependant une confusion est possible avec des coulées ou des laves torrentielles (mouvements de terrain) et ceci d'autant plus facilement que les cicatrices laissées par ces dernières peuvent présenter par la suite une tendance au ravinement. Dans le doute, c'est la ravine qui prime.*

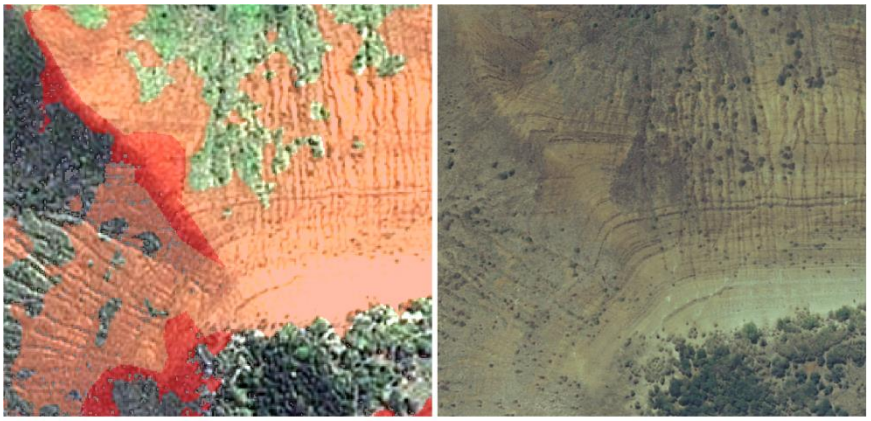
Une zone de ravinement est souvent bien plus large que profonde, à la différence d'une ravine isolée. Sa forme, variable, est par ailleurs souvent plus ramassée : poire inversée, persillé ou au contraire arborescence qui reste plus ou moins linéaire, non caractéristique, etc... Très évoluée, la zone de ravinement peut ne plus présenter de drainage linéaire caractéristique et/ou contenir des affleurements rocheux ; elle contribue cependant aux départs érosifs tant qu'il reste des matériaux meubles à mobiliser. Noter ici la difficulté à discriminer en photo-interprétation le matériel rocheux du meuble sans vérité terrain. Dans tous les cas, les zones de ravinement sont cartographiées par leur enveloppe, dans laquelle peuvent localement subsister des îlots non ravinés. Lorsque le ravinement affecte un aménagement (piste, décharge par exemple), c'est la forme d'érosion qui prime sur l'aménagement. Lorsqu'une qu'une ravine s'individualise nettement, elle prime sur la zone de ravinement.

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; ravines en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

0 50 100 m

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; ravinement (brique) et sol nu indifférencié (rouge).



0 50 100 m

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; ravinement (brique) et sol nu indifférencié (rouge).

Falaise, escarpement rocheux actif (N3)

Escarpement en pente forte et de hauteur variable, non ou peu couvert de végétation. Affleurement de nature rocheuse, la falaise et l'escarpement sont plus ou moins fréquemment affectés en bordure par l'érosion gravitaire, ce qui en fait des zones de départs érosifs épisodiques (chutes de blocs, éboulements). L'accumulation des pierres et blocs érodés en pied d'escarpement forme un éboulis. C'est cette proximité à la source qui les caractérise. Dans ce projet, la classe des éboulis inclut les matériaux déposés par des éboulements. La pente des éboulis est plus faible que celle des zones de départ,

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *de forme cartographique et d'aspect très variable, les escarpements rocheux peuvent s'avérer difficiles à identifier. Sur les zones test, très peu ont été détectés. Par ailleurs, il est pressenti que la recherche d'une automatisation de leur cartographie n'est pas pertinente du fait de la complexité des formes et de leur détection devant le peu de superficie concernée. En effet, la nature des roches affleurantes et leur éventuelle patine induit une signature variable, d'autant plus difficile à détecter automatiquement en présence de végétation éparse à flanc de rocher.*

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Mouvement de terrain (N3)

Phénomène résultant de l'instabilité gravitaire d'un versant. Les départs érosifs les plus conséquents en volume érodé sont les mouvements en masse (glissements, coulées, éboulements...). Les chutes de blocs s'expriment sur des périodes plus longues et produisent des éboulis s.str. La nature des matériaux impliqués est variable, ainsi que la pente. Les masses sont mobilisées plus ou moins rapidement et certaines portions peuvent se déplacer en conservant intacte leur couverture végétale. Les mouvements de terrain sont des zones de départ érosif par conséquent difficiles à appréhender par analyse semi-automatique, d'autant que d'autres classes de formes d'érosion sont considérées dans ce projet. Le terme local « arrachement » renvoie à de petits glissements superficiels de taille approximativement métrique à décamétrique, de forme allongée ou non. Il existe cependant des glissements d'ampleur plus variable (pluri-hectométrique parfois) qui affectent des volumes plus importants. L'enveloppe de la zone instable est de forme variable et des îlots de végétation peuvent sembler préservés en surface ; la pente est extrêmement variable (souvent forte dans les zones de départ, moindre sur les atterrissements). Ces glissements affectent aussi une épaisseur plus importante de matériaux et peuvent évoluer en coulée en présence d'eau.

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *l'identification des formes gravitaires est souvent délicate et fait appel à un ensemble de notions de géomorphologie dont les principales ont été rappelées Cependant, lorsque le mouvement de terrain présente une forme simple avec des zones de départ et d'atterrissement bien marquées, il peut être assez facilement reconnu en photo-interprétation (voir ci-dessous). Cette complexité des formes gravitaires rend l'automatisation de leur cartographie a priori impossible. L'approche raster retenue met essentiellement en évidence les mouvements superficiels rapides comme les arrachements et les coulées, ainsi que des mouvements en masse d'ordre décamétrique (voir ci-dessous). Cependant les arrachements, de trop petite taille, ne seront pas retenus au-delà du N1 du fait de l'unité minimale de collecte. Lorsqu'il existe un aménagement ou du ravinement dans la forme, ils priment sur le mouvement de terrain. Attention à la confusion des coulées et laves torrentielles, de forme allongée à très allongée, avec les ravines isolées (forme, position géomorphologique et environnement) ; en cas de doute c'est la ravine qui prime.*

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; mouvements de terrain en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Affleurement peu sensible à l'érosion (N3)

Roches hors escarpement. Du fait de leur nature et de leur position basse dans le paysage, ces matériaux sont peu impliqués dans les processus érosifs rapides (roches indurées en fond de vallée…). Les autres matériaux en place sont classés en cuirasse ou en sols nus indifférenciés.

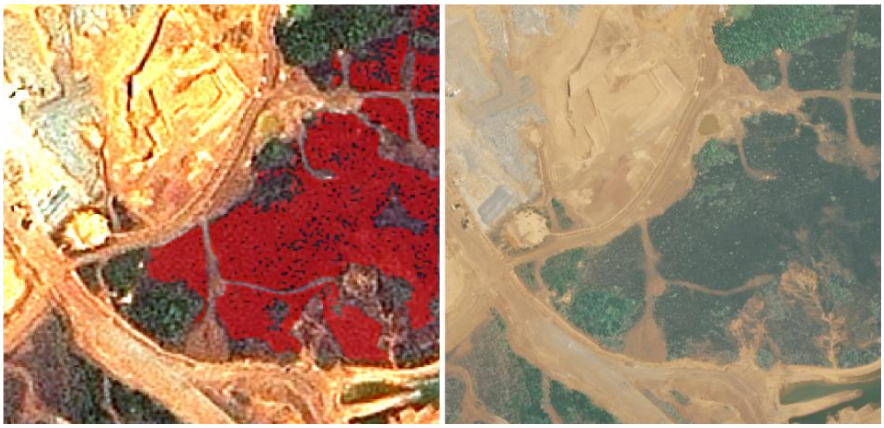
Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *ce sont des surfaces nues visibles dans les cours d'eau ou sur les rives, dont la reconnaissance visuelle est principalement liée à l'aspect plus ou moins fracturé des matériaux. Avec une capacité d'automatisation de leur cartographie à priori impossible, ces éléments sont parfois difficiles à distinguer des sédiments et des matériaux en place et non indurés des fonds de vallée.*

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; affleurements rocheux de fond de vallée (rouge) et sédiments (jaune).

Cuirasse (N3)

La cuirasse est un matériau drainant qui peut se rencontrer dans les formations d'altération. En général la cuirasse est peu sensible à l'érosion, à moins de former un escarpement. Sa composition particulière lui confère, en imagerie satellitaire, une signature spectrale spécifique qui ne permet pas de la traiter avec les autres affleurements peu sensibles à l'érosion

Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 : *comme dans la plupart des données satellitaires, la cuirasse calédonienne nue ressemble beaucoup à une zone brûlée. On la rencontre surtout en massif ultramafique et elle présente en général des pentes modérées. Par ailleurs, sa position dans le paysage n'est pas un élément discriminant pour l'automatisation de sa cartographie.*



Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; cuirasse en rouge.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Éboulis (N3)

Accumulation par gravité de matériaux à la base des pentes rocheuses. Ces dépôts résultent de l'évolution des falaises et des escarpements. Leur emprise cartographique se limite aux sols nus ou peu végétalisés détectés.
Ces dépôts peuvent prendre la forme d'un cône s'ils sont issus d'un couloir d'érosion concentrant leur cheminement vers le bas. S'ils sont contigus, ils s'étalent et on parle alors de tabliers d'éboulis. Dans tous les cas, leurs pentes sont souvent marquées (autour de 32° ; B. Francou, 1988, 1989, 1991, J-N. Salomon, 2007). Les caractéristiques géomorphologiques de cette forme sont particulières : pente, topographie et dimension en font une forme difficile à confondre avec d'autre type d'accumulation en milieu naturel.
***Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018 :** les quelques éboulis cartographiés sur les zones test sont peu étendus et principalement issus d'éboulements. Dans ce cas, la zone de départ du mouvement de terrain se situe à proximité vers l'amont, de même pour un éboulis issu d'escarpement rocheux. A noter qu'il est rare de détecter à la fois la zone de départ et la zone d'atterrissement, l'une ou l'autre se trouvant généralement dans l'ombre, ce qui rend leur identification plus délicate. Par ailleurs, un éboulis peut être connecté au réseau de drainage, ce qui le rend alors difficile à distinguer des sédiments. Attention à la confusion avec les décharges (environnement minier). Devant la difficulté à identifier les éboulis et le peu de superficie concernée, l'automatisation de cette classe ne paraît pas pertinente.*

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; éboulis issu de mouvement de terrain en rouge et sédiments en jaune.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Colluvions et sédiments (N3)

Les colluvions et les sédiments sont des formations de dépôt dont la cartographie est limitée aux sols nus détectés.

Colluvion : dépôt le plus souvent meuble et de faible épaisseur issue de l'érosion par ruissellement de surface et/ou par gravité et transporté à courte distance sur un versant ou à sa base.

Sédiment : ensemble meuble ou induré formé par dépôt de particules issues ou non de l'érosion (clastiques, biogéniques, chimiques), transportées sur une distance variable et accumulées en couches sous l'effet de la gravité et/ou d'un courant. Ici, seuls les sédiments d'origine terrigène ont été cartographiés : les alluvions, les cônes de déjection, les envasements ou les engravements sont des sédiments, quelle qu'en soit l'origine.

***Éléments de reconnaissance sur les images SPOT 6-7 de 2018** : les sédiments représentent la grande majorité des superficies attendues dans cette classe. Il peut arriver que la discrimination soit difficile voire impossible avec des matériaux en place du fait de la granularité des images (classement en sol nu indifférencié), cependant il existe des cas où leur reconnaissance est plus aisée (voir affleurements peu sensibles à l'érosion). Leur identification la plus facile dans les lits des cours d'eau fait appel à des notions de géomorphologie fluviatile comme les contextes d'intérieur de méandre, de bancs ou de tresses par exemple. Lorsqu'une décharge minière non contrôlée atteint un lit de cours d'eau, les dépôts restent classés en décharge tant qu'ils restent morphologiquement associés à la décharge. Dès que les matériaux sont manifestement remobilisés par le cours d'eau, ils sont classés en sédiment. Un curage partiel de sédiments reste classé en sédiments tant qu'il s'agit d'un simple enlèvement et qu'il persiste des sédiments résiduels. Par contre, si des sédiments sont manifestement remaniés pour d'autres objectifs, les surfaces concernées sont classées en aménagement.*

S'il semble envisageable d'automatiser en grande partie la détection des sols nus de fond de vallée, la plupart des critères de distinction entre sédiments et matériaux rocheux en place font appel à des notions qui semblent impossibles à automatiser. Une phase de photo-interprétation paraît inévitable pour finaliser ces classes, sachant qu'il persistera dans de nombreux endroits une incertitude liée à la granularité des images déjà évoquée (sol nu indifférencié).

A l'exception des contributions terrigènes manifestes et géologiquement très récentes (embouchures, mouvements de terrain, etc.), les sédiments littoraux (plages, tannes, etc.) ne sont pas considérés ici car impliqués dans des processus autres que ceux abordés dans ce projet : ils sont laissés en sol nu indifférencié.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; sédiments et colluvions en jaune.

Sol nu indifférencié (N3)

Tout sol nu n'entrant pas dans une classe de niveau 3 de typologie précédemment définie est classé en sol nu indifférencié.

Sol nu faiblement végétalisé (N3)

Surface à faible taux de recouvrement végétal. En imagerie, ce type de surface présente un aspect proche de celui d'un sol nu malgré la présence de végétaux épars. (non traité sauf confusion évidente avec des classes de sol nu traitées)

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

4. Classification N3 : REGLES DE DECISION & CONNAISSANCES EXPERTES

L'approche heuristique par système d'expert est une approche qui consiste en un processus de classification basé sur la formulation d'un certain nombre de règles de connaissance définies par l'utilisateur pour chaque type d'objets à classer. Plusieurs règles de décision peuvent ainsi être combinées pour définir une classe d'objets donnée. Aussi pour transcrire la complexité des objets et leurs relations à extraire de l'image, un réseau hiérarchique d'objet/classe est construit et la connaissance est structurée en différents niveaux, permettant ainsi les notions d'héritage et de regroupement sémantique.

Aussi seront présentés ci-dessous les principales règles et systèmes mis en place pour aboutir à la cartographie des sols nus à l'échelle de la province Sud. Afin de paramétrer le système de décision, seront principalement utilisées comme données auxiliaires les informations relatives à l'usage des sols nus pour les zones aménagées ainsi que la configuration du terrain pour les formes naturelles.

Ces opérations seront contrôlées et complétées par photo-interprétation, pour éliminer les confusions persistantes et pour cartographier les classes difficilement identifiables même par système expert.

4.1. Zones Aménagées

Dans le processus cartographique mis en place, les zones aménagées sont les premières surfaces qui feront l'objet de la cartographie de niveau 2 des sols nus et peu végétalisés. Il en sera de même pour le niveau 3, pour lequel il est envisagé de traiter d'abord la classe des carrières, zones de chantier et verses. Viendront ensuite les pistes (voirie non revêtue), puis en dernier lieu le bâti et autres zones imperméabilisées.

4.1.1. Carrières, zones de chantier & verses contrôlées

Ces aménagements sont pour certains répertoriés dans la BDTOPO, qui servira à les pré-identifier dans les aménagements détectés au niveau 2. La classe fera l'objet par la suite d'un complément par photo-interprétation. En effet, ces zones sont facilement reconnaissables à l'œil nu et ne sont pas sujettes à confusion. La méthode ayant donné de bons résultats, les efforts de recherche méthodologique sont dirigés vers des catégories majoritaires et pour lesquels les données exogènes ne sont pas à jour ou considérées comme incomplètes.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

4.1.2. Pistes

Les pistes présentent une forme linéaire caractéristique. C'est surtout vrai pour la chaussée, dont la largeur est relativement régulière pour une piste donnée (mais variable d'une piste à l'autre). Par contre la prise en compte des éléments de piste bordant la chaussée est plus délicate et conduit à obtenir une largeur variable des pistes.

Afin d'avancer sur l'automatisation de la cartographie de cette classe, nous proposons, dans le cadre de ce travail, de fixer une valeur moyenne pour la largeur des pistes représentative de la chaussée. Ainsi, il sera possible d'exploiter les données exogènes disponibles (BD topo, OSM, MOS 2014) pour dresser une cartographie du réseau de pistes sur l'ensemble de la PS ; ce réseau sera contrôlé et complété par photo-interprétation. La couche « piste » est par la suite intégrée aux systèmes de décision composés par le N1 et les NDVI de chaque date.

Un principe de décision conservatoire est également appliqué à ce niveau de classification, nous permettant d'extraire :

- Les zones centrales des pistes (chaussée) dénuées de toute végétation
- Les pistes sous canopée (avec la possibilité de les conserver comme pistes ou de les inclure dans la catégorie « autre »)
- De différencier les chaussées des zones de périphérie (talus, zones dénudées autour des pistes) à classer en sols nus indifférenciés

Procéder ainsi permettra également de réduire les erreurs et les potentielles différences d'interprétations en fonction des opérateurs.

4.1.3. Bâti & autres zones imperméabilisées

Les zones bâties et/ou imperméabilisées sont de plusieurs types. Principalement, nous retiendrons les surfaces recouvertes d'un toit et celles imperméabilisées par un revêtement goudronné, qui sont *a priori* les plus fréquentes sur la Grande Terre.

L'extraction des voies de circulation imperméabilisées est effectuée selon le même principe et via la même méthodologie que pour les pistes, tel que détaillé ci-avant, avec comme principale différence la largeur moyenne, qui sera fixée après concertation à l'occasion de l'Atelier 2.

Les toits présentent une signature très variable (sol nu à végétation) qui rend leur détection délicate. Cependant, les surfaces de toits continues et présentant un superficie supérieures à 2 500 m² sont supposées peu nombreuses. Une pré-détection à partir des éléments de la BDTOPO pourra être effectuée, complétée par une phase secondaire de photo-interprétation.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Les zones revêtues de matériau goudronné demandent quant à elles un traitement à part du fait d'une signature variable dans la cartographie de niveau 2 (sol nu à végétation). Rappelons que les surfaces revêtues de scories seront probablement incluses du fait d'un signal radiométrique proche. A noter que si un voile de particules fines est déposé sur la surface imperméable à l'acquisition de l'image, la surface sera détectée comme un sol nu non imperméable. Cela peut aboutir dans le résultat cartographique à une discontinuité de surfaces imperméables qui ne le sont pas nécessairement.

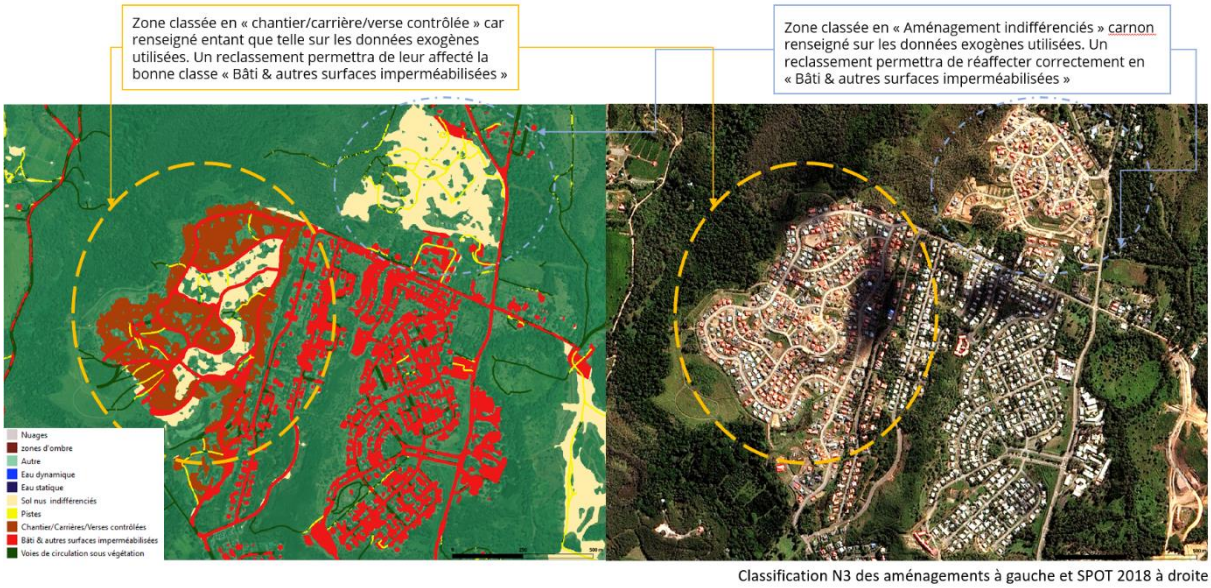


Figure 2 : erreurs de classification et limites de l'approche retenue

4.2. Sols nus non aménagés

Les sols nus ou peu végétalisés de niveau 2 sont diversifiés et fortement liés à la nature et à la configuration du terrain. Le système de décision construit ici pour les distinguer au niveau 3 est basé sur des paramètres de géométrie, de morphométrie de terrain et de relief. Les règles de décision sont également basées sur les statistiques calculées sur la base de la classification des zones de tests.

Morphométrie de terrain : Il s'agit de la mesure des formes de la surface terrestre (George, 1970), basée sur l'analyse de la géométrie d'objets, elle s'intéresse aux formes et repose sur les statistiques. Il s'agit pour nous dans ce travail de rechercher des corrélations entre les formes érosives et les paramètres de terrain à l'instar de certain auteurs (Wald et Allen, 2007 ; Yokoyama, 2002…) qui ont utilisé les paramètres de morphométrie de terrain afin de caractériser les types de sols.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Seules les variables utilisées dans ce travail sont exposées ci-dessous. Leur utilisation est couplée aux statistiques tirées des zones tests comme aide à la cartographie.

Une phase de préparation du MNT est nécessaire avant de procéder à l'extraction d'éléments comme les pentes, les courbures, les indices comme le TPI ou encore le réseau hydrographique et les bassins versants. Afin d'éviter les ruptures d'écoulement dans le réseau, des prétraitements sont nécessaires : écrêtement des dômes, homogénéisation des élévations des plans d'eau, modification des élévations des barrages et remplissage des cuvettes. Cette phase n'est pas détaillée dans ce document.

Sont ainsi présentés ci-après les principaux éléments de morphométrie remarquables :

Pente

La pente est définie comme la mesure d'inclinaison d'une surface par rapport à l'horizon. Dans ce travail la pente est calculée en degrés et utilisée comme variable supplémentaire pour plusieurs classes en fonction de son lien avec les phénomènes érosifs.

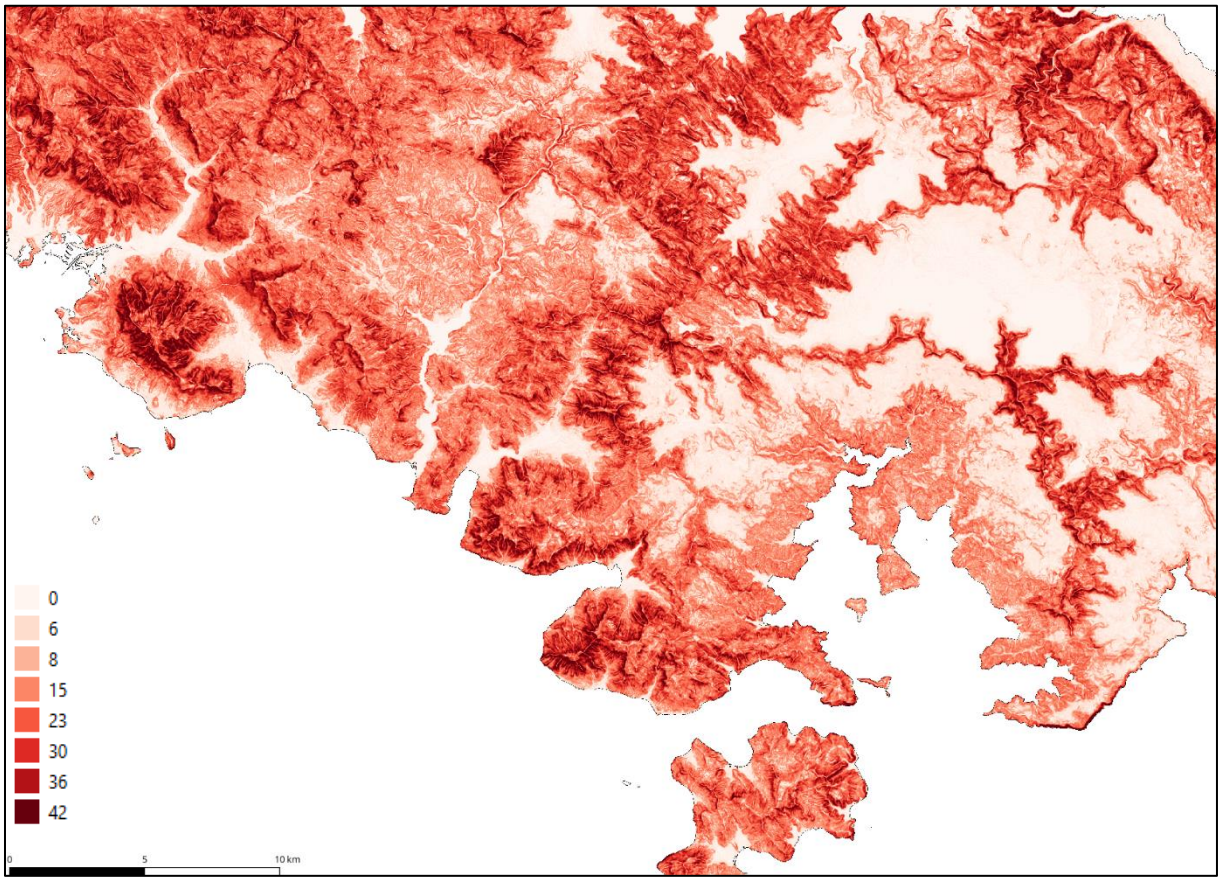


Figure 3 : carte des classes de pentes (exprimées en degrés)

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Courbures de pente

Les courbures de pente dérivent au second ordre du MNT, il s'agit de savoir si la surface est concave ou convexe et de décrire les caractéristiques physiques d'un bassin de drainage pour comprendre le processus d'écoulement ou dans le cas qui nous intéresse d'érosion. La valeur de la courbure permet de rechercher les motifs d'érosion du sol. La courbure de profil (longitudinale) affecte l'accélération et la décélération du flux hydrique, ce qui influence l'érosion et le dépôt. La courbure planiforme influence la convergence et la divergence du flux.

Dans notre cas, nous avons dérivé ces courbures comme données supplémentaires intégrées au bloc de données à classer.

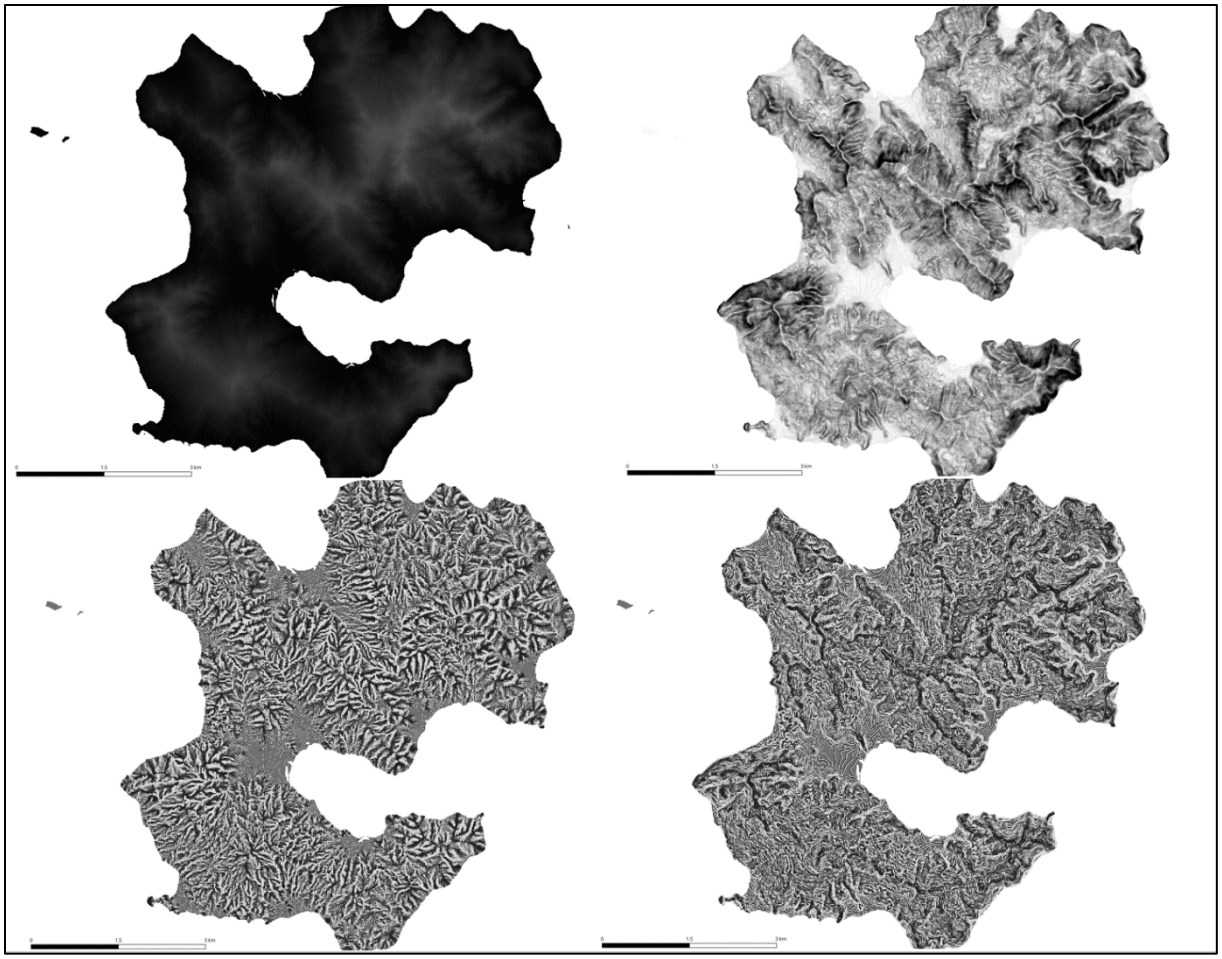


Figure 4 : exemple de paramètres dérivés du MNT sur l'ile Ouen
(de haut en bas et de gauche à droite : MNT(DTSI), carte des pentes, carte des courbures planiformes et carte des courbures de profil)

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Topographic Position Index (TPI)

Pour le TPI, la méthode repose sur le calcul de la différence entre l'altitude d'une cellule (pixel) et la moyenne des altitudes des cellules voisines. Une valeur de TPI fortement négative correspond à une zone de fond de vallée, une valeur de TPI proche de 0 correspond à un versant et une valeur de TPI fortement positive représente un espace proche d'une "ligne de crête".

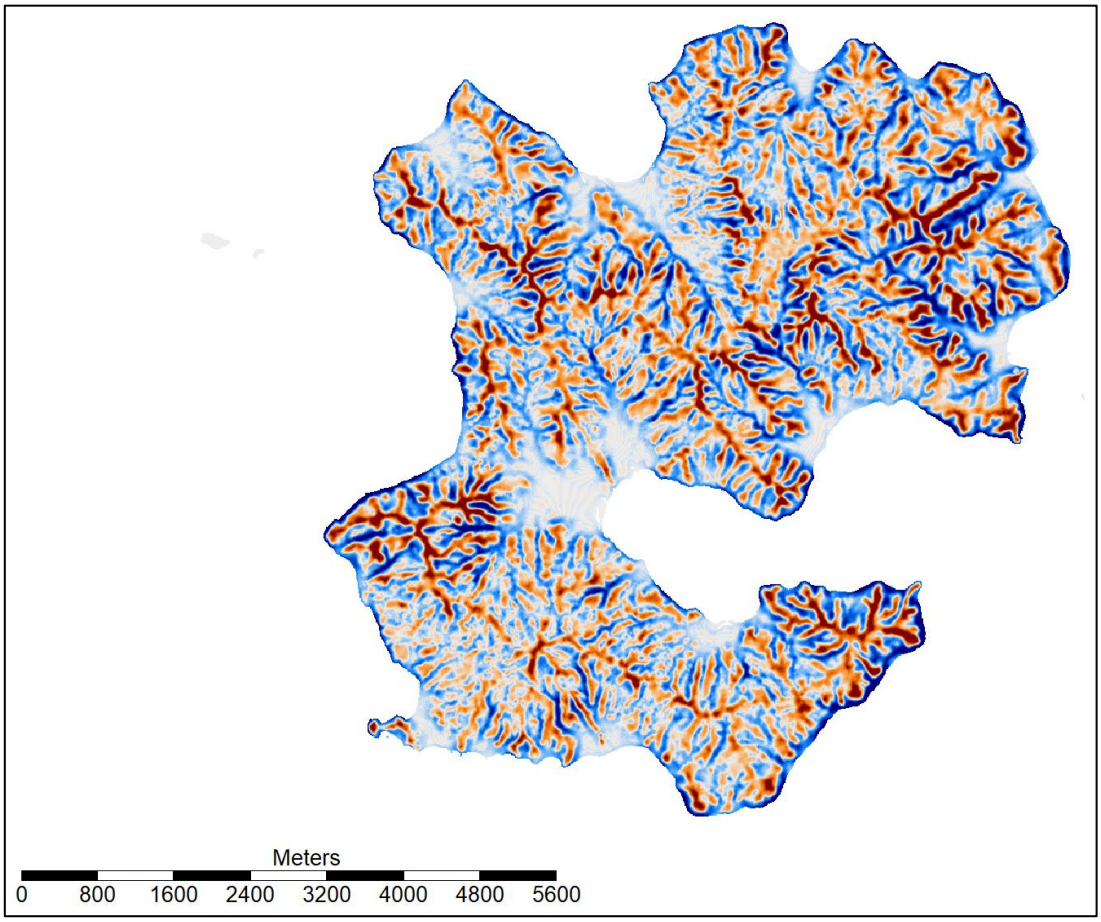


Figure 5 : exemple de TPI calculé à partir du MNT (DTSI) sur l'ile Ouen

Relativement au guide de reconnaissance réalisé en 2012 par Isabelle Rouet et qui décrit la plupart des formes définies pour ce projet, les sols nus non aménagés de niveau 3 sont ici présentés en **4 grandes familles** : Zones d'érosion diffuse, Zones d'érosion linéaire, Formes gravitaires et Zones de dépôts.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Zones d'érosion diffuse

L'érosion diffuse se manifeste lorsque le ruissellement forme une lame d'eau qui s'écoule en nappe. Localement, le pouvoir érosif est modéré (départ plus ou moins rapide des matières organiques et plus lent de particules fines minérales), mais ce type d'érosion peut concerner des surfaces étendues. Cela concerne des surfaces dont la végétation a disparu sans que l'érosion n'ait encore conduit à des incisions. Par exemple, lorsque le sol est mis à nu par un incendie, il est en premier lieu soumis à l'érosion diffuse.

4.2.1. Sols nus peu végétalisés

Les sols faiblement végétalisés sont difficilement discernables à l'œil humain (expérimenté ou non), c'est pourquoi une stratégie de seuillage a été réalisée sur les indices issus des images brutes. Les conditions environnementales de prise de vue étant différentes (saison, inclinaison, précipitations…) les seuils sont impactés, la recherche des seuils optimaux a été réalisée suivant la même méthodologie que pour le N1 (rupture d'histogramme suivi de phase de sélection empirique).

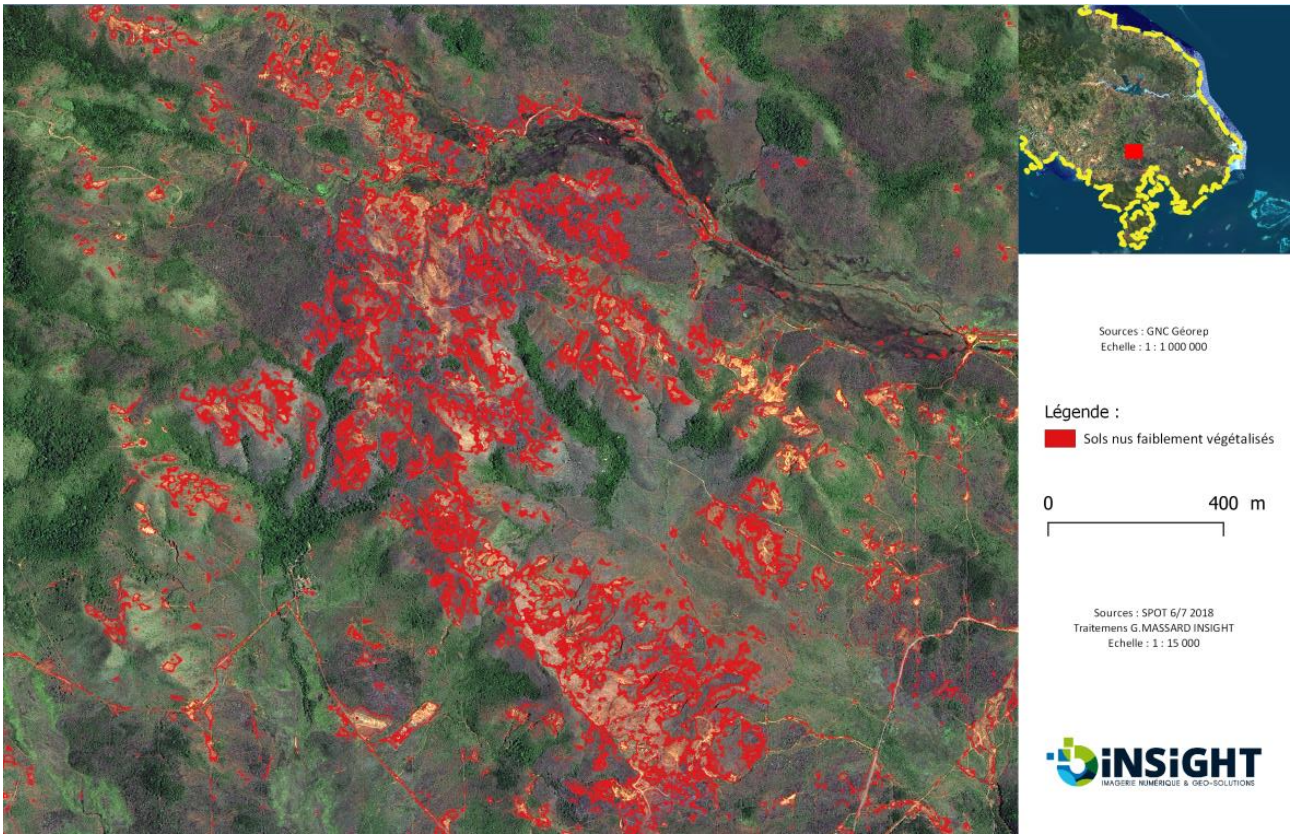


Figure 6 : exemple de détection des sols faiblement végétalisés (localisés surtout autour des zones de sols nus)

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

4.2.2. Zones significativement brûlées

Une zone brûlée est considérée dans ce travail comme une zone ayant subi un incendie avant l'acquisition de l'image et dont la végétation est presque exclusivement morte.

Les zones brûlées possèdent des tailles très variées, s'étalant parfois sur des kilomètres. Elles sont souvent discontinues (îlots de végétation préservés, sauts liés au vent, etc.). La plupart du temps, elles se situent à proximité des zones habitées ou des voies de circulation.

En Nouvelle-Calédonie, la particularité de ces zones réside dans leur revégétalisation plus ou moins rapide selon le substrat. En effet, le climat de l'île est particulièrement propice à cela avec un taux d'humidité élevé et une végétation présente ici telle que les fougères qui sont très réactives aux précipitations (Massard, G. ; 2019).

Afin de délimiter au mieux cette classe nous avons eu recours aux données Sentinel-2 du programme européen COPERNICUS.

Un protocole a été développé et basé sur l'indice NBR (Normalized Burned Ratio). Basé sur les bandes spectrales NIR (Near Infra-Red) et SWIR (Short-Wave Infra-Red) et calculé pour les images pré et post incendie. Ainsi la différence entre les NBR permet une détection robuste des zones incendiées.

La fenêtre temporelle considérée s'étale de septembre 2017 à Décembre 2018 ; en effet certains incendies (notamment de fin 2017) ont été particulièrement intenses et la persistance des effets sur la végétation sont restés visibles longtemps après.

La couche de zones incendiées produite ainsi a été croisée avec la classe de sols nus ou peu végétalisés issus du N2 de classification pour affecter les labels uniquement aux secteurs qui nous intéressent pour cette étude.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

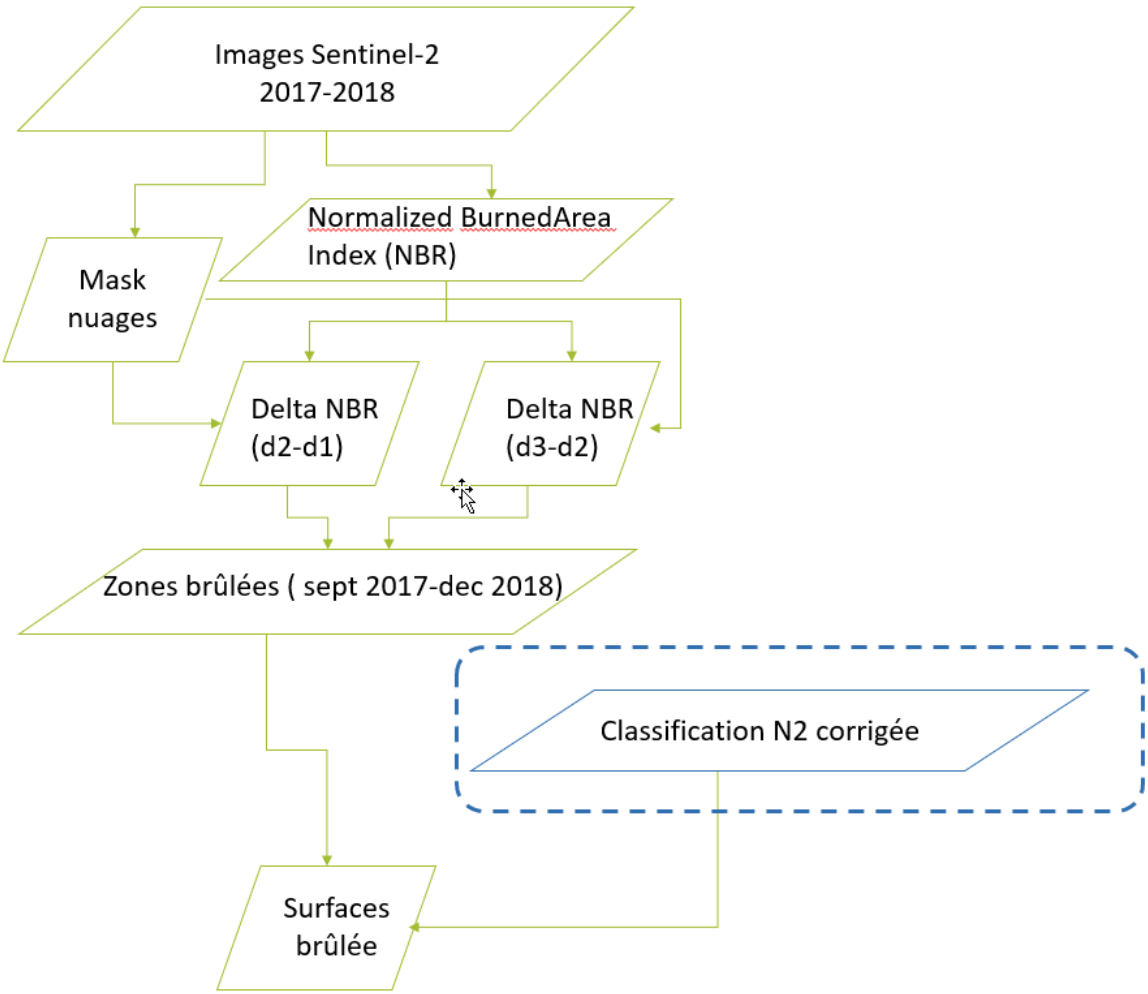


Figure 7 : protocole de cartographie des « surfaces brûlées »

La détection est robuste, mais se heurte toutefois aux limites de la donnée utilisée.

Seuls les secteurs hors nuages aux dates considérées ont pu être traités.

Il faut ainsi, pour compléter la classe zone significativement brûlée, procéder à de la photo-interprétation pour atteindre les seuils de précision visés pour cette étude.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

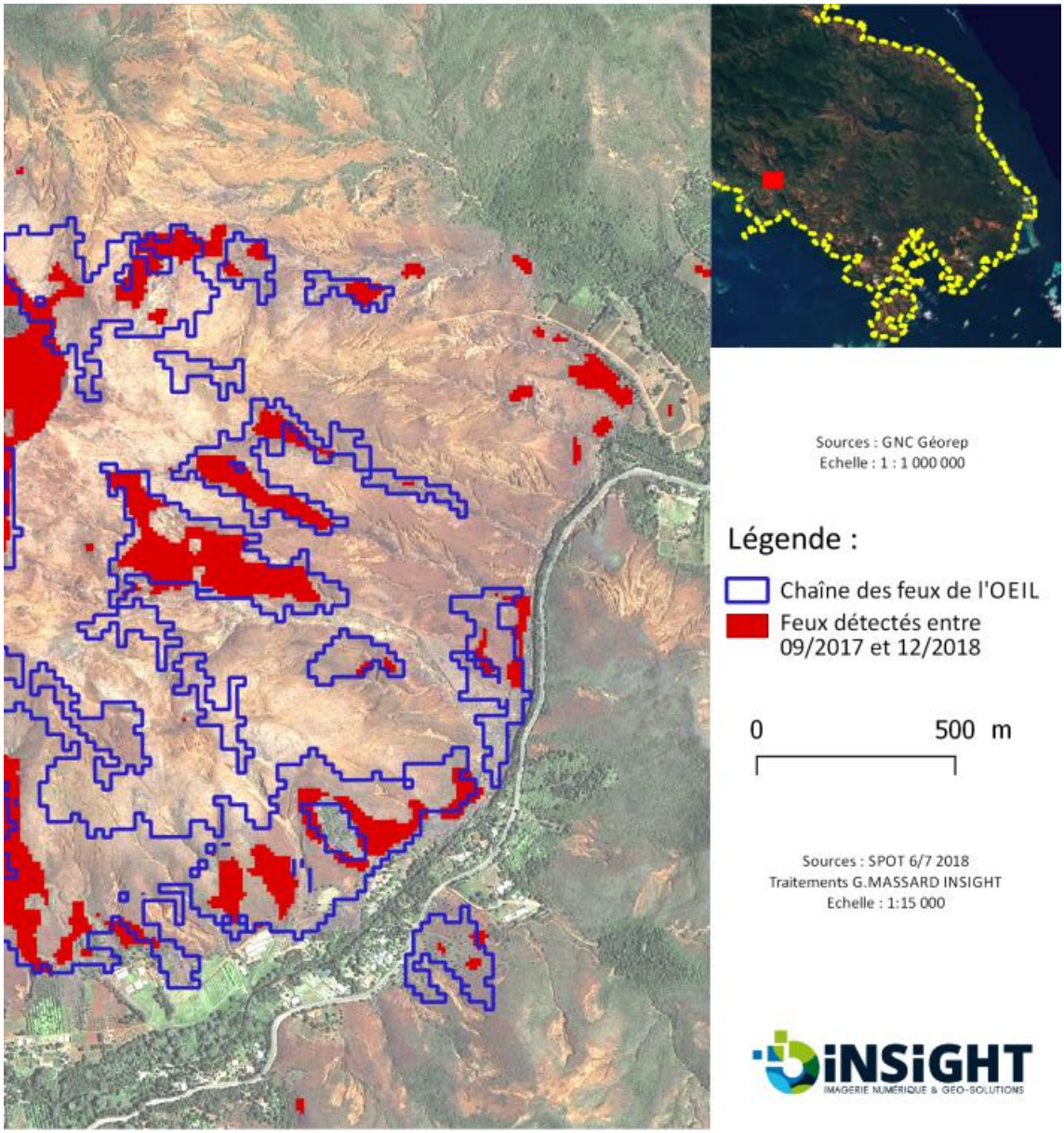


Figure 8 : exemple de résultat issu du protocole de détection de surfaces brûlées

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

La plupart des classes qui suivent font appel à des notions de géomorphologie. Dans les cas les moins complexes, un protocole de détection semi-automatique peut faciliter leur cartographie en se basant sur les critères morphométriques présentés ci-avant.

Zones d'érosion linéaire

4.2.3. Ravines isolées et Zones de ravinements (lavakas, badlands…)

Les efforts méthodologiques ont été concentrés autour de la recherche de corrélation entre la géométrie des ravines et la configuration du terrain. Ainsi, on a pu constater de manière générale, que les zones de ravinement (leurs dynamique et leurs modelés) sont différentes en fonction de la morphométrie du relief.

Une ravine isolée correspond à une incision linéaire isolée et profonde.

Les ravines s'amorcent à l'amont par une pente plus forte que celle du versant dans lequel leur approfondissement est rapide.

Incisions en réseaux peu profondes devant l'étendue érodée, laissant parfois apparaître la roche mère. Dans le cas des lavakas par exemple, il est fréquent d'observer en bordure des surfaces en érosion diffuse, ce qui est peu le cas dans les badlands de la Côte Ouest.

Le protocole mis en place à partir des zones test pour la cartographie des formes linéaires se base en grande partie sur les éléments ci-dessus. Les paramètres dérivés du MNT ont été intégrés au processus de classification et une approche « objet » a été privilégiée pour cette famille de formes érosives, ce tout en considérant une surcouche de système « Expert » en post-traitement afin de séparer les deux classes concernées, à savoir les « Ravines isolées » des « zones de ravinement ».

La classification testée a mobilisé les données brutes, les indices radiométriques utilisés pour le N1, des indices de textures (indices d'Haralick 1979) calculés sur le canal rouge et des indices de texture locale appelés « Strutural Feature Set (SFS) » et calculés sur la base des histogrammes de pixels et leur voisinage dans plusieurs directions.

Toutes ces données ont été regroupées en une seule image. Un croisement avec le N2 a été nécessaire afin de limiter les confusions avec par exemple les aménagements.

Une phase de segmentation a été opérée et affinée jusqu'à obtention de segments représentatifs des formes recherchées. Une classification objet a été lancée sur la base de la segmentation retenue en utilisant l'algorithme du plus proche voisin.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

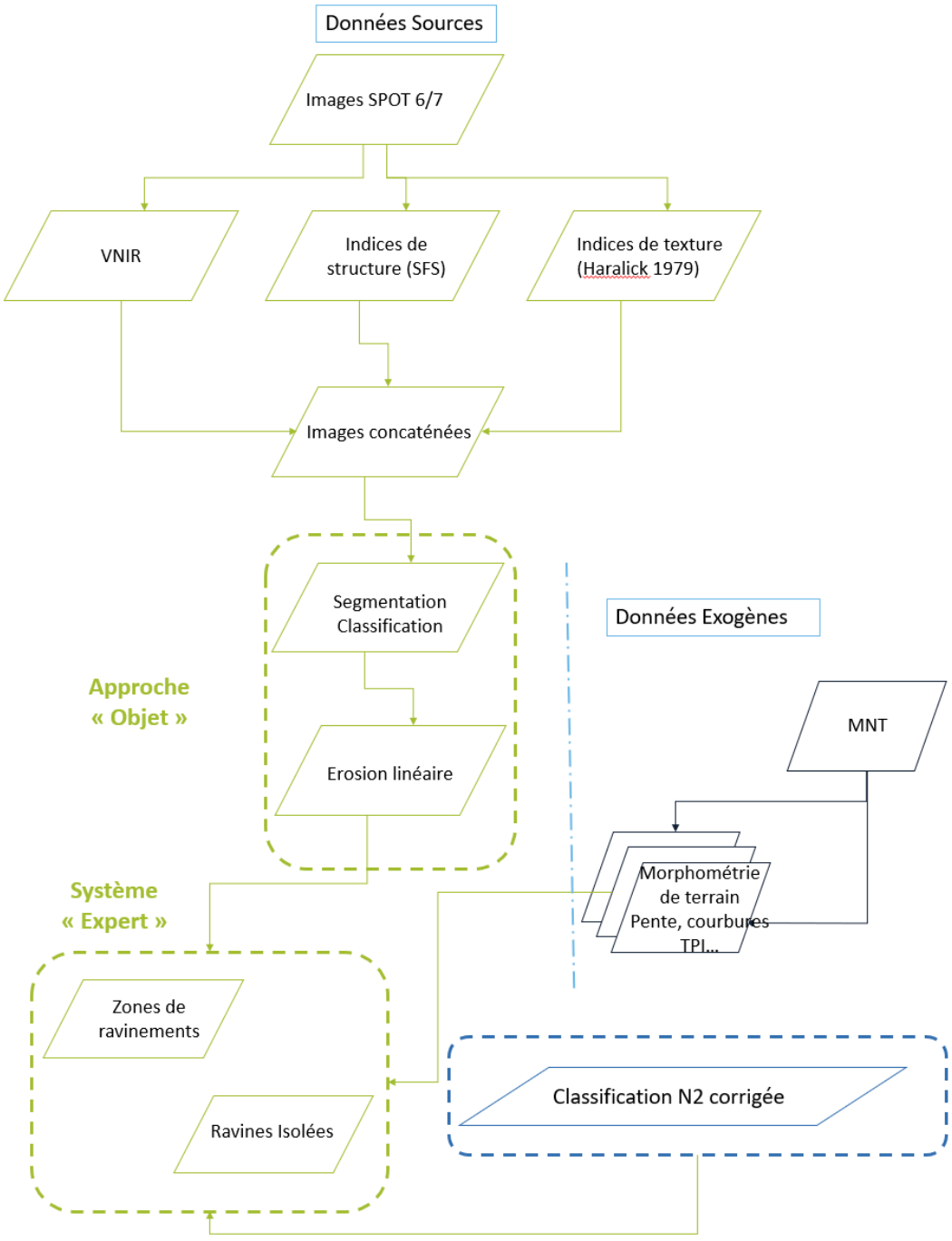


Figure 9 : protocole de cartographie de l'érosion linéaire (simplifié)

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Les résultats sont prometteurs compte-tenu de la complexité des classes considérées. Ils méritent, cependant, d'être affinés par systèmes experts.

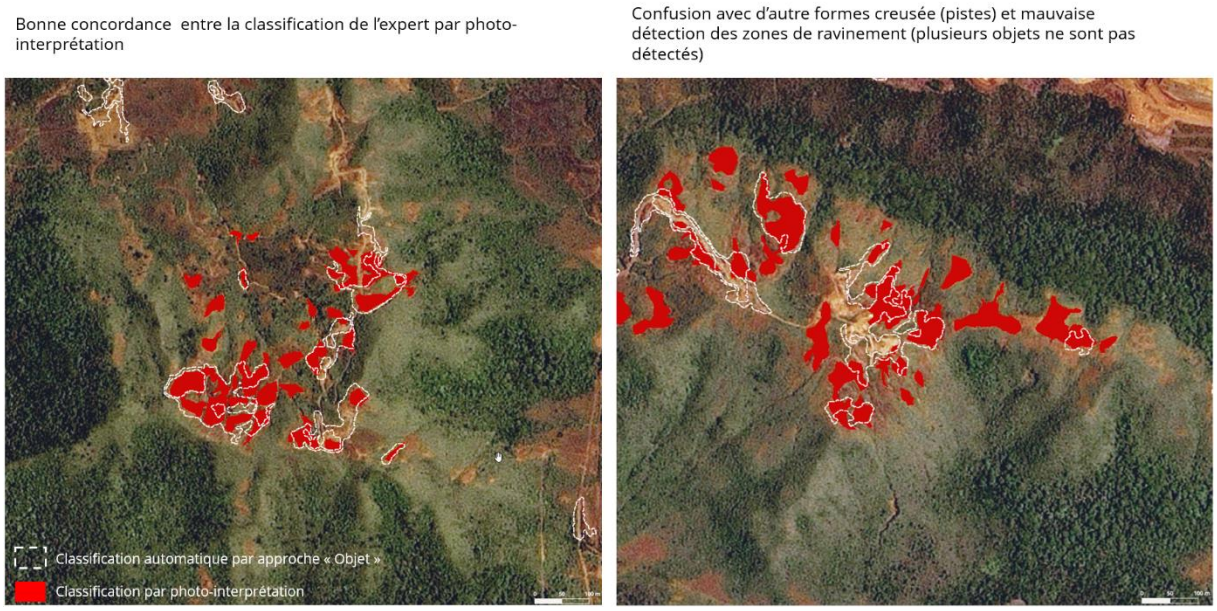


Figure 10 : exemple de résultats issue de classification orientée « objet » sur le secteur de Goro

Enfin, comme pour tous les protocoles mis en place dans cette étude, une phase complémentaire de photo-interprétation permettra de lever les derniers doutes sur le résultat du protocole.

Les formes gravitaires

L'effet de la gravité sur des matériaux en perte de cohésion peut conduire à des départs érosifs. Les plus conséquents en volume érodé sont les mouvements en masse (glissements, coulées…). Les chutes de blocs s'expriment sur des périodes plus longues et produisent des éboulis *s.str*.

Du fait de leur complexité géomorphologique et de la précision inadéquate des données exogènes disponibles, les formes gravitaires seront cartographiées par **photo-interprétation** après cartographie des surfaces liées à l'érosion diffuse et linéaire et des surfaces de dépôt.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Les zones de dépôts

On entend ici par dépôt une formation superficielle récente issue de matière solide transportée soit sur un versant (éboulis, colluvions), soit par un cours d'eau (sédiments).

4.2.4. Sédiments, colluvions et affleurements de fonds de vallée

Les colluvions représentent une faible part des surfaces de dépôt détectées dans les zones test et l'équivalent est attendu ailleurs. Le protocole mis en place porte par conséquent plus spécifiquement sur les sédiments.

Les éboulis étant issus de processus gravitaires, ils ont été présentés dans les formes gravitaires et seront traités avec celles-ci.

Les sédiments regroupent principalement deux grandes classes que sont les engravements et les dépôts fins. Les premiers se rencontrent plutôt dans le lit amont de certains cours d'eau et sont constitués de matériaux grossiers tandis que les seconds se trouvent davantage dans les basses vallées, les estuaires et sur les littoraux à proximité des embouchures ; leur granulométrie est beaucoup plus fine (Rouet, I ; 2012).

Le protocole développé ici repose sur la connaissance experte des caractéristiques et du comportement des dépôts sédimentaires : contexte morphologique autour des cours d'eau et distance à ces derniers. Selon Rouet &al, 2008, les sédiments vont se concentrer sur des pentes inférieures à 6° (potentiellement jusqu'à 8° pour les matériaux les plus grossiers). Ainsi la classe de sols nus ou peu végétalisée issue du N1 de classification peut être croisée avec une carte des pentes et une zone tampon de 50 m autour des surfaces en eau issues du N1, où seuls les secteurs sur de faible pente et dans un rayon de 50 m ont été retenus dans la classe « Sédiments & colluvions ».

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

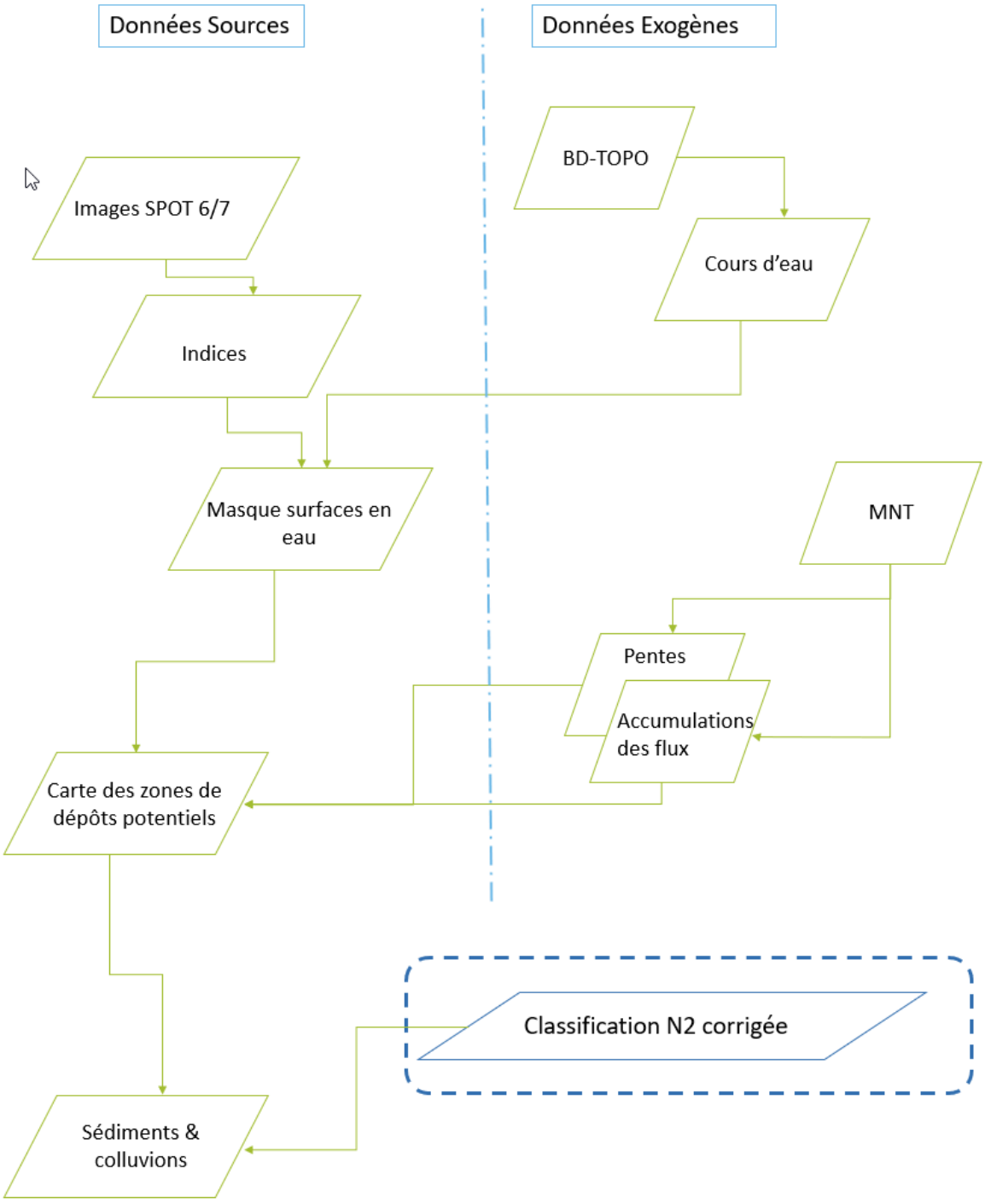


Figure 11 : protocole Cartographie des « Sédiments & colluvions »

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

Ce protocole à dire d'expert a aussi quelques limites sur une zone d'étude aussi étendue que la province Sud. En effet, les zones d'embouchure sont sous-estimées (car la taille de la zone tampon est de 50 m), cette dernière devrait prendre plutôt entre 400 et 450 m autour des grands cours d'eau, c'est pourquoi, une correction par photo-interprétation a été préconisée (ou le recours à des tampons variables). Le second frein, concerne la classe des fonds de vallée rocheux (affleurements peu sensibles à l'érosion), où seul l'œil humain, pourrait faire la différence. Là encore, il est difficile parfois de trancher sur le caractère rocheux ou non des matériaux en place ou avec les sédiments, même pour un œil expérimenté (zones laissées en sol nu indifférencié sur les zones test, voir illustrations suivantes).

Pour ces raisons, les sols nus de fond de vallée devront être considérés en priorité sous l'angle des sédiments reconnaissables à coup sûr dans la phase de généralisation (voir illustration suivante).

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; affleurements rocheux de fond de vallée (rouge), sédiments (jaune) et sol nu indifférencie (orange).

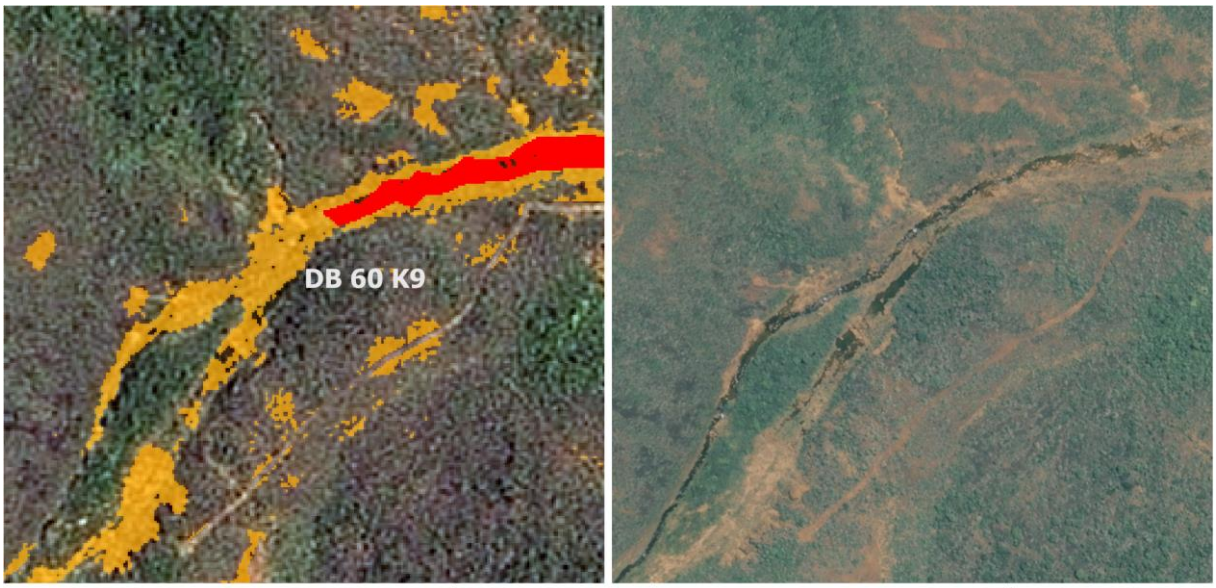
- **Pour la <u>classe des affleurements peu sensibles à l'érosion</u> (fonds de vallées rocheux), un choix devra être arrêté : <u>est-elle conservée</u> ?**

Si oui elle fera l'objet uniquement de photo-interprétation <u>dans la limite de la résolution offerte par les données utilisées</u> (données d'imagerie exogène à l'appui comprises).

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

La cartographie N3 sur les zones test donne un aperçu du résultat potentiel (voir illustrations précédente et suivantes).

Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; affleurements rocheux de fond de vallée (rouge) et sédiments (jaune).



Donnée SPOT 2018 à gauche et orthophoto Géorep à droite ; affleurements rocheux de fond de vallée (rouge) et sols nus indifférenciés (orange).

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

5. CONCLUSION

Le présent projet a pour objectif de réaliser une cartographie des surfaces nus ou peu végétalisées en 2018, soit un état de référence sur l'ensemble de la Province Sud et cette cartographie a pour ambition d'être robuste, objective et reproductible.

D'une importance capitale, la phase de tests et de développements méthodologiques a permis de mieux cerner les possibilités et les limites liées à la donnée source et à la thématique de l'érosion. En effet, elle aura permis de mettre en relation d'une part les attendus thématiques, en termes de typologie et de formes érosives à distinguer notamment, et d'autre part les possibilités techniques pour répondre à ces attendus tout en considérant les données utilisables pour ce faire.

En ce sens, il ressort que certaines classes apparaissent comme assez facilement discernables par photo-interprétation, bien que nécessitant tout de même pour base un guide méthodologique relativement fourni généré par l'expert thématique. A contrario, d'autres classes s'avèrent beaucoup plus sujettes à la subjectivité de l'opérateur, et donc à interprétation et discussions. Les choix à adopter pour ces classes devront ainsi validés par les référents thématiques locaux à l'occasion de l'Atelier 2.

De la détection à la classification, il apparait en outre que les classes majoritaires retenues, représentant une majeure partie des formes érosives, s'avère pouvoir faire l'objet d'un traitement semi-automatisé voire automatisé, avec des résultats prometteurs et reproductibles, garantissant de réduire au minimum les biais d'erreur induits par une approche exclusivement basée sur la photo-interprétation.

Par ailleurs, considérant les images satellites utilisées avec notamment une richesse spectrale limitée, une résolution de 1,5 m et des dates de prise de vue étalées dans l'année, ainsi que la qualité et la complétude des données exogènes disponibles ou encore la nature des objets à discerner, la cartographie des formes érosives par photo-interprétation reste un travail inéluctable.

Aussi, malgré quelques limites rencontrées dans ce travail préliminaire, les approches méthodologiques explorées sont encourageantes et laissent entrevoir une part importante d'automatisation des procédés.

Ces résultats préliminaires resteront à confirmer en phase de généralisation avec davantage de recul sur l'ensemble de la zone dans sa variabilité spatiale.

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.

ANNEXE

Tableau 2 : Tableau des correspondances entre les éléments rencontrés et leur affectation dans les classes retenues lors de l'atelier 1

x		Origine: naturel			Origine: anthropique minier				Type: départ													
- non classé		Origine: indifférencié			Origine: anthropique non minier				Type: transit													
! Confusion possible					Origine: anthropique indifférencié				Type: dépôt													
									Type: neutre													
Niveau d'analyse	**N3**																					
Classe typologique N3 →	Nuages	Ombres topo-graphiques	Autre	Eau statique	Eau dynamique	Carrière, zone de chantier, verse contrôlée	Décharge non contrôlée	Piste	Bâti et autres surfaces imperméa-bilisées	Aména-gement indifférencié	Surface signicativement brûlée	Ravine	Zone de ravinement	Arasement	Falaise, escarpement rocheux	Mouvement de terrain	Affleurement peu sensible à l'érosion	Cuirasse	Eboulis	Colluvions et sédiments	Sol nu faiblement végétalisé	Sol nu indifférencié
Objet à classer ↓																						
Nuages	x																					
Ombres de nuages	x																					
Ombres topographiques		x																				
Ombres de végétation		-																				
Couverte végétale			x																			
Lac, étang, doline en eau				x																		
Eau courante (cours d'eau)					x																	
Carrière						x																
Zone de chantier						x																
Verse contrôlée						x																
Décharge non contrôlée							x															
Piste non entretenue								x														
Piste entretenue								x														
Roulage minier								x														
Bâtiments									x													
Parking									x													
Route revêtue									x													
Plateforme sur mine										x												
Pateforme de stockage minier										x												
Zone brûlée											x							!				
Ravine												x										
Lavaka													x									
Badlands													x									
Arasement														x								
Falaise															x							
Escarpement prononcé															x							
Arrachement																x						
Coulée																x						
Lave torrentielle																x						
Affleurement de lit vif																	x					
Cuirasse											!							x				
Eboulis																			x			
Colluvions																				x		
Alluvions																				x		
Engravement																				x		
Envasement																				x		
Cône de déjection torrentielle																				x		
Terrasses alluviales stabilisées non végétalisées																				x		
Plage																				x		
Tanne nu																						x

Toute reproduction ou diffusion de l'ensemble ou partie du présent document est strictement interdite, sauf accord écrit des auteurs.