

---

# RAPPORT DE PRODUCTION

## - Processus érosifs en Nouvelle-Calédonie- Rapport de traitement (SPOT6-7)

- Classification niveaux 1, 2 et 3-

---

Référence : **19D0102\_SP7\_OEIL\_Erosion\_vf**

Date	Version	Auteurs	Commentaires
30/06/2020	1.0	INSIGHT	-
15/03/2021	2.0	INSIGHT	Suite retours de l'ŒIL du 15/01/2021
29/03/2021	3.0	INSIGHT	Suite retours de l'ŒIL du 18/03/2021



---

## Table des matières

---

1. INTRODUCTION .....	7
2. METHODOLOGIE .....	9
3. BIBLIOGRAPHIE .....	10
4. LIVRABLES .....	11
5. SECTEUR D'INTERET .....	12
6. DONNEES SOURCES.....	13
7. PRETRAITEMENTS .....	14
8. OMBRES TOPOGRAPHIQUES.....	15
9. CLASSIFICATION N1 .....	17
9.1. Sols nus à partir d'imagerie spatiale.....	17
9.2. Détection des sols nus ou peu végétalisés (N1).....	19
9.2.1. Masque « Ombres » .....	21
9.2.2. Masque « Nuages » .....	21
9.2.3. Détection des sols nus et peu végétalisés.....	22
9.2.4. Analyse surfacique (N1).....	24
10. CLASSIFICATION N2.....	25
10.1. Classification.....	25
10.2. Analyse surfacique .....	26
11. CLASSIFICATION N3.....	27
11.1. Sols nus cartographiés sur les zones test et limites identifiées.....	27
11.2. Classification du niveau 3 (N3) : Règles de décision & connaissances expertes ..	28
11.2.1. Les zones Aménagées .....	30
11.2.2. La classe « Aménagement indifférencié » .....	32
11.2.3. La classe « Sol peu végétalisé ».....	33
11.2.4. La classe « Zones significativement brûlées ».....	34
11.2.5. Les classes « Sédiment & colluvion » et « Fond de vallée indifférencié » .....	35
11.2.6. Les classes « Zones de ravinement » et « Ravine isolée » .....	36
11.2.7. La classe « Falaise et escarpement rocheux » .....	37
11.2.8. La classe « Mouvement de terrain » .....	38
11.2.9. La classe « Cuirasse à nu » .....	38
11.3. Analyse surfacique N3 .....	39
11.4. Affectation des attributs « Type » et « Origine ».....	40
11.4.1. L'attribut « Type » .....	40

11.4.2.	L'attribut « Origine » en affectation directe .....	42
11.4.3.	L'attribut « Origine » en attribution par arbre décisionnel .....	43
	Verses Contrôlée, chantier, carrière .....	43
	Bâti et autres surfaces imperméabilisées .....	44
	Aménagement indifférencié.....	44
	Ravine isolée .....	45
	Pistes.....	46
	Sédiments, colluvions .....	48
12.	DETECTION ET CLASSIFICATION DES SOLS NUS DE 1976.....	49
12.1.	Rehaussement de contraste.....	51
12.2.	Ouverture morphologique .....	51
12.3.	Seuillage .....	52
12.4.	Carte d'évolution.....	54
13.	CONTROLE QUALITE .....	56
13.1.	Le contrôle qualité par l'expert thématique.....	57
13.2.	Contrôle qualité du Niveau 1 2018.....	58
13.3.	Contrôle qualité du Niveau 2 2018.....	60
13.4.	Contrôle qualité du Niveau 3 2018.....	61
14.	SYNTHESE AVANT S.A.V. ....	64
15.	CONCLUSION .....	65
16.	Annexes .....	66
16.1.	Liste des participants aux ateliers techniques .....	66
16.2.	Liste des documents et rapports produits dans le cadre du présent projet.....	68

## Liste des figures

Figure 1 : Zone d'intérêt de l'étude proposée par INSIGHT. ....	12
Figure 2 : Graphique des taux de CN et angles d'incidences. ....	13
Figure 3 : Chaîne de prétraitements générique INSIGHT. ....	14
Figure 4 : Mosaïque finale et contrôle du couvert nuageux. ....	14
Figure 5 : Zoom sur les seuillages d'ombres topographiques. ....	15
Figure 6 : protocole méthodologique pour la classification des Niveaux 1 & 2 des sols nus ou peu végétalisés à partir d'images SPOT 6/7 .....	22
Figure 7 : Répartition des surfaces au niveau 1. ....	24
Figure 8 : Répartition des surfaces N2 de la catégorie « Sol nu ».....	26
Figure 9 : Schéma simplifié de la méthodologie suivie pour la classification du niveau 3 des sols nus ou peu végétalisés à partir d'images SPOT 6/7. ....	29
Figure 10 : Illustration représentant les aménagements divers : à gauche : « Carrière/Chantier/Verse Contrôlée », « Bâti & surface imperméabilisée » et « Pistes » ; à droite la classe « Décharge non contrôlée/Arasement » en jaune. ....	32
Figure 11 : Illustration de secteurs classés en « Aménagements indifférencié ». ....	32
Figure 12 : illustration représentant les « Aménagement indifférencié », en orange, autour des zones d'extraction « Carrière/Chantier/verse contrôlée » en jaune. ....	33
Figure 13 : Zone brûlée dans le secteur de la montagne des sources. ....	34
Figure 14 : Illustration de zones de « Sédiment & colluvion » en jaune et de « Fond de vallée indifférencié » en rouge. ....	35
Figure 15 : illustration des zones de « Falaise / Escarpement rocheux », en jaune, sur la zone littorale.....	37
Figure 16 : Répartition des surfaces N3 pour les catégories aménagement et indifférencié. ....	39
Figure 17 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Verse contrôle, chantier, carrière » (source : OEIL janvier 2021). ....	43
Figure 18 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Bâti et autres surfaces imperméabilisés » (source : OEIL janvier 2021) .....	44
Figure 19 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Aménagement indifférencié » (Source : OEIL Janvier 2021) .....	45
Figure 20 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Ravine isolée » (Source : OEIL Janvier 2021) .....	46
Figure 21 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Piste » (source : OEIL Janvier 2021).....	47
Figure 22 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Sédiments & colluvions » (Source : OEIL Janvier 202) .....	48
Figure 23 : Centroides de photos de la campagne IGN-1976 (1/20 000 source DITTT).....	49
Figure 24 : Exemple de la mine de Thio : mosaïque à gauche, à droite l'ortho photo unitaire de 1976.....	50
Figure 25 : Diagramme méthodologique de traitement (1976).....	50
Figure 26 : Illustration du rehaussement de contraste sur le secteur de Thio : à gauche l'image brut, à droite l'image rehaussée.....	51
Figure 27 : Illustration de l'ouverture morphologique sur le secteur de Thio : à gauche l'image rehaussée, à droite l'ouverture morphologique appliquée à la zone.....	52
Figure 28 : Principe du test d'égalité de l'empreinte spatiale appliqué aux cartographies de 1976 et 2018 .....	55

Figure 29 : Carte de répartition des zones de contrôle tous niveaux confondus (source : Rouet, I ; 2020).....	58
Figure 30 : Carte de répartition des zones de contrôle pour les Niveau N1 et N2 (source : Rouet, I ; 2020). ....	59
Figure 31 : Répartition des zones de contrôle intermédiaire (source : Rouet, I ; 2020). ....	61
Figure 32 : Répartition des zones de contrôle final (source : Rouet, I ; 2020).....	62
Figure 33 : Récapitulatif des règles de décision pour l'attribution de l'Origine aux classes complexes (Source : OEIL janvier 2021).....	71

---

## Liste des tableaux et équations

---

Tableau 1 : Récapitulatifs des acquisitions SPOT6/7 et de leurs caractéristiques. ....	13
Tableau 2: Surfaces des ombres topographiques.....	15
Tableau 3 : Typologie des formes érosives en 3 niveaux.....	18
Tableau 4 : Récapitulatif des seuils appliqués pour la détection du N1. ....	23
Tableau 5: Récapitulatif des surfaces par type (N1).....	24
Tableau 6 : Récapitulatif des surfaces par type (N2).....	26
Tableau 7 : Récapitulatif des surfaces par type (N3, sols nus uniquement). ....	39
Tableau 8 : Description et valeurs pour l'attribut « Type ». ....	40
Tableau 9 : Attribution de la valeur de Type selon la classe N3 des formes 2018. ....	41
Tableau 10 : Description et valeurs proposées pour l'attribut « Origine ». ....	42
Tableau 11 : Règle d'affectation directe de l'attribut « Origine » selon la classe. ....	43
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des seuils appliqués en fonction des classes.....	52
Tableau 13 : Récapitulatif des surfaces contrôlées quantitativement aux trois niveaux de classification (les superficies sont exprimées en km <sup>2</sup> ) source Rouet, I., 2020.....	57
Tableau 14 : Quantification de la qualité du Niveau N1 effectué sur les objets supérieurs à 100 m <sup>2</sup> (source : Rouet, I ; 2020).....	59
Tableau 15 : Tableau quantitatif des précisions de classification du niveau N2 (source : Rouet, I ; 2020 modifié) .....	60
Tableau 16 : Quantification du contrôle qualité sur les catégories de sol nus ou peu végétalisés (source : Rouet, I ; 2020 modifié).....	63
Tableau 17 : liste des participants à l'atelier 1 du 19 avril 2019. ....	66
Tableau 18 : liste des participants à l'atelier 2 du 30 octobre 2019. ....	66
Tableau 19 : liste des participants à l'atelier 3 du 12 mai 2020. ....	67
Tableau 20 : tableau des correspondances des objets avec les classes issues de la typologie post atelier 1.....	69
Tableau 21 : Matrice des changements possibles entre les cartographies de 1976 et 2018..	70

---

## Glossaire

---

<b>AOI</b>	Area of Interest = Zone d'intérêt
<b>UIA</b>	Utilisateur Institutionnel Autorisé
<b>THR</b>	Très Haute Résolution
<b>HR</b>	Haute Résolution
<b>CN</b>	Couverture Nuageuse
<b>RGB</b>	Red-Green-Blue (Canaux Rouge Vert et Bleu)
<b>PIR</b>	Proche Infrarouge
<b>NIR</b>	Near Infra-Red (Proche Infrarouge)
<b>RMS</b>	Root Mean Square = Erreur Quadratique Moyenne
<b>TOC</b>	Top Of Canopy (Calibration radiométrique)
<b>GEOBIA</b>	Geographic Object Based Image Analysis (Analyse géographique d'image orienté objet)
<b>TYOLOGIE</b>	Élaboration des types facilitant une classification d'objets complexes
<b>CLASSIFICATION</b>	Processus d'attribution d'un objet à une classe basée sur une typologie
<b>EVOLUTION</b>	Caractérisation du changement d'état d'un objet dans le temps
<b>UMC</b>	Unité Minimale de Collecte, exprimée en surface ; définit la taille des objets non concernés par la typologie
<b>ML</b>	Machine Learning ou apprentissage automatique est un des domaines de l'intelligence artificielle visant à permettre à un ordinateur d'apprendre des connaissances puis de les appliquer pour réaliser des tâches comme par exemple les classifications automatiques d'images satellites
<b>RF</b>	Random Forest : algorithme de classification
<b>CDC</b>	Cahier des Charges
<b>SAV</b>	Service après ventre
<b>OSM</b>	Open Street Map

## 1. INTRODUCTION

Le présent document, entièrement réalisé par l'équipe INSIGHT, consiste en un rapport présentant les aspects techniques et thématiques de l'étude de 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.

L'OEIL a fait un constat partagé par la communauté d'acteurs, lors d'un forum dédié au suivi de l'érosion en 2016, d'une absence de stratégie de surveillance à long terme sur de larges échelles spatiales et des difficultés à quantifier de manière fiable et validée l'ampleur du phénomène érosif alors même que l'érosion est une perturbation majeure sur l'environnement de la Nouvelle-Calédonie. L'observatoire a donc souhaité mieux caractériser (en partie) la pression érosive en établissant une cartographie de référence des objets (ravine, sol nu, etc...) participant au processus d'érosion physique avec une recherche de l'origine de la forme (anthropique, naturelle ou autre) et en caractérisant la dynamique spatio-temporelle en se référant à 1976. Il s'agit de constituer le T0 d'un suivi périodique en stabilisant autant que possible la méthodologie de production sinon les spécifications du produit (UMC, typologie des objets, etc...)

Le travail présenté dans ce rapport répond ainsi aux objectifs suivants :

-  Acquérir un fond d'imagerie adaptée à la thématique des formes d'érosion sur le territoire calédonien.
-  A partir de ces images, produire la première cartographie de référence des objets participant au processus d'érosion physique et d'associer aux différents objets des informations (origine de la forme, dynamique spatiotemporelle...).



Il est important de souligner ici que 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.

Pour répondre aux objectifs cités, le consortium INSIGHT/ROUETIS/CLUZEL a été constitué avec une organisation comme suit :

- INSIGHT en charge la partie technique liée à l'imagerie satellite et son exploitation ;
- Isabelle Rouet, experte nationale autour de l'érosion, chargée de mener la phase de classification des zones tests et de réaliser le contrôle qualité (QC) des cartographies produites par INSIGHT aux trois niveaux de classification visés ;
- Dominique Cluzel, géologue et expert local, a mené les phases de validation terrain aéroportée et terrestre.

Il est à noter que le travail mené dans le cadre de ce projet a été conduit dans une logique participative et une dynamique collective assurant le lien entre le commanditaire, les producteurs et surtout les utilisateurs et experts de la question en Nouvelle-Calédonie.

Le projet a été ponctué d'ateliers de travail tout au long de son avancement afin de discuter des éléments les plus importants. Trois ateliers ont ainsi réuni une équipe d'experts techniques et thématiques durant lesquels des discussions ont été menées autour de la typologie à adopter, des méthodologies testées et leurs limites ainsi que des règles de décision pour l'attribution des descripteurs des objets cartographiés.

Le présent rapport reprend les principales conclusions de ces ateliers de travail et concatène l'essentiel des décisions validées lors de ces rencontres.

En annexe, la liste desdits ateliers et de l'ensemble des participants afférents peut être consultée.

## 2. METHODOLOGIE

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 et de relevés 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'experts thématiques pour la cartographie des sols nus et dégradés.

L'imagerie satellitaire, combinée à des techniques de traitement de données, permet de produire rapidement des cartographies thématiques de manière fréquente permettant 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.

Il convient donc de définir la notion de 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 sol<sup>1</sup>.*

*L'enjeu principal des cartes d'occupation des sols est de **délimiter, d'inventorier et de comprendre les évolutions et les tendances des typologies au cours du temps afin d'en expliquer les déterminismes et d'en prévoir le devenir.***<sup>2</sup>

Les processus de production de carte d'occupation des sols à partir d'images satellites sont souvent basés sur des méthodes de classification d'image pouvant 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 dirigée 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 un protocole de classification semi-automatique robuste et fiable.

<sup>1</sup> Il est entendu ici une « occupation du sol » au sens large.

Nous soulignons également qu'aucune distinction ne sera faite ici entre l'occupation et l'usage des sols qui sous-entend de faire le lien avec des facteurs d'influence naturels ou humains

<sup>2</sup> Baghdadi, N., et Zribi, M., 2016 : Observation des surfaces continentales par télédétection I, Vol.3.

### 3. BIBLIOGRAPHIE

Afin de mener au mieux ce travail, l'équipe d'INSIGHT s'est appuyée sur les études de références, ainsi qu'une revue bibliographique enrichie au fil du temps sur les approches de classification d'imagerie de télédétection.

Il apparaît en outre opportun de citer ici certaines références incontournables ayant déjà traité le sujet de l'érosion en Nouvelle-Calédonie et dont INSIGHT relève un intérêt majeur dans le cadre du présent projet (*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 – Boulouparis (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.*

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

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

Sevin, B., 2014 : Cartographie du régolithe sur formation ultrabasique de Nouvelle-Calédonie : Localisation dans l'espace et le temps des gisements nickélifères. Thèse en géologie, Université de Nouvelle-Calédonie.

Gracin, M., Vande-Leclerc, M., 2014 : Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie- Bilan des actions 2018.

## 4. LIVRABLES

Les livrables de cette phase de traitements pour valorisation des données d'imagerie spatiale acquises sont les suivants :

-  **LE RAPPORT DE PRODUCTION TECHNIQUE**  
*Format PDF (Version 1.7 sans compression, ISO32000) ce présent document.*
  
-  **RASTERS DE CLASSIFICATION BRUTS DES FORMES EROSIVES DE 2018 (N1, N2, N3)**  
*Format raster GeoTiff 8 bits, EPSG3163.*  
**UMC = 0.01Ha**
  
-  **LES DONNEES VECTORIELLES DE CLASSIFICATION DES SOLS NUS ET DEGRADES DE 2018 (N1, N2, N3)**  
*Format vectoriel Shapefile, EPSG3163, métadonnées ISO19115.*  
**UMC : 0.01ha**
  
-  **DONNEES BRUTES DE DETECTION DES SOLS NUS DE 1976 AU NIVEAU 1**  
*Format raster GeoTiff 8 bits, EPSG3163.*  
**UMC = 0.01Ha**
  
-  **RASTERS DE CLASSIFICATION BRUTS DES FORMES EROSIVES DE 1976 (N1, N2)**  
*Format raster GeoTiff 8 bits, EPSG3163.*  
**UMC = 0.25Ha**
  
-  **DONNEES VECTORIELLES DES FORMES D'EROSION DE 1976 CLASSIFIEES (N1, N2)**  
*Format vectoriel Shapefile, EPSG3163, métadonnées ISO19139.*  
**UMC = 0.25Ha**
  
-  **LES EVOLUTIONS DES FORMES EROSIVES ENTRE 1976 ET 2018**  
*Format raster GeoTiff 8 bits, EPSG3163*
  
-  **LES VISUELS CARTOGRAPHIQUES SEPARES 2018**  
*Format image A4 (PNG 32bits, 800dpi et PDF).*

***Nota Bene :*** La prestation inclut la sauvegarde par INSIGHT des livrables pendant 4 mois à compter du jour de livraison. Ainsi, compte tenu des volumes, ces derniers peuvent être réceptionnés directement dans nos locaux via un matériel de stockage externe NTFS.

## 5. SECTEUR D'INTERET

L'étude porte sur la Province Sud et inclue les terres émergées (Grande Terre et îlots terrestres) ainsi que l'Île des Pins.

Soit un total de **7.232 km<sup>2</sup>** tel que représenté en rouge sur la Figure ci-dessous.



**Figure 1 : Zone d'intérêt de l'étude proposée par INSIGHT.**

***Nota Bene :*** L'intégralité des calculs de surfaces effectués dans le cadre de ce projet seront rapportés à la surface de l'AOI mentionnée ici (i.e. Les taux de couverture nuageuse). De plus, il est à considérer que les surfaces annoncées correspondent à des surfaces projetées et non topographiques.

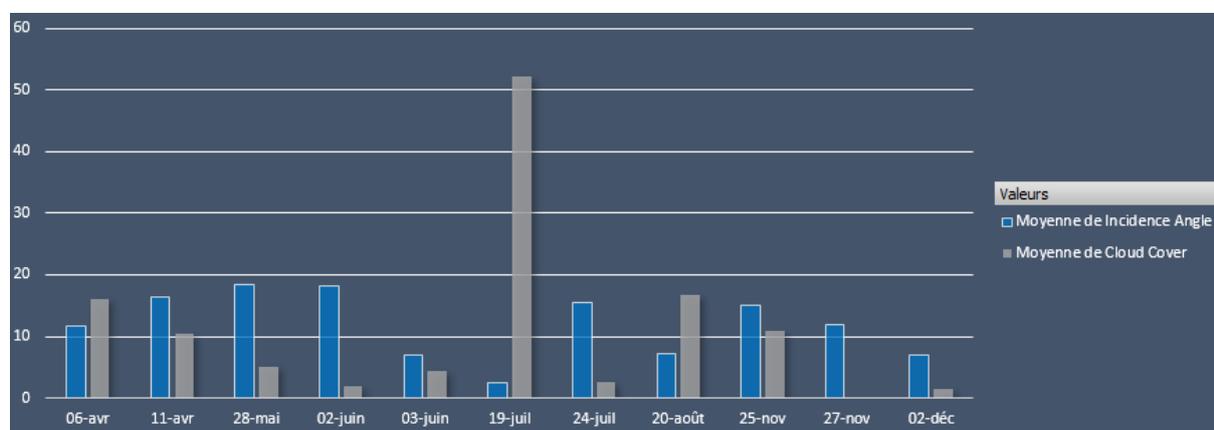
## 6. DONNEES SOURCES

Dans le cadre de cette étude, 12 images SPOT 6/7<sup>3</sup> ont été sélectionnées afin d'obtenir une couverture optimum et garantir un taux de couverture nuageuse (CN) **inférieur à 5%** tel que spécifié dans le Cahier Des Charges.

**Tableau 1 : Récapitulatifs des acquisitions SPOT6/7 et de leurs caractéristiques.**

ID segment	Date Acquisition	CN (%)	Angle d'incidence (°)
DS_SPOT6_201805282239435_FR1_FR1_SV1_SV1_E165S21_03251	28/05/2018	5	18,35843918
DS_SPOT6_201807242250086_FR1_FR1_SV1_SV1_E166S22_03251	24/07/2018	4	13,07052617
DS_SPOT6_201804112251216_FR1_FR1_SV1_SV1_E166S22_01790	11/04/2018	10	16,29855127
DS_SPOT6_201807242250332_FR1_FR1_SV1_SV1_E166S22_02277	24/07/2018	1,3	18,00024915
DS_SPOT6_201806022250442_FR1_FR1_SV1_SV1_E166S22_03251	02/06/2018	2	18,31003562
DS_SPOT7_201812022242577_FR1_FR1_SV1_SV1_E167S22_01871	02/12/2018	1,5	6,942545042
DS_SPOT7_201808202243349_FR1_FR1_SV1_SV1_E167S22_02358	20/08/2018	16,7	7,288447628
DS_SPOT6_201807192239140_FR1_FR1_SV1_SV1_E167S22_02358	19/07/2018	52,2	2,515343223
DS_SPOT7_201806032243514_FR1_FR1_SV1_SV1_E167S22_01871	03/06/2018	4,5	6,949769704
DS_SPOT7_201811252246470_FR1_FR1_SV1_SV1_E167S22_01871	25/11/2018	10,9	15,1730479
DS_SPOT6_201804062240030_FR1_FR1_SV1_SV1_E166S22_03332	06/04/2018	16	11,7541542
DS_SPOT7_201811272231519_FR1_FR1_SV1_SV1_E167S23_01222	27/11/2018	0	11,83195496

La plage temporelle des acquisitions s'étale du **5 avril 2018 au 2 décembre 2018**.



**Figure 2 : Graphique des taux de CN et angles d'incidences.**

Les métadonnées de chaque acquisition sont disponibles dans les fichiers bruts livrés aux formats XML et PDF.

Il est à noter que le lancement d'acquisitions spéculatives par INSIGHT en amont aura directement permis à l'OEIL :

-  D'obtenir une couverture complète sur une **plage temporelle réduite**
-  De **réduire les coûts** de la donnée source

<sup>3</sup> La résolution spatiale des données SPOT 6/7 est de 1,5m avec quatre bandes spectrales, à savoir 3 dans le visible (R,V,B) et 1 dans le proche infra-rouge (NIR).

## 7. PRETRAITEMENTS

Ce point a fait l'objet d'un rapport de production<sup>4</sup> indépendant envoyé précédemment. Nous invitons les intéressés à le consulter pour une vue détaillée de l'ensemble des prétraitements dont ont fait l'objet les images SPOT 6/7 de 2018.

Le schéma ci-dessous reprend les principales opérations réalisées sur ces données.

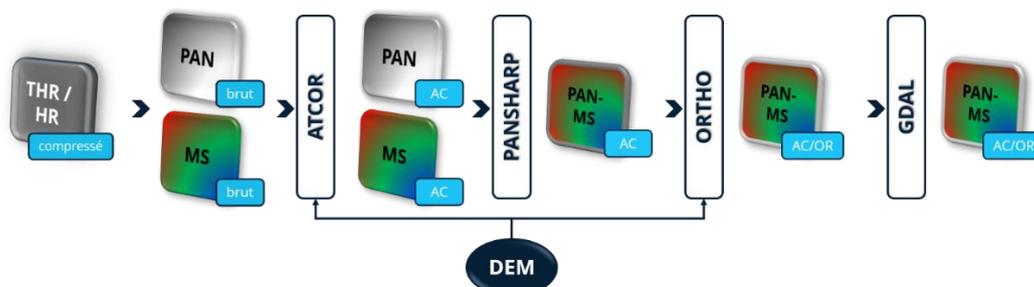


Figure 3 : Chaîne de prétraitements générique INSIGHT.

A l'issue des prétraitements, INSIGHT a fourni une Mosaïque finale présentant un taux de couverture nuageuse de **moins de 2 %** (taux calculé par digitalisation exhaustive des nuages et ombres portées) conforme aux spécifications du cahier des charges de l'OEIL.

Finalement, onze des douze images acquises ont été utilisées pour la suite des traitements.

La figure ci-dessous en est l'illustration.



Figure 4 : Mosaïque finale et contrôle du couvert nuageux.

<sup>4</sup> INSIGHT, 2019 : Rapport de prétraitement (SPOT6-7) - Corrections atmosphériques, orthorectification, mosaïquage ombres topographiques. Du 17-04-2019.

## 8. OMBRES TOPOGRAPHIQUES

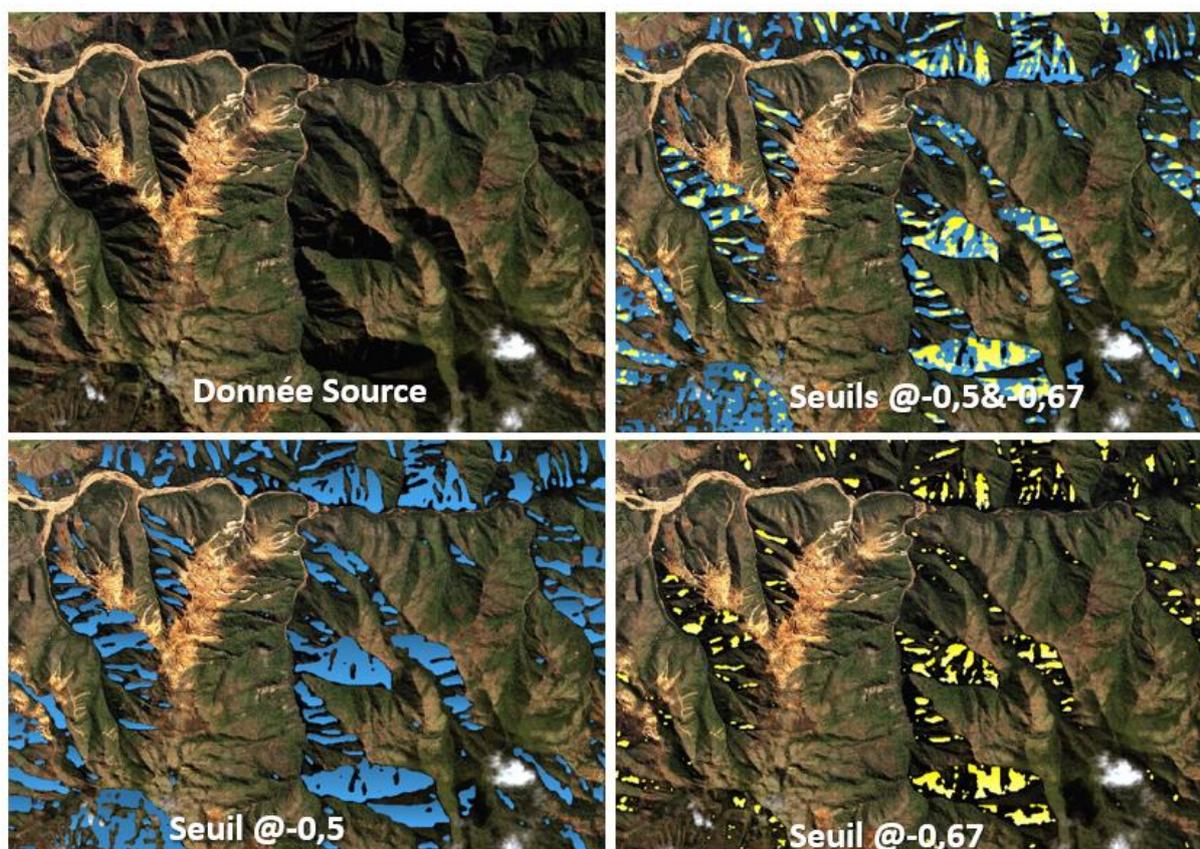
Particulièrement accidenté, le relief de la Nouvelle-Calédonie est à l'origine d'ombres topographiques plus ou moins importantes en fonction des dates et conditions d'acquisition. C'est pourquoi une attention particulière a été apportée sur ce point afin d'identifier et de quantifier les secteurs impactés et inexploitable pour la suite des opérations de classification<sup>5</sup>.

Cet élément a également fait l'objet d'une présentation détaillée sur le rapport de production spécifiques aux prétraitements envoyés précédemment.

En résumé, plusieurs seuillages ont été effectués sur les images et une analyse des surfaces correspondantes (comptage du nombre de pixels satisfaisant la condition de seuillage) nous permet d'estimer les surfaces suivantes :

**Tableau 2: Surfaces des ombres topographiques.**

Seuils d'illumination	Surface (Km2)	% AOI
<b>-0,67</b>	135,267831	<b>1,851969209</b>
<b>-0,5</b>	703,083556	<b>9,626007065</b>



**Figure 5 : Zoom sur les seuillages d'ombres topographiques.**

<sup>5</sup> INSIGHT, 2019 : Rapport de prétraitement (SPOT6-7) - Corrections atmosphériques, orthorectification, mosaïquage ombres topographiques. Du 17-04-2019.

Rappelons que la répartition des zones d'ombre se concentrent sur les acquisitions hivernales (angle zénithal bas) et qui contrastent avec les acquisitions du grand Sud (Novembre 2018).

Les chiffres annoncés ici sont moyennés sur l'ensemble de la surface de la zone d'intérêt globale (AOI).

Après examen des seuils et discussion lors de l'atelier 1, le seuil retenu est le plus conservatoire : **-0.67 soit 2% de la zone**, limitant ainsi autant que possible les zones inexploitable.

En raison des défauts du MNT utilisé pour le calcul des cartes d'illumination et de sa résolution, les zones d'ombre ont été complétées en utilisant l'indice de brillance. Ce qui ramène finalement le cumul des secteurs inexploités par les ombres à un peu plus de **3.32 %** de la zone d'étude totale.

## 9. CLASSIFICATION N1

### 9.1. 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 discussions lors du premier atelier thématique réunissant les principaux acteurs du domaine en Nouvelle-Calédonie. Ledit atelier, organisé conjointement par l'OEIL et INSIGHT/ROUETIS, s'est tenu en début de projet (19 avril 2019) afin notamment d'aboutir à un consensus autour de la typologie retenue en amont des différents phases de traitements à opérer.

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

-  **Niveau 1 :** 3 classes
-  **Niveau 2 :** 4 classes
-  **Niveau 3 :** 17 classes

À l'issue du second atelier de travail, tenu le 31 octobre 2019, la typologie des formes érosives retenue a été réajustée en incluant les conclusions de la phase de tests réalisée afin de lever les différents biais et limites liés à la thématique et aux données utilisées.

Enfin, un dernier ajustement de la typologie a été réalisé par l'OEIL et un comité d'experts réuni **post-livraison** de la première version de la donnée et a permis d'arrêter définitivement la typologie souhaitée pour ce travail.

Le Tableau ci-après reprend la typologie finale retenue et validée par l'ensemble des utilisateurs impliqués.

Un N0 représente en outre un masque de données valides. Un résiduel de nuages et des ombres topographiques subsistent sur les images et ne peuvent être exploités pour l'étude en cours. C'est pourquoi ces secteurs seront exclus de la suite des traitements.

Tableau 3 : 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 dynamique	
			Eau statique	
	Sol non ou peu végétalisé	Aménagement	Carrière, zone de chantier, verse contrôlée	
			Décharge non contrôlée & arasement	
			Piste	
			Bâti et autres surfaces imperméabilisées	
			Aménagement indifférencié	
			Sol nu faiblement végétalisé	
		Sol nu ou peu végétalisé indifférencié		Surface significativement brûlée
				Ravine
				Zone de ravinement
				Sédiments et colluvions
				Fond de vallée indifférencié
Cuirasse				
		Falaise, escarpement rocheux actif		
		Sol nu indifférencié		
		<i>Mouvement de terrain, éboulis*</i>		

\* La classe a été basculée en « sol nu indifférencié » après livraison du projet suite à la phase de prise en main par le commanditaire. La décision a été validée par un groupe d'experts thématiques et scientifiques lors d'une réunion de travail le 06 novembre 2020.

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)
-  Classification supervisée des sous-ensembles de sols nus et dégradés
-  Contrôle opérateur de la classification produite basé sur la connaissance experte.



Plusieurs campagnes de contrôle terrain par l'Expert local ont eu lieu durant la phase de classification des zones test afin d'accompagner au mieux le processus de traitement de ces zones.

Une mission aéroportée a été réalisée sur le secteur de la Dumbea, suivi de deux missions terrestres sur les secteurs de la rivière des sources/Mont Dore et sur la zone de la Tontouta.

## 9.2. 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. Il 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

$\rho_{red}$ : Valeurs dans  $\leq$  rouge

$\rho_{nir}$ : Valeurs dans  $\leq$  procheinfrarouge

 **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

$\rho_{nir}$ : Valeurs dans  $\leq$  procheinfrarouge

 **SARVI**: Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index (Kaufman 1992)<sup>6</sup>

Cet indice traduit l'activité de la végétation en minimisant les effets atmosphériques et les effets du sol. Il est 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

$$RB = pred - Gamma \times (\rho_{blue} - pred) \quad Gamma = \text{Aerosolcontentstabilizationfactor}: 1L \\ = \text{VegetationCoverCorrectionfactor}: 0.5$$

 **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 notamment en évidence l'humidité des sols, les rugosités de surface ou encore la couleur des sols.

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

---

<sup>6</sup> 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.

### 9.2.1. *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 inexploitable.

Lors du premier atelier, nous avons 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<sup>7</sup> à l'origine des calculs de pente et d'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 que les ombres projetées comme celles des nuages et des bâtiments.

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.

### 9.2.2. *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 portées 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 inexploitable.

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.

---

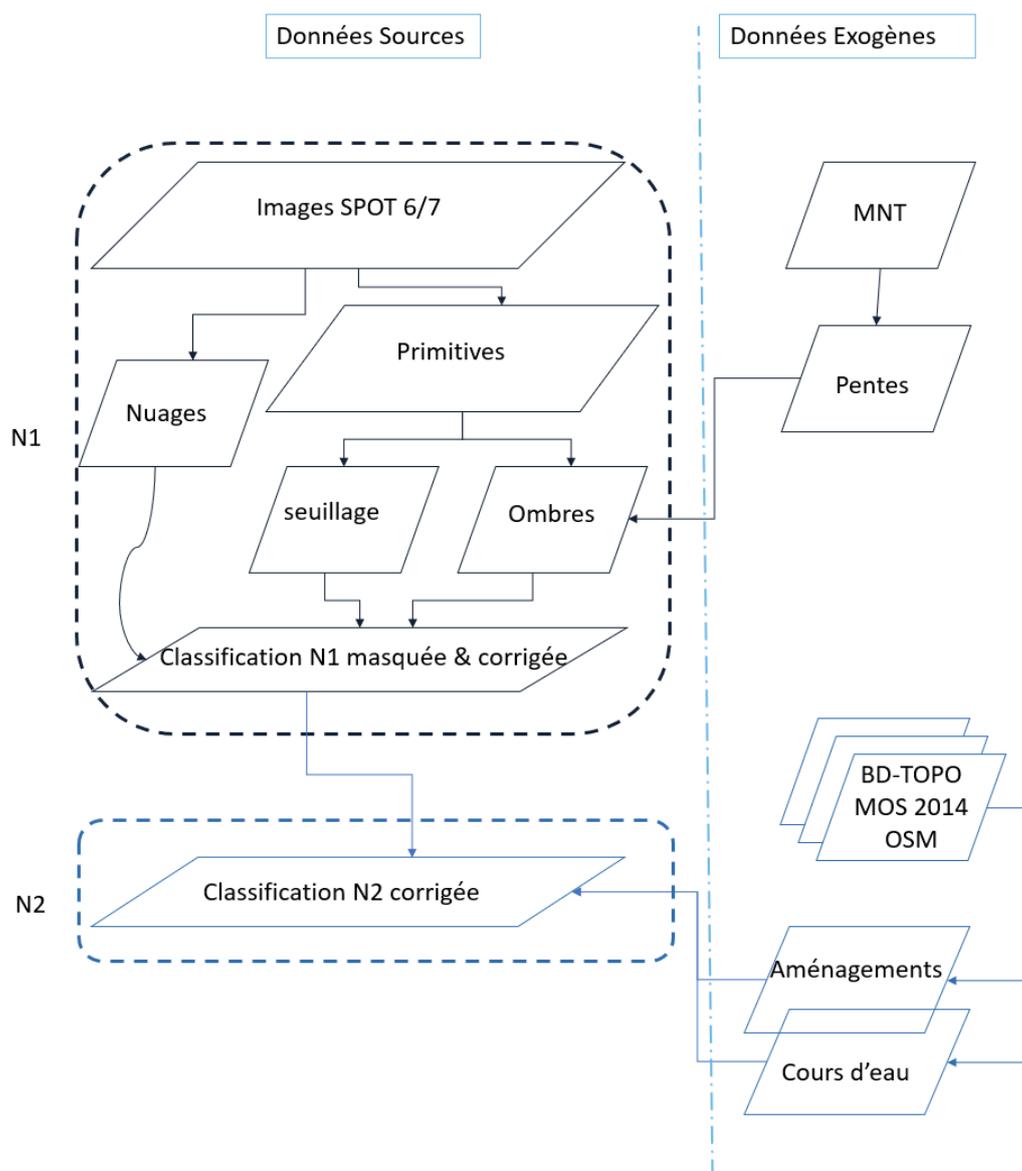
<sup>7</sup> MNT mise à disposition par l'OEIL : Modèle Numérique de Terrain des terres émergées de la Nouvelle-Calédonie, à la résolution de 10 mètres produit par la DITTT, Dernière MAJ en 2018.

### 9.2.3. Détection des sols nus et peu végétalisés

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 emboîtée 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



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

La couverture de la zone de travail est composée de 11 images SPOT avec des dates et des conditions de prise de vue diverses, aussi la recherche de seuils optimaux a été réalisée pour chaque image.

Ci-dessous le tableau récapitulatif des seuils appliqués à cette étude.

**Tableau 4 : Récapitulatif des seuils appliqués pour la détection du N1.**

Date de prise de vue	NDVI		NDWI	BI	
	Seuil 1	Seuil 2	Seuil	Seuil 1	Seuil 2
20180604	<b>0,35</b>	0,45	-0,5	60	35
20180411	<b>0,4</b>	0,5	-0,6	80	60
20180528	<b>0,35</b>	0,46	-0,55	110	80
20180602	<b>0,41</b>	0,5	-0,5	100	70
20180603	<b>0,41</b>	0,5	-0,55	100	60
20180719	<b>0,41</b>	0,5	-0,5	120	60
20180724-1	<b>0,38</b>	0,48	-0,5	120	66
20180724-2	<b>0,41</b>	0,5	-0,55	120	50
20181125	<b>0,41</b>	0,5	-0,5	100	80
20181127	<b>0,41</b>	0,5	-0,55	80	80
20181202	<b>0,41</b>	0,5	-0,55	80	80

Avec :

NDVI seuil 1	Limite supérieure des sols nus
NDVI seuil 2	Limite supérieure des sols peu végétalisés
BI seuil1	Limite supérieure des ombres
BI seuil2	Limite supérieure des ombres sur secteurs en eau

Enfin, conformément à la Proposition technique d'INSIGHT, l'unité minimale de collecte (UMC) est fixée à 100 m<sup>2</sup> pour le N1.

Un lissage des objets détectés a donc été opéré pour parvenir à l'UMC retenue ; les objets de surface inférieure à l'UMC ont été éliminés.

### 9.2.4. Analyse surfacique (N1)

Les résultats de la classification de niveau 1 en termes de répartition de surface sont présentés ci-après.

A noter en outre que toutes les surfaces ont en outre été actualisées à la fin du projet. En effet, suite à la validation du N3 par l'Expert, les corrections effectuées ont été répercutées post-classification sur les N2 et N1 afin de garder la cohérence entre les trois niveaux et d'inclure l'ensembles des compléments suites aux contrôles qualité.

#### Statistiques de surface du N1

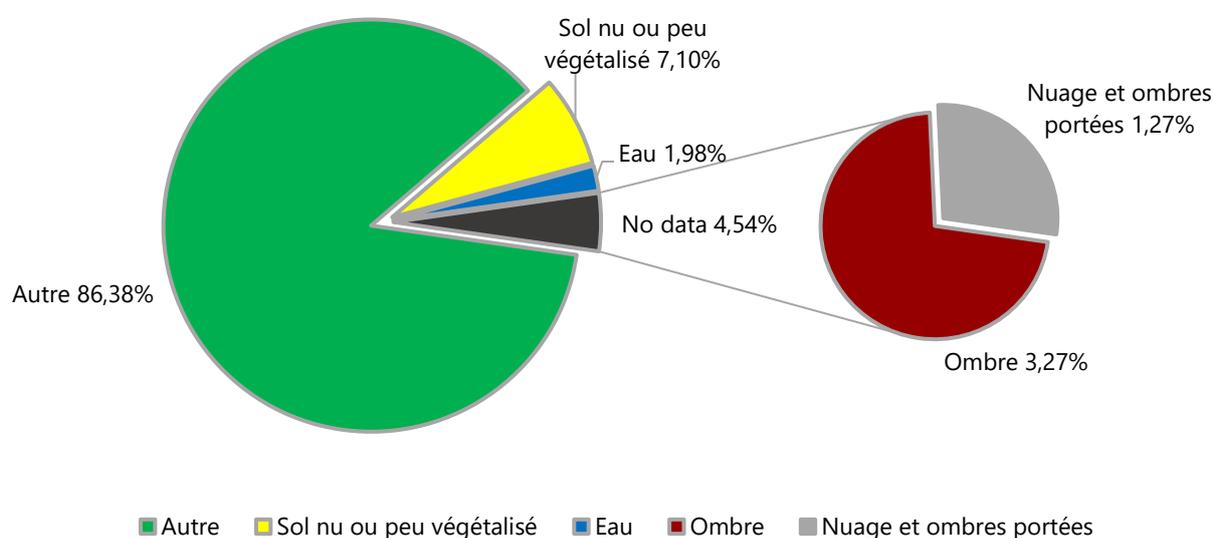


Figure 7 : Répartition des surfaces au niveau 1.

Tableau 5: Récapitulatif des surfaces par type (N1).

Catégories (N1)	Surface (Km2)	Proportion (%)
<b>Autre</b>	6246,62	86,37
<b>Sol nu ou peu végétalisé</b>	513,42	7,1
<b>Ombre</b>	236,5	3,27
<b>Eau</b>	143,52	1,98
<b>Nuage et ombres portées</b>	92,31	1,27
<b>Total général</b>	<b>7232,37</b>	<b>100</b>

## 10. CLASSIFICATION N2

### 10.1. Classification

La distinction entre les surfaces minérales naturelles et anthropisées ne peut être effectuée efficacement de manière automatique. C'est pourquoi le N2 a été réalisé grâce à l'intégration de données exogènes. Une nouvelle couche regroupant les surfaces anthropisées a été constituée.

Le travail réalisé en amont consiste à compiler, corriger et compléter les données disponibles sur l'utilisation des sols. Pour cela la BD-TOPO<sup>8</sup> et le MOS (Mode d'Occupation des Sols) 2014 ont été mobilisés, couches de référence mises à disposition par l'OEIL.

Les éléments pris en compte sont globalement les classes d'occupation artificialisée ainsi que le classe des voiries de la BD-TOPO.

Les données utilisées ont permis de créer une couche d'information indifférenciée regroupant les éléments de sols nus anthropisés (pistes, route, bâti, aménagement minier...). Toutes ces données ont été **concaténées, corrigées et complétées par photo-interprétation**. Cette couche a ainsi permis de distinguer la classe de « Aménagement » du reste des « sols peu végétalisés ou sol nu indifférencié ».

A noter en outre que la classification de N2 a fait l'objet de corrections post-classification en répercutant les corrections du N3 validés par l'Expert. En effet, le Niveau 3 ayant fait l'objet de correction par photo-interprétation sur plusieurs classes, il nous est apparu important de garder cette qualité et d'opérer une dernière phase de correction post classification. Procéder ainsi permet également de conserver la cohérence spatiale et thématique entre les trois niveaux de classification produit N1, N2 et N3.

La typologie à ce niveau de classification se décline en 4 classes utiles (hors ombre et nuage) :

-  Nuage
-  Ombre
-  Autre
-  Eau
-  **Aménagement**
-  **Sol nu indifférencié**

Il est rappelé ici qu'initialement l'Unité Minimale de Cartographie (UMC) visée dans le Cahier des Charges (CdC) pour les objets aux niveaux 2 et 3 était fixée à 2.500 m<sup>2</sup> (soit 0,25 ha).

La phase de tests a en outre permis de mettre en évidence la dégradation de la donnée par le passage d'une UMC de 100 m<sup>2</sup> à 2500 m<sup>2</sup>. La perte d'objets inférieurs à la limite fixée, par des processus de réaffectation entre classes, est parfois très significative notamment pour la classe « Aménagements » dont les objets de petite taille, comme les voies de communication (objets linéaires) ou encore le bâti, sont particulièrement touchés.

Ce point a été soulevé et discuté lors de l'atelier 2, atelier consacré à l'approche méthodologique et aux conclusions de la phase de test.

---

<sup>8</sup>BD-TOPO-NC : Base de données topographiques de la Nouvelle-Calédonie, mise à disposition par l'OEIL dans le cadre du projet

À la suite des discussions de l'Atelier 2 autour des pertes et basculements d'objets inférieurs à l'UMC de 2500 m<sup>2</sup>, INSIGHT a proposé de ne pas appliquer de filtre spatial sur la classification du niveau 3.



Finalement, l'ensemble de la cartographie produite à partir des données SPOT-6/7 de 2018 a été **réalisé à 100 m<sup>2</sup> d'UMC afin de conserver le maximum d'objets liés à la thématique.**

## 10.2. Analyse surfacique

Les résultats de la classification de niveau 2, en termes de répartition de surface, sont présentés ci-après.

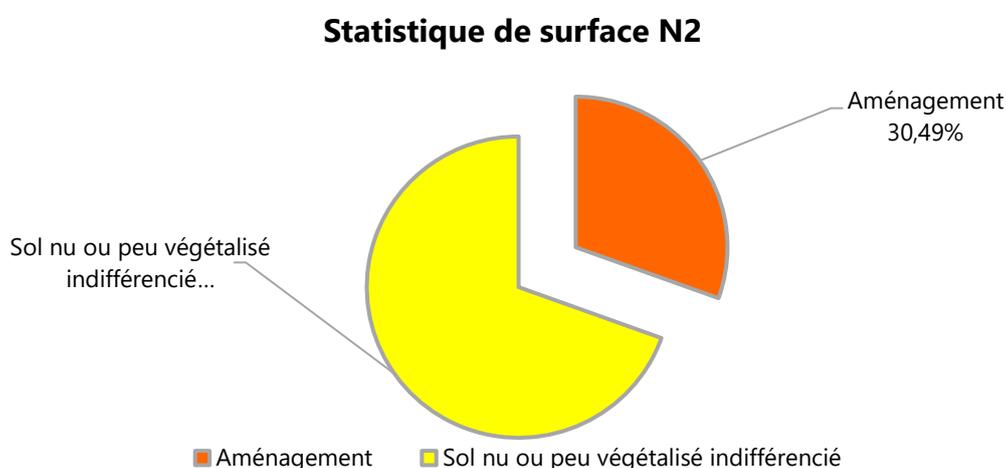


Figure 8 : Répartition des surfaces N2 de la catégorie « Sol nu ».

Tableau 6 : Récapitulatif des surfaces par type (N2).

Catégories (N2)	Surface (Km2)	Proportion (%)
<b>Autre</b>	<b>6246,62</b>	86,37
<b>Sol nu ou peu végétalisé indifférencié</b>	<b>356,89</b>	4,93
<b>Ombre</b>	<b>236,5</b>	3,27
<b>Aménagement</b>	<b>156,53</b>	2,16
<b>Eau</b>	<b>143,52</b>	1,98
<b>Nuage et ombres portées</b>	<b>92,31</b>	1,27
<b>Total général</b>	<b>7232,37</b>	<b>100</b>

Globalement, les sols nus représentent un peu plus de 7% des surfaces de la Province Sud avec 513,47 km<sup>2</sup> dont 31,5 % d'Aménagements avec 156,53 km<sup>2</sup>.

## **11. CLASSIFICATION N3**

### **11.1. Sols nus cartographiés sur les zones test et limites identifiées**

La cartographie N3 sur les zones tests a été basée sur des traitements 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).

*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 tests sont également relevées et détaillées dans le guide technico-méthodologique présenté en Atelier 2 et remis avec le présent rapport<sup>9</sup>. Ci-après les conclusions de la phase de tests et de développement méthodologique en rappel des principaux enseignements tirés de cette phase.

*« 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.*

*De la détection à la classification, il apparaît 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'erreurs induits par une approche exclusivement basée sur la photo-interprétation.*

---

<sup>9</sup> INSIGHT/IR, 2020 : Guide technico-méthodologique pour la cartographie des formes érosive en Province Sud, Recherche méthodologique et tests préliminaires - Classification des niveaux 1, 2 et 3 du 31 octobre 2020.

*Par ailleurs, considérant les images satellites utilisées avec notamment une richesse spectrale limitée, une résolution de 1,5 m et des dates de prises 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... ».*

## **11.2. Classification du niveau 3 (N3) : Règles de décision & 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.

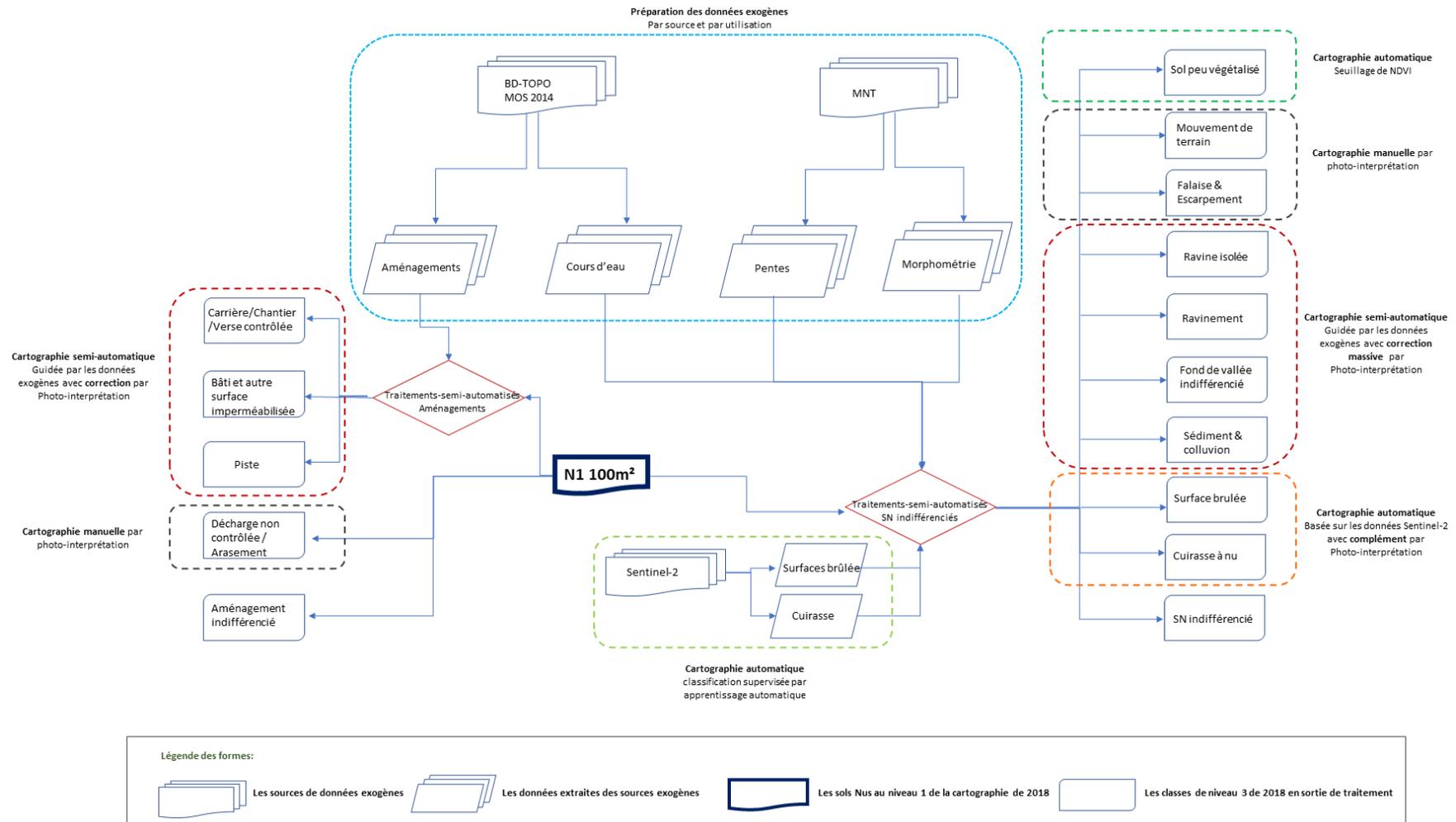
Aussi pour transcrire la complexité des objets à extraire de l'image et leurs relations, un réseau hiérarchique d'objets/classes est construit et la connaissance est structurée en différents niveaux, permettant ainsi les notions d'héritage et de regroupement sémantique.

Sont 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, ont été 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.

Une phase de contrôle et de correction par photo-interprétation a été nécessaire pour l'ensemble des classes afin d'éliminer les confusions persistantes et pour cartographier les classes difficilement identifiables même par système expert.

**Les opérations de photo-interprétation ont toutes été menées à une échelle de 1/2500** pour permettre une utilisation des données à l'échelle 1/5000.

L'ensemble des informations sur les clés d'interprétation et les détails méthodologiques sont disponibles sur le guide technico-méthodologique produit dans le cadre du présent projet.



**Figure 9 : Schéma simplifié de la méthodologie suivie pour la classification du niveau 3 des sols nus ou peu végétalisés à partir d'images SPOT 6/7.**

### 11.2.1. *Les zones Aménagées*

La cartographie des classes des aménagements a suivi le même principe que pour le N2, il s'agit donc d'une méthodologie semi-automatisée. Le recours aux données exogènes a permis d'atteindre un premier palier d'automatisation suivi d'une phase de contrôle et de correction par photo-interprétation pour les trois premières classes : « **Carrière/chantier/verse contrôlée** », « **Bati et autre surface imperméabilisée** » et « **Piste** ».

Les détails méthodologiques ont fait l'objet d'un guide technico-méthodologique<sup>10</sup>, à consulter sur demande auprès de l'ŒIL, commanditaire. Une synthèse des opérations et de la méthodologie est présentée ci-dessous.

La classe « **Carrière/chantier/verse contrôlée** » regroupe les éléments suivants :

-  **Carrière** : lieu à ciel ouvert d'où sont extraits des matériaux quelle qu'en soit la destination.
-  **Zone de chantier** : c'est l'équivalent d'une carrière pour l'activité d'extraction de minerai.
-  **Verse contrôlée** : c'est une zone de stockage des 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 revégétalisation du site.

Par extension, les zones décapées liées à l'activité d'extraction (plateformes et aménagements divers, pouvant inclure des zones de pistes) sont incluses. Les zones réhabilitées qui ne sont pas encore revégétalisées sont interprétées comme minières dans les images de 2018.

Certains de ces aménagements sont répertoriés dans la BDTOPO, notamment dans la couche des « excavations artificielles ». Celle-ci a servi à les pré-classer dans le processus de classification avant le complément par photo-interprétation. Les pistes qui parcourent ces domaines n'ont pas été incluses dans la classe « Piste » car ce sont des éléments potentiellement éphémères dans cet environnement particulier.

La classe « **Piste** » inclue quant à elle toute chaussée de voirie non imperméabilisée ou détectée comme telle.

Les pistes ont une forme linéaire caractéristique, en particulier la chaussée. Leur détection peut s'avérer délicate en cas de présence de végétation à proximité. C'est pourquoi, le groupe de travail a validé, lors de l'atelier 2 dédié à l'approche méthodologique, le processus de s'appuyer sur les éléments de voiries de la BDTOPO afin d'automatiser la classification des voies de communication (piste et route).

Pour les pistes, une sélection des éléments « Axe piste » et « Axe non revêtu » ont été considérés. Les « Axes revêtus » ont servi quant à eux à la pré-classification des routes imperméabilisées. Les largeurs appliquées aux différents éléments ont également été discutés et validés lors de l'atelier 2.

---

<sup>10</sup> INSIGHT/IR, 2020 : Guide technico-méthodologique pour la cartographie des formes érosive en Province Sud, Recherche méthodologique et tests préliminaires - Classification des niveaux 1, 2 et 3 du 31 octobre 2020.



La nécessité d'automatiser la classification a conduit aux choix suivants :

- La détection retient les sols nus détectés ;
- La classification de la chaussée en « Piste », avec une largeur moyenne prédéfinie de 5m, la valeur ayant été établie en concertation avec le groupe de travail du projet lors de l'atelier 2<sup>11</sup> ;
- La classification des abords de piste (accotement, talus, etc.) peu étendus en « Sol nu indifférencié ».

La phase de photo-interprétation a parfois permis de récupérer de l'information issue d'autres classes (« Ombre », « Autre ») et d'ajuster la classification automatique. Par ailleurs, la forme particulière des pistes, longues et étroites, conduit le processus de classification à en détecter une partie en « Sol peu végétalisé » ou en « Sol nu indifférencié ». Les tronçons de pistes sous canopée sont classés en « Autre », l'ajout d'une classe automatique spécifique introduisant trop d'hétérogénéité.

La classe « **Bati et autre surface imperméabilisée** » contient des zones de plusieurs types.

Sont principalement retenues les surfaces présentant un toit et celles imperméabilisées c'est-à-dire présentant un revêtement goudronné.

La classification de la voirie imperméabilisée répond au même principe, avec la même méthodologie que pour les pistes. La différence réside dans la largeur moyenne choisie, qui est ici de 8 m après concertation avec le groupe de travail du projet.

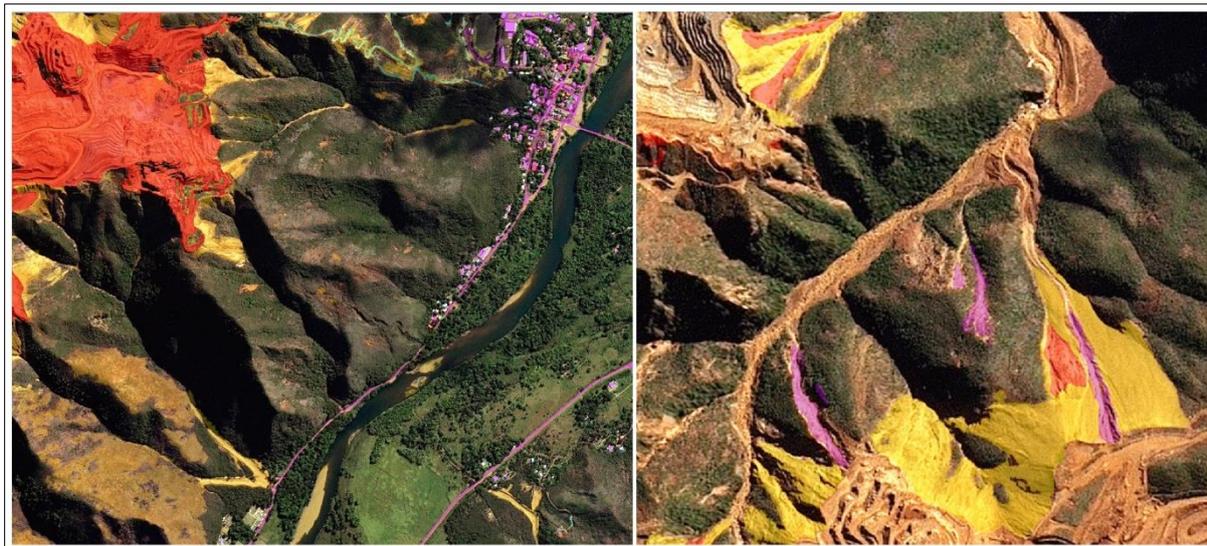
Une pré-détection à partir des éléments de la BDTPO, les couches de bâti et la classe axe revêtu de la couche voiries ont été utilisées. Une phase importante de photo-interprétation a servi à compléter les secteurs manquants et les éléments les plus étendus.

Concernant la classe « **Décharge non contrôlée/arasement** », il est entendu qu'une décharge non contrôlée est une verse à stériles sur pente, sans les précautions mentionnées pour les verses contrôlées. Cela a pour conséquences une érosion aisée et une destruction de la végétation parfois jusqu'à l'arasement, qui peut présenter des instabilités. L'arasement est une surface dénuée de végétation, où la roche est mise à nu par abrasion essentiellement.

La cartographie de cette classe a été **entièrement photo-interprétée**. En effet, il s'agit d'une classe difficile à automatiser du fait de sa nature. C'est également une classe qui peut accueillir d'autres formes érosives notamment les ravinements et les ravines isolées ; aussi la distinction n'a pu se faire que par l'œil d'un opérateur. Cet élément reste en outre le principal défaut de la classe, puisqu'il s'avère parfois difficile de bien discerner les zones d'arasement/décharges des ravinements dont ils sont le théâtre.

---

<sup>11</sup> INSIGHT/IR, 2020 : Guide technico-méthodologique pour la cartographie des formes érosive en Province Sud, Recherche méthodologique et tests préliminaires - Classification des niveaux 1, 2 et 3 du 31 octobre 2020.



**Figure 10 : Illustration représentant les aménagements divers : à gauche : « Carrière/Chantier/Verse Contrôlée », « Bâti & surface imperméabilisée » et « Pistes » ; à droite la classe « Décharge non contrôlée/Arasement » en jaune.**

### 11.2.2. *La classe « Aménagement indifférencié »*

Les **aménagements indifférenciés**, comme définit dans le dictionnaire des classes, regroupent les aménagements autres que ceux cartographiés dans les classes « Carrière/Chantier/verse », « Bati et autre surface imperméabilisées », « Pistes » et « Décharge non contrôlée/Arasement ». Il s'agit donc d'une classe hétérogène.



**Figure 11 : Illustration de secteurs classés en « Aménagements indifférencié ».**

Cette classe peut également être composée d'aménagements dont l'identification par photo-interprétation n'a pas pu être formelle. En effet, lorsque l'identification d'un aménagement est imprécise, c'est la classe la moins précise, ici les aménagements indifférenciés, qui est retenue au bénéfice du doute.

Cette règle de décision ne sera pas sans conséquence sur la précision et la qualité de la classe. C'est pourquoi, l'accent est mis ici sur le mode de production et les règles d'affectation de cette classe afin que l'utilisateur puisse l'exploiter en considérant son caractère hétérogène et relativement imprécis.

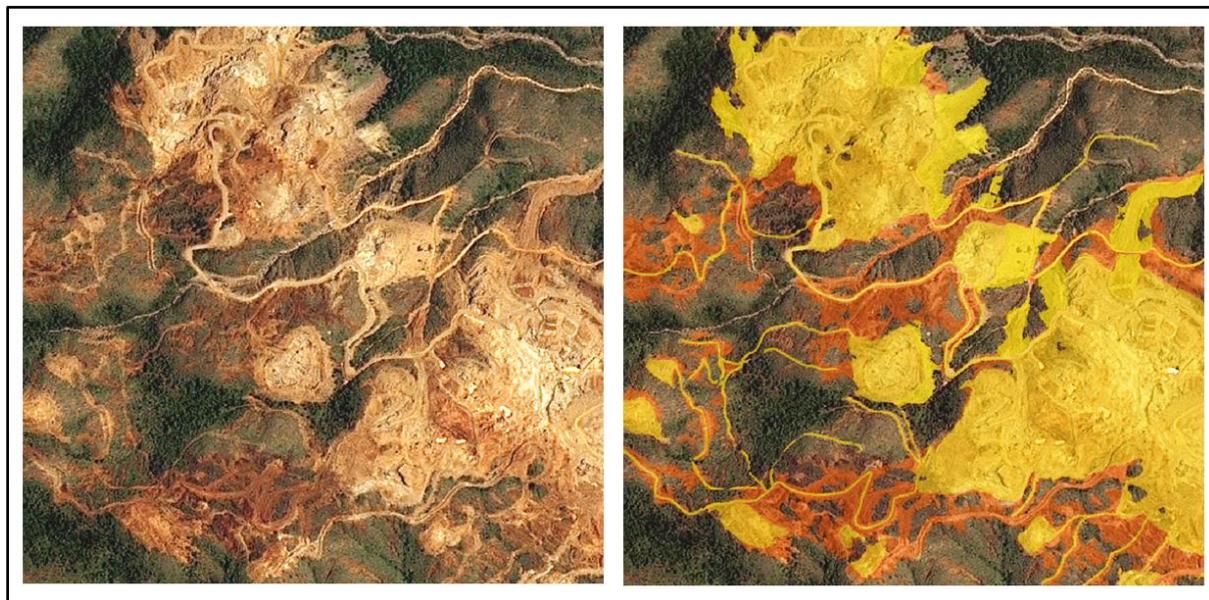


Figure 12 : illustration représentant les « Aménagement indifférencié », en orange, autour des zones d'extraction « Carrière/Chantier/verse contrôlée » en jaune.

### 11.2.3. *La classe « Sol peu végétalisé »*

Les sols faiblement végétalisés sont difficilement discernables à l'œil humain, qu'il soit 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 (saison, inclinaison, précipitations...) étant différentes entre les différentes images, les seuils sont impactés. La recherche des seuils optimaux a ainsi été réalisée suivant la même méthodologie que pour le N1 : rupture d'histogramme suivi d'une phase de sélection empirique. Les seuils appliqués pour chaque image sont détaillés précédemment, dans le tableau récapitulatif des seuils appliqués pour la détection du N1.

Tous les sols faiblement végétalisés sont classés dans cette catégorie, sans distinction entre les aménagements et les sols peu végétalisés indifférenciés. Cette classe regroupe donc des objets divers et hétérogènes, caractéristique à prendre en compte pour toute exploitation de la donnée

De nature **hétérogène et évolutive**, la catégorie des « sols peu végétalisés » est à utiliser avec beaucoup de précaution et de réserve.

#### 11.2.4. *La classe « 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...) et se situent la plupart du temps à proximité des zones habitées ou des voies de circulation.

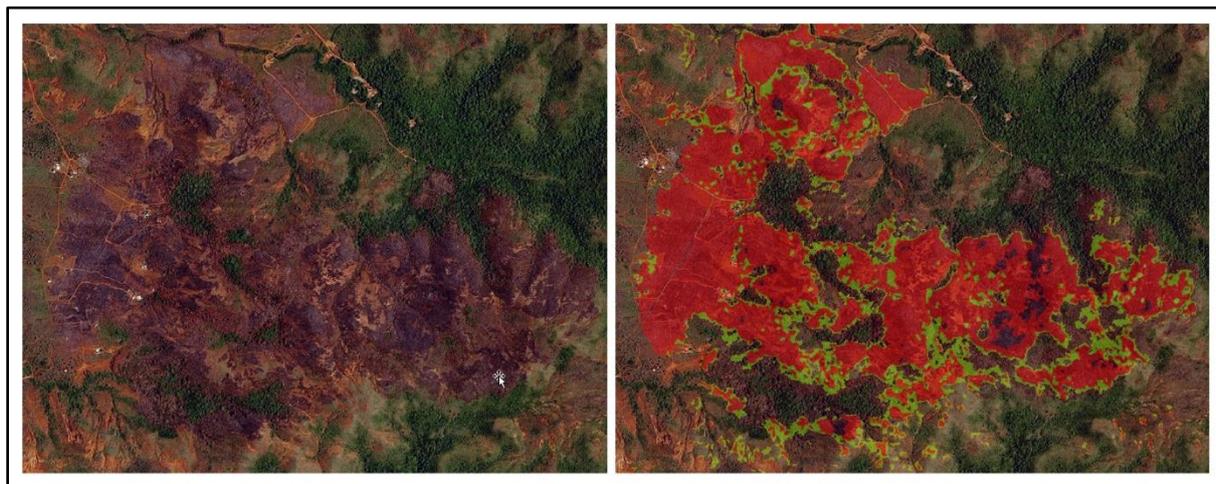
En Nouvelle-Calédonie, la particularité de ces zones réside dans leur revégétalisation plus ou moins rapide selon le substrat. En effet, le climat de l'île est particulièrement propice à cela avec un taux d'humidité élevé et une végétation présente ici telle que les fougères qui sont très réactives aux 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 basé sur l'indice NBR (Normalized Burned Ratio), utilisant les bandes spectrales NIR (Near Infra-Red) et SWIR (Short-Wave Infra-Red) et calculé pour les images avant et après incendie, a été proposé en phase de test.

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. Le protocole a dû être complété par un croisement post classificatoire avec la sortie de la chaîne de détection des surfaces brûlées développée par INSIGHT en 2020 pour le compte de l'OEIL, toujours sur la base de données sentinel-2 de 2018.

La couche de zones incendiées ainsi produite a été croisée avec la classe de sols nus ou peu végétalisés issus du N1 de classification pour affecter les labels uniquement aux secteurs qui nous intéressent pour cette étude. Une règle d'affectation a été appliquée lors des croisements selon laquelle toutes les classes d'aménagement sont prioritaires sur cette classe. Enfin une ultime phase de photo interprétation a permis de compléter les détections automatiques.



**Figure 13 : Zone brûlée dans le secteur de la montagne des sources.**

### 11.2.5. *Les classes « Sédiment & colluvion » et « Fond de vallée indifférencié »*

Les **colluvions** sont des dépôts le plus souvent meubles, transportés sur de courtes distances depuis leur source. Ils représentent une faible part des surfaces de dépôt détectées dans les zones test. Le protocole mis en place porte par conséquent plus spécifiquement sur les sédiments.

Les **sédiments** sont en général des ensembles meubles ou indurés formés par dépôt de particules d'origine clastique, biogénique ou chimique.

Le protocole suivi est détaillé dans le guide technico-méthodologique<sup>12</sup> et 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 & all., 2008, les sédiments vont se concentrer sur des pentes inférieures à 6° (potentiellement jusqu'à 8° pour les matériaux les plus grossiers).

Une carte des pentes a été réalisée à partir du MNT à 10 m mis à disposition par l'OEIL afin de limiter les zones concernées ici. Une zone tampon de 30 m a été également réalisée à partir de la BDTOPPO autour des cours d'eau pour faciliter la classification des sédiments et des fonds de vallée.

Au vu de la résolution et de la précision des données exogènes utilisées, une phase de photo-interprétation a été nécessaire afin de compléter les zones mal détectées et de séparer les objets de « sédiment & colluvion » de ceux à classer en « fond de vallées indifférencié ».



Figure 14 : Illustration de zones de « Sédiment & colluvion » en jaune et de « Fond de vallée indifférencié » en rouge.

Cette dernière classe « **Fond de vallée indifférencié** », au même titre que les classes de « sol nu indifférencié » et « aménagement indifférencié », regroupe des objets dont l'identification n'est pas toujours évidente et comporte une part importante d'incertitude.

Cet état de fait a par ailleurs été signalé, discuté et approuvé par les participants à l'atelier<sup>213</sup>.

<sup>12</sup> INSIGHT/IR, 2020 : Guide technico-méthodologique pour la cartographie des formes érosives en Province Sud, Recherche méthodologique et tests préliminaires - Classification des niveaux 1, 2 et 3 du 31 octobre 2020.

<sup>13</sup> INSIGHT/IR, 2020 : Compte-rendu de discussion : Atelier 2 autour de l'approche méthodologique et de la phase de test.



### 11.2.6. *Les classes « Zones de ravinement » et « Ravine isolée »*

Une **zone de ravinement** est souvent bien plus large que profonde, à la différence d'une ravine isolée. Les zones affectées par le **ravinement** montrent une hiérarchisation du drainage, contrairement aux ravines. Les surfaces affectées peuvent être étendues, notamment sur massifs ultramafiques. Les zones de ravinement sont en outre 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.**

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.

**Lorsqu'une qu'une ravine s'individualise nettement, elle prime sur la zone de ravinement.**

Il est à noter qu'un protocole a été développé en phase de test pour cartographier ces deux catégories sur la base d'une classification orientée objet et qui repose sur les caractéristiques morphométriques de terrain.

Bien que les premiers tests sur des zones réduites aient été prometteurs, la mise en application en phase de généralisation a souffert de la grande hétérogénéité des objets appartenant aux deux classes. La classe « Zone de ravinement » regroupe les lavaka, des badlands ainsi que du ravinement 'classique' avec des formes variables : poire inversée, persillé ou au contraire à arborescence plus ou moins linéaire, etc... Très évoluée, la zone de ravinement peut ne plus présenter de drainage linéaire caractéristique et/ou contenir des affleurements rocheux.

C'est pour ces raisons qu'**aucun caractère commun n'a pu être identifié pour leur cartographie automatique**. Aussi vu le temps du projet, la cartographie des zones de ravinement s'est basée sur un traitement morphométrique<sup>14</sup> dérivé du MNT à 10 m pour identifier les grands secteurs concernés par les phénomènes de ravinement.

Dans ce travail, la pente et le TPI (Topographic Position Index) ont été retenus, avec une pré-sélection basée sur une approche empirique dont les valeurs retenues sont les pentes à partir de 23° et les TPI proches de 0.

Cette pré-sélection, a fait l'objet d'une **phase importante de photo-interprétation** permettant de corriger et compléter la classification des zones de ravinement ainsi que leur distinction des ravines isolées. La classe « Ravine isolé » a de plus fait l'objet d'efforts supplémentaires afin de cartographier les objets inférieurs à l'UMC et d'inclure les zones d'ombres caractéristiques de ces objets.

Cette règle d'intégrer les zones d'ombres photo-interprétables par opérateur peut être à l'origine de légère imprécision, d'autant plus que les objets concernés sont de petite taille et que les ombres peuvent y constituer une portion importante.

**Il est important ici de préciser que les approches d'automatisation et d'objectivation des traitements n'ont pas été aussi efficaces que ne le laissait supposer la phase de tests. L'hétérogénéité des objets ainsi que la variabilité des configurations de terrain et des images ont eu un effet extrêmement limitant sur les approches envisagées, excluant toute tentative d'automatisation d'aboutir.**

<sup>14</sup> INSIGHT/IR, 2020 : Guide technico-méthodologique pour la cartographie des formes érosives en Province Sud, Recherche méthodologique et tests préliminaires - Classification des niveaux 1, 2 et 3 du 31 octobre 2020.



### 11.2.7. *La classe « Falaise et escarpement rocheux »*

La morphologie en falaise ou en escarpement est liée à la grande cohésion des matériaux mis à l'affleurement, souvent rocheux. La falaise et l'escarpement sont plus ou moins fréquemment affectés en bordure par l'érosion gravitaire.

De forme cartographique et d'aspect très variables, les escarpements rocheux peuvent s'avérer difficiles à identifier. Sur les zones tests, 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 du peu de superficie concernée (faible représentativité).

La classe a donc été **entièrement photo-interprétée**, la nature, la localisation, la taille et le nombre ne permettant pas d'automatiser leur cartographie.

Un point important est en outre à signaler concernant la classe de « **Falaise et escarpement rocheux** » : très peu d'objets ont été retrouvés sur le secteur du projet. Conscients de complexité de la classe, les secteurs connus pour abriter les falaises et escarpements de la zone d'étude ont fait l'objet d'une prospection plus poussée ; cependant, malgré les efforts de recherche, les rares zones identifiables se concentrent essentiellement autour des escarpements sur la façade Est de l'Île des Pins.

Considérant le caractère vertical de ce type d'objet, la règle retenue pour leur cartographie repose sur les préconisations de la cartographie du trait-de côte : c'est la ligne de première végétation qui est retenue comme limite terrestre de la zone de falaise et escarpement.

Enfin, les caractéristiques des données sources utilisées et les particularités de la classe rendent leur cartographie difficile ne reflétant pas complètement la répartition des falaises et escarpements en Province Sud.

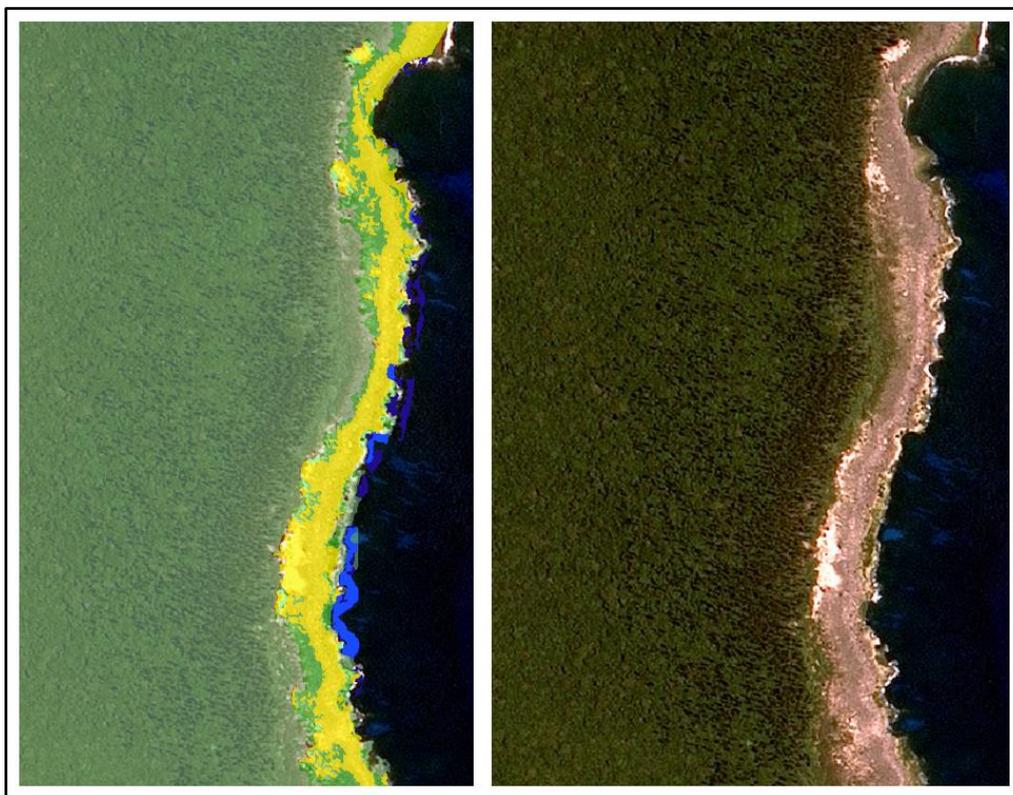


Figure 15 : illustration des zones de « Falaise / Escarpement rocheux », en jaune, sur la zone littorale.



### 11.2.8. *La classe « Mouvement de terrain »*

Cette classe regroupe les sols nus affectés par des phénomènes gravitaires qui n'ont pas été classés comme ravine ou zone de ravinement (classes prioritaires). Beaucoup de mouvements de terrain étant repris par une érosion linéaire, cette classe ne peut pas être considérée comme exhaustive. Cela est d'autant plus vrai que de nombreux mouvements gravitaires conséquents conservent une couverture végétale plus ou moins étendue qui réduit encore la possibilité de les détecter dans le processus de classification.

Le caractère imprécis et non exhaustif de cette classe a mené le groupe d'experts réunis après production et évaluation de la donnée (le 6 novembre 2020) à l'inclure dans la classe plus généraliste de « **sol nu indifférencié** » pour éviter toute utilisation erronée au regard des nombreuses limites soulevées.

### 11.2.9. *La classe « Cuirasse à nu »*

Cette dénomination englobe des affleurements de certaines formations d'altération : les surfaces cuirassées (en place ou non) ou à très forte teneur en oxydes et hydroxydes de fer.

Celles-ci présentent des caractéristiques mécaniques vis à vis de l'érosion hydrique qui en font des matériaux plutôt peu sensibles au ruissellement. Théoriquement, la cuirasse nue devrait donc intégrer une classe qui regroupe les affleurements peu sensibles à l'érosion comme les falaises et les escarpements. Cependant, les caractéristiques spectrales de ces matériaux riches en fer ont imposé de les traiter à part afin de pouvoir les détecter. La classe a ensuite été conservée par souci d'exhaustivité.

On rencontre surtout la cuirasse calédonienne nue en massif ultramafique et elle présente en général des pentes modérées.

Mais, comme avec la plupart des données satellitaires, elle ressemble beaucoup ici à une zone brûlée et l'analyse des images de 2018 conduit souvent à détecter indifféremment cuirasse et zone brûlée. Priorité a été donnée à la détection des surfaces brûlées par croisement avec les données Sentinel-2, ce qui a permis d'exclure de la classe « Cuirasse nue » des zones identifiées comme brûlées par ailleurs.

Les cuirasses ont été cartographiées de manière automatique à partir de données complémentaires. Il s'agit d'un processus de classification supervisée sur une série temporelle de données optiques Sentinel-2. Cette donnée a été produite par INSIGHT dans le cadre d'un projet pour le compte de la Province Nord et dont l'objectif était de produire une cartographie actualisée des surfaces de cuirasses à nu sur l'ensemble de la Grande Terre<sup>15</sup>. Ce projet, mené en parallèle avec le projet de l'érosion et livré en 2020, a permis d'intégrer le résultat, avec l'accord du propriétaire de la donnée, comme source de donnée annexe à la cartographie des formes érosives de la Province Sud.

Compte tenu du mode de production, de la résolution et de la précision de cette classe, son intégration dans le présent projet s'est établie sur les **sols nus détectés après classement de tous les autres thèmes**.

**Enfin, au même titre que l'ensemble des classes du Niveau 3, les « cuirasses à nu » ont fait l'objet d'une ultime phase de correction par photo-interprétation.**

<sup>15</sup> Projet réalisé en 2020 sur une série multi-dates de données sentinel-2 datant de 2018 à début 2020



### 11.3. Analyse surfacique N3

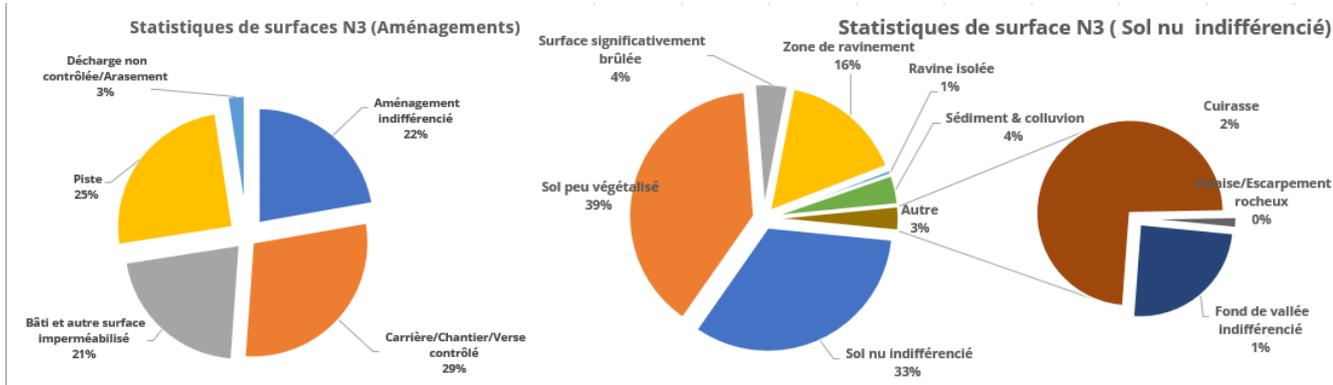


Figure 16 : Répartition des surfaces N3 pour les catégories aménagement et indifférencié.

Tableau 7 : Récapitulatif des surfaces par type (N3, sols nus uniquement).

Étiquettes de lignes	Surface (Km <sup>2</sup> )	Proportion (%)
<b>Sol peu végétalisé</b>	139,00	27,27
<b>Sol nu indifférencié</b>	115,63	22,69
<b>Zone de ravinement</b>	57,10	11,20
<b>Carrière/Chantier/Verse contrôlé</b>	45,19	8,87
<b>Piste</b>	39,21	7,69
<b>Aménagement indifférencié</b>	34,73	6,81
<b>Bâti et autre surface imperméabilisé</b>	33,43	6,56
<b>Surface significativement brûlée</b>	15,06	2,95
<b>Sédiment &amp; colluvion</b>	13,45	2,64
<b>Cuirasse</b>	8,20	1,61
<b>Décharge non contrôlée/Arasement</b>	3,76	0,74
<b>Fond de vallée indifférencié</b>	2,75	0,54
<b>Ravine isolée</b>	1,97	0,39
<b>Falaise/Escarpement rocheux</b>	0,21	0,04
<b>Total général</b>	509,70	100,00



## 11.4. Affectation des attributs « Type » et « Origine »

Un groupe de travail a été réuni afin de discuter de manière concertée les règles d'affectation des attributs « Type » et « Origine ». Une première proposition produite par INSIGHT/ROUET a fait l'objet d'un troisième atelier de travail courant mai 2020 qui a permis de discuter et de valider les règles à appliquer aux attributs.

Suite à la livraison et à la prise en main par l'OEIL de la cartographie, une dernière séance de travail regroupant les experts scientifiques et métier autour de l'érosion s'est tenue le 6 novembre 2020, donnant lieu à d'ultimes modifications sur les règles d'attribution.

Ainsi, la version définitive est présentée ci-dessous.

### 11.4.1. *L'attribut « Type »*

Cet attribut est un indicateur approximatif de l'implication d'une forme dans les processus érosifs. Il informe sur le processus dominant supposé s'exercer dans la forme de 2018 alors cartographiée.

Les valeurs que peut prendre l'attribut Type sont présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau 8 : Description et valeurs pour l'attribut « Type ».**

<b>Valeur</b>	<b>Description succincte</b>
Départ potentiel	Le départ de matériaux par érosion est dominant.
Transit et dépôt	Le dépôt de matériaux par érosion est dominant.
Imperméable	L'infiltration des eaux est gênée, déviée ou interdite sans qu'un processus d'érosion domine dans la forme elle-même.
Neutre	Il n'y a pas de processus dominant évident.
Indéterminé	Trop complexe, mixité importante des types dans la forme.



L'attribution automatisée de la valeur de Type selon les classes N3 des formes 2018 est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 9 : Attribution de la valeur de Type selon la classe N3 des formes 2018.**

<b>Classe</b>	<b>Valeur de l'attribut « Type »</b>
Eau statique	Transit et dépôt
Eau courante	Transit et dépôt
Carrière, chantier, verse	Indéterminé
Verse seule	Neutre
Décharge non contrôlée, arasement	Départ potentiel
Piste	Indéterminé
Bâti et autres surfaces imperméabilisées	Imperméable
Aménagement indifférencié	Indéterminé
Sol nu faiblement végétalisé	Indéterminé
Surface significativement brûlée	Indéterminé
Ravine	Départ potentiel
Zone de ravinement	Départ potentiel
Falaise, escarpement rocheux actif	Départ potentiel
Mouvement de terrain, éboulis	Départ potentiel
Fond de rivière indifférencié	Indéterminé
Cuirasse nue	Neutre
Sédiments, colluvions	Transit et dépôt
Sol nu indifférencié	Indéterminé

### 11.4.2. L'attribut « Origine » en affectation directe

Attribut évaluant l'origine dominante de chaque forme détectée sur les images de 2018.

Les valeurs qu'il peut prendre sont résumées dans le tableau ci-après.

**Tableau 10 : Description et valeurs proposées pour l'attribut « Origine ».**

Valeur	Description succincte
Anthropique minier	Forme d'origine principalement liée à l'activité minière
Anthropique minier probable	Forme d'origine anthropique probablement liée à l'activité minière
Anthropique non minier	Forme d'origine principalement anthropique hors activité minière
Anthropique indifférencié	Forme d'origine principalement anthropique
Anthropique probable	Forme dont l'origine anthropique, liée ou non à l'activité minière, est suspectée (zone brûlée, ravine/ravinement récent connectée à aménagement, etc)
Naturel	Forme d'origine principalement naturelle
Indéterminé	Forme dont l'origine principale est difficile à déterminer

Les règles d'attribution de la valeur d'Origine ont été construites de manière à garantir une objectivité optimale. Elles s'appuient sur des données exogènes considérées fiables et intègrent l'avis du groupe de travail de l'OEIL<sup>16</sup> autour de ce projet.

Les données exogènes mobilisées à ce stade sont les suivantes :

Données	Sources	Version	Mis à Disposition	Date de transmission
Substrat ultramafique (1/ 50 000)	SGNC <sup>17</sup>	2018	OEIL	19/10/2020
BDTOPO-NC couche VOIRIE <sup>18</sup>	DITTT <sup>19</sup>	2019	OEIL	20/11/2020
Cadastre minier	GNC <sup>20</sup>	08/04/2020	Georep.NC <sup>21</sup>	01/10/2020
Titres miniers échus	GNC	08/04/2020	Georep.NC	01/10/2020
Zones de sur-engravement (Plan Particulier d'Intervention-Creeks)	Fond Nickel	Mai 2020	Fond Nickel	13/05/2020

Les données mises à disposition par les différents fournisseurs se basent entre autres sur des travaux de B. Sevin, 2014, de M. Garcin, 2013 et Garcin et *al.*, 2018<sup>22</sup>.

Selon les cas, les attributions d'origine peuvent être effectuées de manière directe ; d'autres sont plus complexes et demandent un recoupement entre plusieurs sources. Enfin, l'origine de certaines formes ne pourra être établie à partir des données existantes, conduisant à une indétermination.

<sup>16</sup> Les listes des participants aux différents ateliers est disponible en annexe.

<sup>17</sup> SGNC, Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie

<sup>18</sup> Ce jeu de données est constitué de la couche voirie de la BD-TOPO-NC (Base de données topographiques de la Nouvelle-Calédonie) corrigée par INSIGHT. Des axes ont été supprimés et d'autres ont été rajoutés manuellement par photo-interprétation. Les zones tampon sur les différents types d'axes (AXPISTE, AXNRV) ont été effectuées. Les nouvelles entités ajoutées ne sont pas renseignées pour le champ « gestion ».

<sup>19</sup> DITTT : Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres de la Nouvelle-Calédonie

<sup>20</sup> GNC : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie

<sup>21</sup> [Georep.NC](http://Georep.NC)

<sup>22</sup> Pour les références citées, le détail est en section 3. Bibliographie de ce rapport.



La valeur d'Origine est ainsi attribuée soit aux aménagements sans ambiguïté, soit considérant des aménagements auxquels il est trop difficile de décider dans le cadre de ce projet.

**Tableau 11 : Règle d'affectation directe de l'attribut « Origine » selon la classe.**

Origine	Classe
Anthropique minier	Décharge non contrôlée/arasement
Naturel	Falaise, escarpement rocheux actif
Indéterminé	Sol nu indifférencié Sol nu faiblement végétalisé Zone de ravinement Cuirasse nue indifférenciée Fond de rivière indifférencié Eau statique
Anthropique probable	Surface significativement brûlée*
<i>Non applicable</i>	<i>Eau Courante</i>

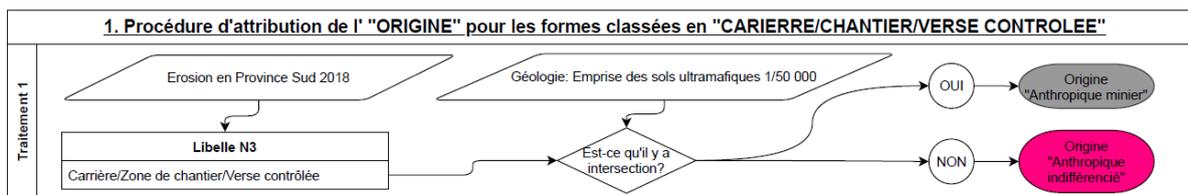
Concernant les surfaces brûlées, bien qu'il semble que la plupart des incendies soient d'origine anthropique, nous ne disposons pas de données en indiquant l'origine et l'étendue. Il est donc impossible de garantir l'origine anthropique d'une zone significativement brûlée. De plus, la persistance de zone significativement brûlées et identifiables sur plusieurs mois voire plusieurs années rend l'origine encore plus délicate à établir.

Pour toutes les autres formes de 2018, des règles de décision sont appliquées.

### 11.4.3. L'attribut « Origine » en attribution par arbre décisionnel

#### Verses Contrôlée, chantier, carrière

A l'unanimité, les participants à la réunion de travail du 12 mai 2020 ont soulevé que l'activité minière actuelle en Province sud se concentre exclusivement sur les sols ultramafiques. Aussi, ce point sera le principal élément discriminant pour l'attribut origine et les objets sur sol ultramafique prendront par conséquent la valeur « **Anthropique minier** ». Pour les objets en dehors de l'emprise des sols ultramafiques, l'attribut origine prendra la valeur « **Anthropique indifférencié** ».



**Figure 17 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Verse contrôle, chantier, carrière » (source : OEIL janvier 2021).**

## Bâti et autres surfaces imperméabilisées

Après examen de la cartographie, le groupe d’experts réunis par l’OEIL en novembre 2020 a jugé nécessaire d’adapter les règles d’attribution initialement appliquées de sorte à ne pas relier de grands objets de la catégorie, notamment les objets linéaires tels que les routes, à l’activité minière alors qu’une grande proportion n’y serait pas liée.

L’attribution retenue repose sur les règles ci-dessous :

Attribuer la valeur d’origine « **Anthropique minier** » aux formes classées en « Bâti et autres surfaces imperméabilisées » qui sont strictement à l’intérieur d’une zone tampon de 35m réalisée sur les objets précédemment classés en « Carrière / Chantier / Verse contrôlée » ainsi que sur l’ensemble des objets classés en « décharge non contrôlée & arasement ». Les autres objets de la classe « Bâti et autres surfaces imperméabilisées » sont classés en « **Anthropique indifférencié** ».

Note : L’attribution de la valeur « Anthropique indifférencié » plutôt que « Anthropique non minier » aux autres objets permet de rester cohérent avec le fait que certains objets de type « minier » soient connectés avec des objets de type « non minier » (exemple de la Zone industrielle de Doniambo- SLN).

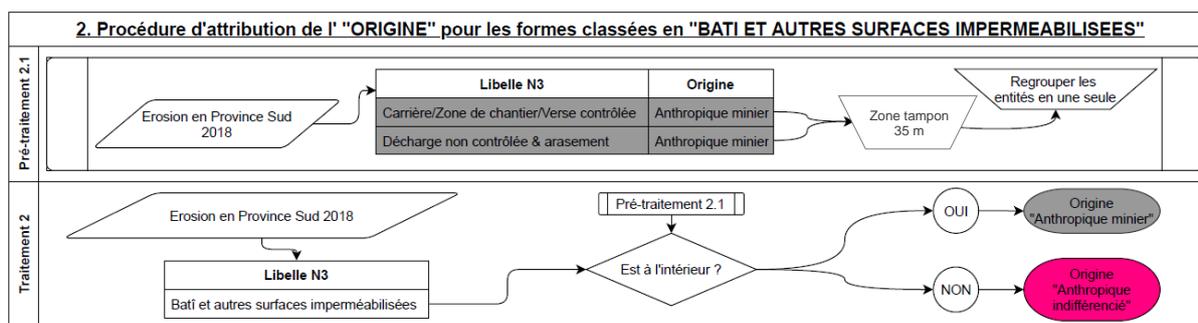


Figure 18 : Schéma général de décision pour l’attribution de l’origine pour la classe « Bâti et autres surfaces imperméabilisées » (source : OEIL janvier 2021)

## Aménagement indifférencié

La classe « Aménagement indifférencié » est composée des objets de la classe « Aménagement » au niveau 2 qui n’ont pas pu être classés dans les sous-classes suivantes :

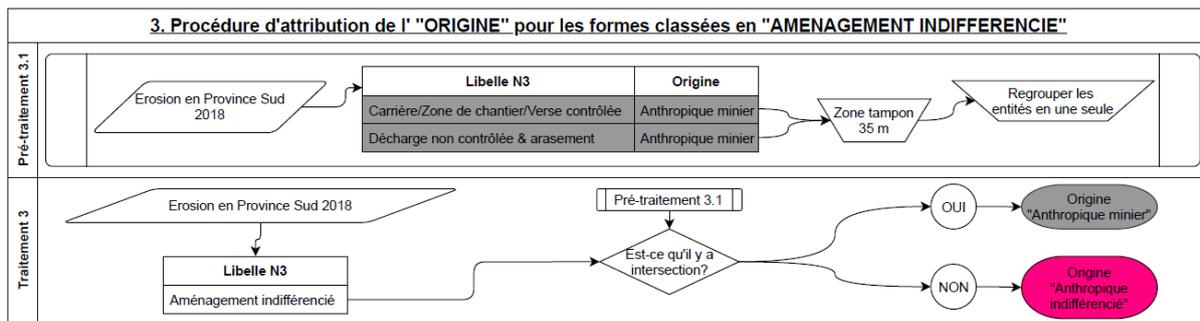
-  « Carrière/Chantier /Verse contrôlée »
-  « Décharge non contrôlée & arasement »
-  « Piste »
-  « Bâti et autres surfaces imperméabilisées »

Après examen et prise en main par l’OEIL et le groupe d’experts de la cartographie produite, il s’est avéré nécessaire d’établir des règles de décision pour attribuer l’origine aux objets de la classe « Aménagement indifférencié », ce en raison de la proximité de certains objets avec ceux des classes « Carrière/Chantier /Verse contrôlée » ou « décharge non contrôlée & arasement ».



Ainsi, la valeur « **Anthropique minier** » est attribuée aux objets classés en « aménagement indifférencié » qui intersectent une zone tampon de 35 m, réalisée sur les objets classés en « carrière/zone de chantier/verse contrôlée » ou en « décharge non contrôlée & arasement » et dont l'origine est « Anthropique minier ».

Les autres objets « Aménagement indifférencié », pour lesquels il n'y a pas intersection donc, se voient attribuer une origine de type « **Anthropique indifférencié** ». La distance de 35 m a été jugée acceptable par le groupe d'experts pour établir une notion de contact entre les objets impliqués.



**Figure 19 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Aménagement indifférencié »** (Source : OEIL Janvier 2021)

### Ravine isolée

Pour ces formes particulièrement, il apparaît comme complexe de déterminer l'origine de manière formelle. Aussi après discussion avec l'ensemble des participants, le principe d'attribution sera similaire que pour les pistes avec une notion de connexion directe aux aménagements.

Les règles d'attribution ont également été revues pour cette catégorie et c'est la distance entre la ravine isolée et le plus proche aménagement qui déterminera son origine. Ainsi, cette distance a été fixée à 35 m par le groupe de travail de novembre 2020.

Pour les ravines isolées à proximité immédiate d'un aménagement d'origine minière, soit à une distance de 35m maximum, elles prendront la valeur « **Anthropique minier probable** ».

Les objets à proximité d'autres aménagements dont l'origine minière n'est pas avérée prendront la valeur « **Anthropique probable** ».

Enfin, toutes les autres ravines isolées prendront la valeur « **Indéterminée** ».

Le groupe d'experts a ainsi jugé qu'une zone tampon de 35m était acceptable pour établir une notion de contact entre les objets impliqués. Il a été important d'établir cette notion de contact en raison des limites de la cartographie imposées, liées notamment à l'UMC et au seuillage du NDVI utilisé pour délimiter les objets de « sol nu indifférencié » de ceux de « Sol nu faiblement végétalisé ». En effet, ces aspects ont tendance à séparer des objets au niveau cartographique qui sont pourtant connectés d'un point de vue géomorphologique.

*Note : Les aménagements d'origine minière sont les objets des autres classes d'aménagements dont l'attribut origine prend la valeur « Anthropique minier ».*

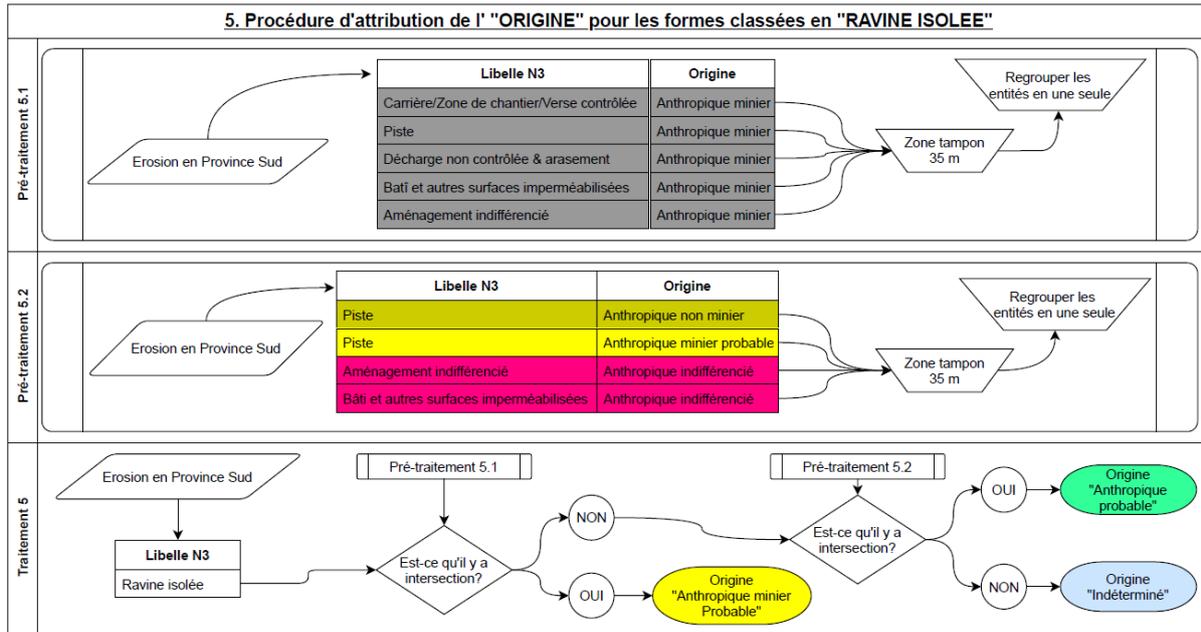


Figure 20 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Ravine isolée » (Source : OEIL Janvier 2021)

### Pistes

Toutes les formes de la classe « Piste » ont une origine anthropique. Pour distinguer l'origine minière ou non, il est proposé de se baser sur la BDTOPO retravaillée par INSIGHT dans le cadre de ce projet<sup>23</sup>, le cadastre minier et les titres miniers échus, ainsi que sur les autres formes d'aménagements précédemment classées pour l'origine.

La démarche se veut donc objective et considère la multiplicité des situations pouvant être rencontrées sur la zone d'étude.

L'attribut « Gestion » renseigne pour chaque tronçon des voies de circulation si la gestion est privée ou incombe à une collectivité. Cet attribut est accessible à partir de la couche d'information voirie de la BDTOPO.

Les règles de décision sont donc établies comme suit :

Pour les pistes dont la gestion n'est pas privée ou nulle, l'attribut « Origine » prend la valeur « **Anthropique non minier** ».

Pour les autres pistes, un croisement est alors opéré avec le cadastre minier et les titres miniers échus. Ainsi les pistes en dehors des périmètres miniers prennent la valeur « **Anthropique non minier** ».

<sup>23</sup> Élimination des pistes non visibles et ajout de nouveau tronçons non intégrés sur la version de la BDTOPO mise à disposition par l'OEIL

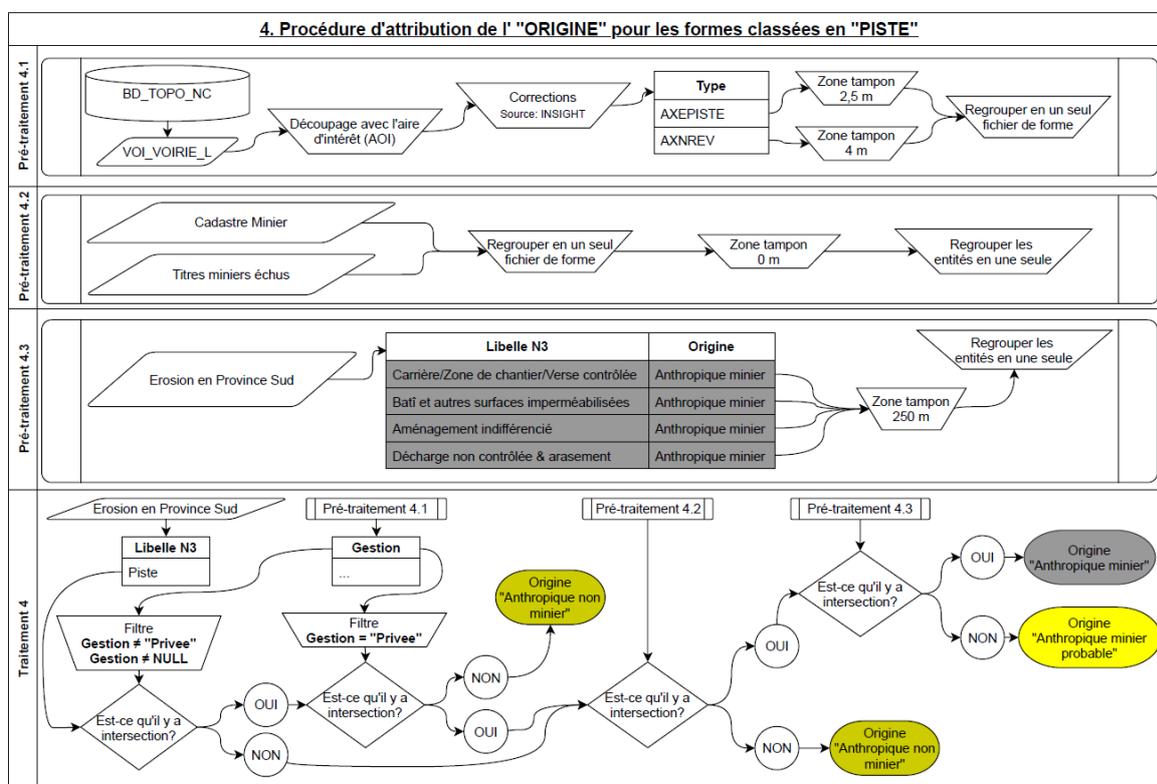


Pour les pistes incluses à l'intérieur des périmètres miniers (cadastre minier et les titres miniers échus regroupés), deux cas de figures sont proposés :

Cas d'une connexion directe à un aménagement d'origine minière : toute piste répondant à la condition de connexion directe et dans la distance fixée prendra la valeur « **Anthropique minier** ». Une distance de 250 m a été retenue par l'ensemble des participants à l'atelier 3.

Cas d'une connexion indirecte à un aménagement d'origine minière : toute piste répondant à la condition de connexion indirecte et en-dehors de la distance fixée précédemment prendra la valeur « **Anthropique minier probable** ».

*Note : les aménagements d'origine minière sont les objets des autres classes d'aménagements dont l'attribut origine prend la valeur « Anthropique minier ».*



**Figure 21 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Piste »**  
(source : OEIL Janvier 2021)



### Sédiments, colluvions

Les sédiments terrigènes forment la très grande majorité des surfaces cartographiées dans cette classe. Après discussion avec le groupe de travail du 12 mai 2020, le Fonds Nickel a mis à disposition un fichier regroupant les zones de sur-engravement sur l'ensemble de la Grande Terre. Cette cartographie ressece les secteurs présentant un sur-engravement avéré (ou à valider) lié à l'activité d'extraction minière.

Après examen de la donnée par l'expert, les tronçons d'engravement dont le statut est « à valider » ou « à démontrer » ont été écartés afin d'éviter toute erreur liée à la non-validation du statut.

Ainsi tous les objets « Sédiment & colluvion » qui croisent un tronçon sur-engravé prennent la valeur « Anthropique minier probable » ; pour les autres, l'attribut origine prend la valeur « Indéterminée ».

*Note : Sans information complémentaire, il ne sera pas possible de déterminer si l'origine est « naturelle » ou « Anthropique non minier » ; c'est pourquoi l'attribut prendra la valeur « Indéterminée ».*

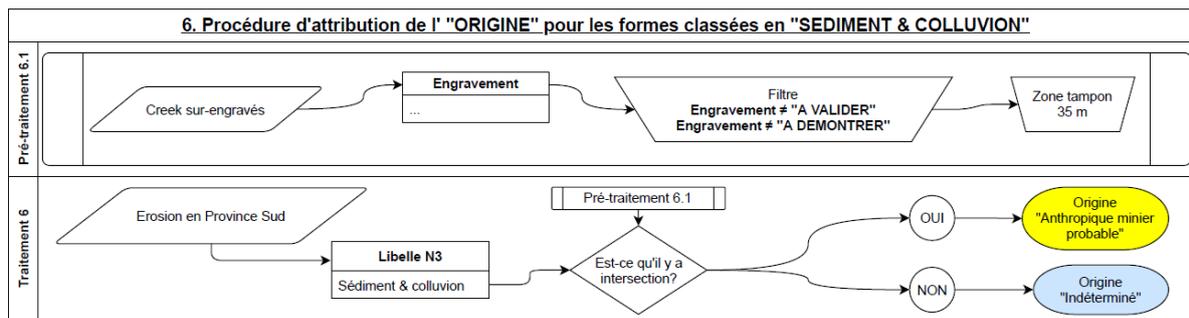
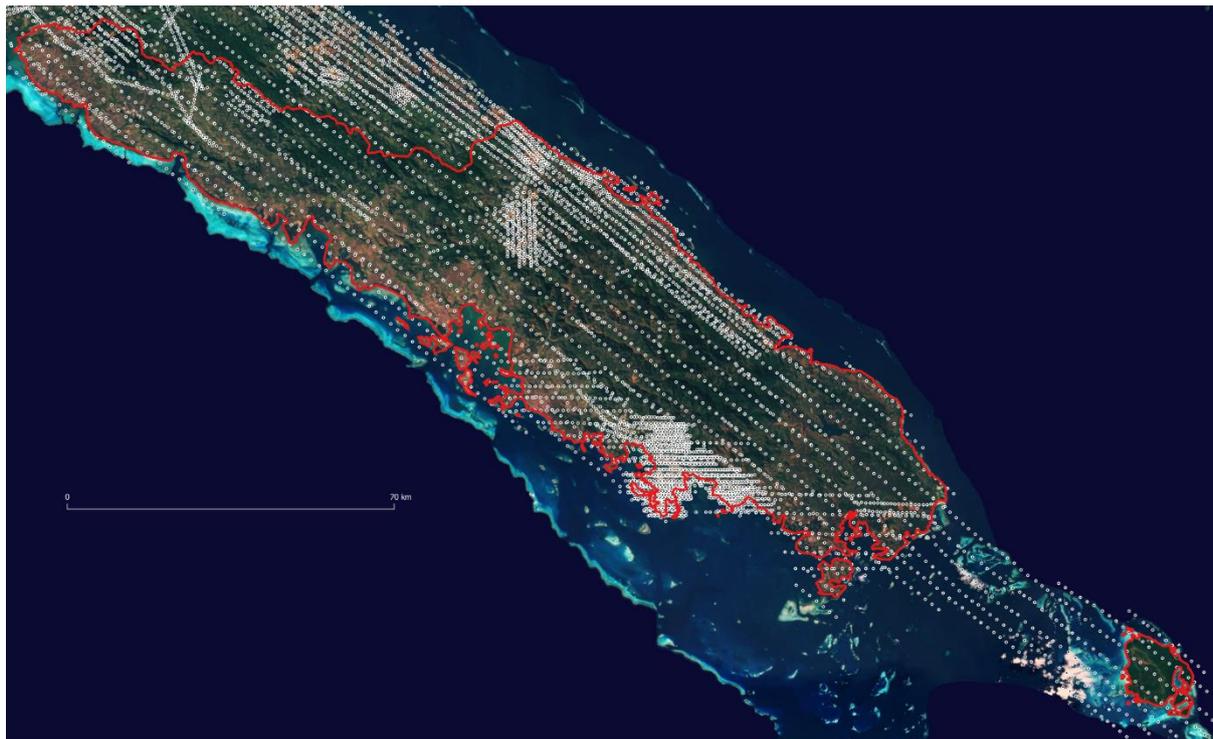


Figure 22 : Schéma général de décision pour l'attribution de l'origine pour la classe « Sédiments & colluvions » (Source : OEIL Janvier 202)

## **12. DETECTION ET CLASSIFICATION DES SOLS NUS DE 1976**

L'étude de la dynamique spatio-temporelle des surfaces d'érosion est basée sur la comparaison des images satellites acquises dans le cadre de ce projet et la mosaïque monochrome issue de la campagne aérienne de 1976 au 1/20 000ème (IGN).



**Figure 23 : Centroides de photos de la campagne IGN-1976 (1/20 000 source DITTT).**

Les données de 1976 fournies par la DITTT sont livrées sous format compressé « ecw ».

Il s'agit d'une mosaïque panchromatique sur l'ensemble de la Province Sud.

Afin de pouvoir exploiter pleinement la plage de valeurs disponibles, les développements méthodologiques ont été réalisés sur les ortho-photos unitaires avant harmonisation radiométrique et compression. Les mêmes procédures ont été appliquées sur des zones tests issues de la décompression de la mosaïque lissée afin d'évaluer la pertinence du recours aux données brutes.

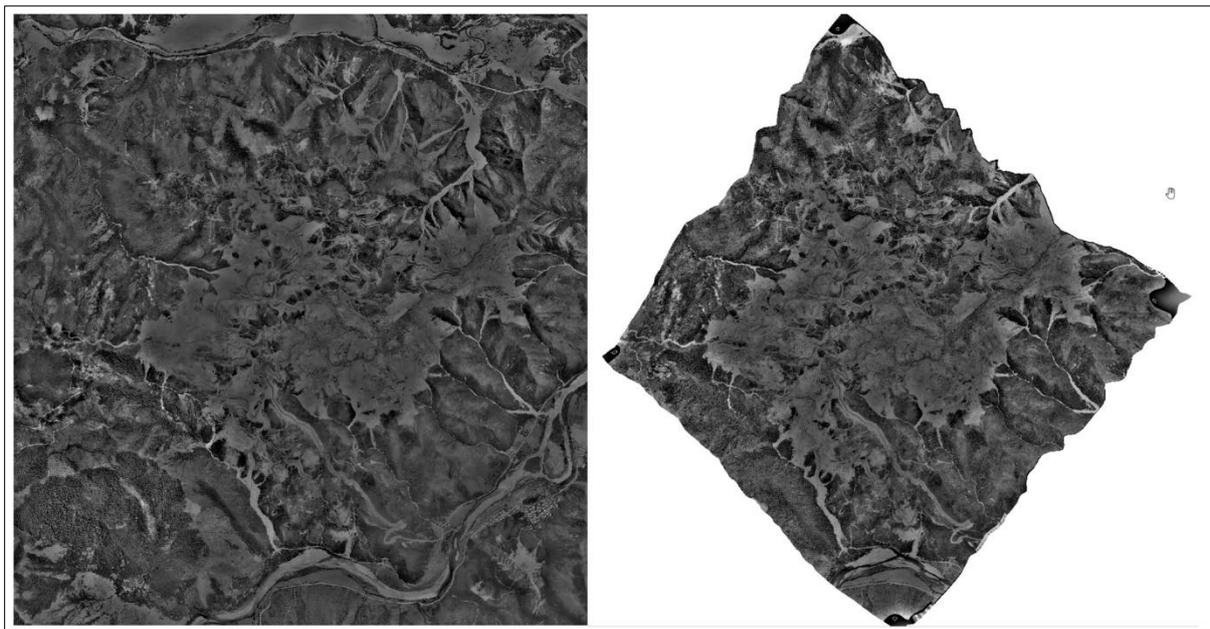


Figure 24 : Exemple de la mine de Thio : mosaïque à gauche, à droite l’ortho photo unitaire de 1976.

L’apport des données brutes est limité en considérant les ressources en temps et en matériel pour effectuer le traitement. Aussi, l’ensemble de la procédure a été réalisée sur les données mosaïquées et lissées.

**Tous les traitements effectués sur les données de 1976 ont été réalisés avec le logiciel Orfeo ToolBox-6.x, logiciel de traitement de données satellites Open Source.**

La procédure retenue pour traiter les données de 1976 se déroule en trois phases :

- 🌐 Rehaussement de contraste ;
- 🌐 Ouverture morphologique ;
- 🌐 Seuillage en fonction des catégories.

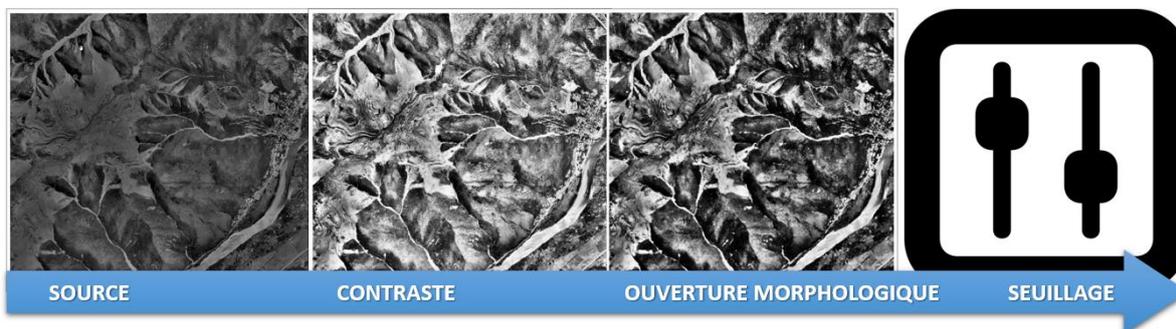
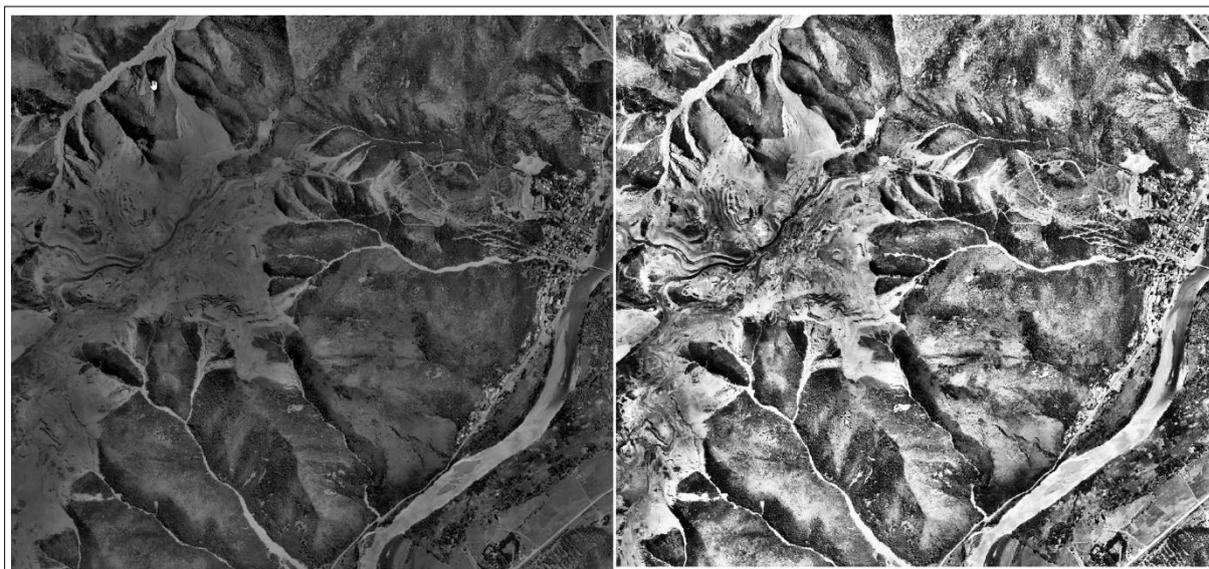


Figure 25 : Diagramme méthodologique de traitement (1976).

### 12.1. Rehaussement de contraste

Dans une image brute, les informations utiles sont souvent contenues dans un ensemble restreint de valeurs numériques parmi les valeurs possibles (256 dans le cas de données à 8 bits). Le rehaussement des contrastes se fait en changeant les valeurs initiales de façon à utiliser toutes les valeurs possibles, ce qui permet d'augmenter le contraste entre les cibles et leur environnement.



**Figure 26 : Illustration du rehaussement de contraste sur le secteur de Thio : à gauche l'image brut, à droite l'image rehaussée.**

Nous avons procédé ici à un rehaussement linéaire de l'image : il s'agit d'un étalement uniforme des valeurs utiles afin d'utiliser la totalité des valeurs possibles de 0 à 255.

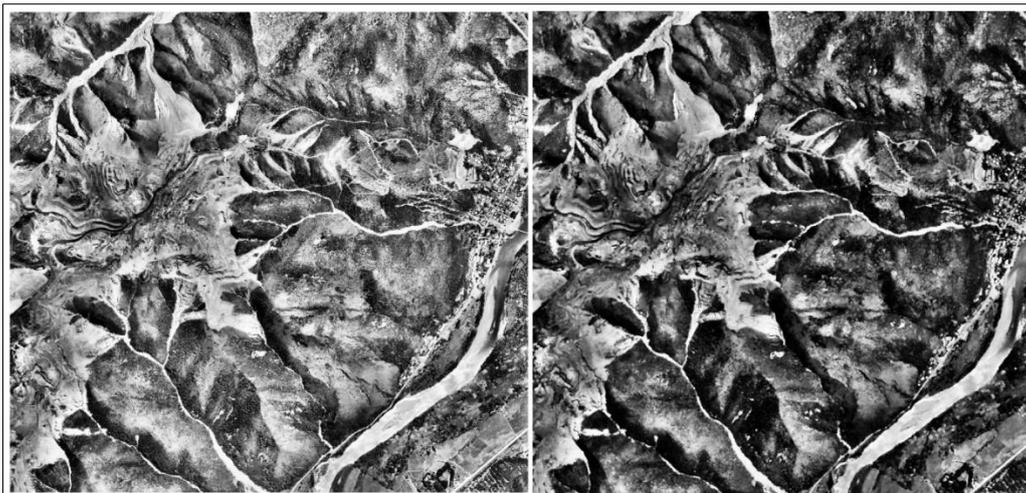
Ce procédé rehausse le contraste dans l'image en pâlisant davantage les régions claires de l'image et en assombrissant davantage les régions plus foncées. Ceci facilite l'interprétation visuelle comme l'illustre la figure ci-dessus.

### 12.2. Ouverture morphologique

L'ouverture morphologique sur une image en niveau de gris permet de réhausser les valeurs de pixel les plus hautes et d'écraser les valeurs moyennes ou faibles.

Cette ouverture s'effectue avec une fenêtre glissante de manière à éliminer les pixels isolés, contribuant ainsi à la déconnexion des objets faiblement connectés. Ni la taille, ni la forme des objets n'est altérée.

Cette étape est particulièrement pertinente dans le cas des aménagements, concernant le bâti notamment.



**Figure 27 : Illustration de l'ouverture morphologique sur le secteur de Thio : à gauche l'image rehaussée, à droite l'ouverture morphologique appliquée à la zone.**

Dans le cadre du projet nous avons procédé à une ouverture morphologique de 2x2 pixel afin de conserver le maximum d'informations et d'objets utiles pour le présent travail.

### 12.3. Seuillage

La phase finale de seuillage est une opération délicate au vu de l'extrême difficulté de différencier à partir d'une seule bande en niveaux de gris des composants du paysage naturel.

Aussi cette phase s'est déroulée de manière empirique jusqu'à obtention des seuils jugés pertinents /optimaux pour chaque classe. Le travail de seuillage s'est également opéré avec un guidage par photo-interprétation, permettant ainsi de limiter le bruit lié à la nature de la donnée traitée.

**Tableau 12 : Tableau récapitulatif des seuils appliqués en fonction des classes.**

<b>Classe</b>	<b>Seuil</b>
Sol nu indifférencié	<b>165</b>
Aménagement minier	<b>110</b>
Autre aménagement	<b>130</b>
Eau	<b>80</b>
Ombre	<b>5</b>
Nuage	-

Pour finir une phase de photo-interprétation a permis de limiter les confusions liées à une méthode automatique en traitant au cas par cas les différentes configurations rencontrées et d'ajuster au mieux la classification. Cette phase a suivi une règle principale consistant à ne classer en sols nus que les zones ne souffrant d'aucune interprétation. Pour tous les secteurs, où l'opérateur n'a pas de certitude vis-à-vis de l'occupation, la zone était affectée à la classe la moins précise ; dans ce travail, il s'agit de la classe « **Autre** ».



Le protocole détaillé ci-avant a été appliqué pour la cartographie du N2, le N1 résulte d'un regroupement des classes « Aménagement » et « sol nu indifférencié ».

Ci-dessous l'évaluation qualitative (sans quantification) de l'Experte sur le N2 de 1976 à 2500 m<sup>2</sup> d'UMC :

*« Dans l'ensemble une partie significative des aménagements semble bien cartographiée. Cependant, dans les zones examinées, une partie des aménagements attendus est détectée comme sol nu non aménagé ou classé en "Autre". Les conséquences sont les suivantes :*

*- Certains tronçons de voirie ne sont pas détectés. La voirie non détectée est soit revêtue (couleur souvent plus sombre), soit sur sol nu directement.*

*Côté aménagements non linéaires :*

*- la cartographie en zone urbanisée retient de nombreux bâtiments et leurs alentours, mais d'autres ne sont pas détectés, de même que certaines surfaces revêtues de teinte plus sombre (parkings, pistes d'aviation, etc.) ou certaines surfaces non revêtues.*

*- Hors zones urbanisées, les parcelles anthropisées à nu sont bien classées pour une part significative, mais certaines sont classées en sol nu, avec des contours parfois inattendus. Il arrive que certaines zones ravinées, parfois étendues, soient classées en aménagement.*

*- En domaine minier, les étendues principales des mines sont bien détectées comme aménagement, mais il arrive que des formes ou des portions de forme soient classées comme aménagement par erreur (sol nu non aménagé ou surface végétale). A l'inverse, il peut arriver que des aménagements miniers soient partiellement classés en sol nu non aménagé ou en "Autre", notamment en contexte local de pente mais pas seulement (piste, portion de plateforme, etc.).*

*Par exemple, des décharges ou portions de décharges sont classées en sol nu non aménagé ou "Autre". A l'inverse, quelques abords pentus et érodés de pied de versant à proximité de cours d'eau sont classés en aménagement.*

*Au bilan, la cartographie 1976 des aménagements semble délicate à utiliser telle quelle pour l'ensemble de la zone d'étude. Une utilisation partielle, dans des zones où l'utilisateur a pris soin de vérifier que le produit répond à ses attentes à une échelle raisonnable, pourrait être cependant envisagée, à condition de bien définir les limites d'utilisation. »*

**Malgré cette approche, les résultats de la classification de 1976 restent très insatisfaisants et rendent l'exploitation de cette donnée empreinte d'incertitude.**



## 12.4. Carte d'évolution

La caractérisation de l'évolution se basera sur l'état des sols nus en 1976. Le principe est ainsi de comparer les formes érosives entre les données aériennes historiques de 1976 et les données spatiales de 2018, de sorte à mettre en avant une évolution de ces formes.

Par « évolution », il est entendu ici la « dynamique spatio-temporelle de la forme », caractérisée par son apparition, sa disparition, son augmentation, sa diminution ou encore sa stabilité entre le T0 (1976) et le T1 (2018).

Une première proposition de croisement entre les données historiques et actuelles a été formulée et approuvée lors de l'atelier 1 : il s'agit d'une comparaison post-classificatoire des cartographies au niveau 2 de la nomenclature entre les dates. Cette alternative a l'avantage d'être conservatrice, ainsi tous les changements peuvent être quantifiés et localisés.

Il est à noter que **la précision de cette carte est le produit des précisions des deux cartographies du N2 en 2018 et en 1976 ayant servi à la produire.**

La cartographie des sols nus ou peu végétalisés à partir de photographie historique en noir et blanc est très difficile. Aussi, sa qualité ne saura-t-elle être comparée objectivement à celle de 2018.



Il apparaît ainsi important de préciser que le caractère « évolution » et la cartographie associée sont des indicateurs de **tendances** et ne devraient en aucun cas être interprétés autrement qu'en y associant les contraintes et les limites techniques inhérentes aux données utilisées pour les produire.

A partir de ces croisements spatiaux et d'études statistiques spatiales, il sera alors possible de définir la tendance d'évolution qu'ont subi les sols nus actuels.

Les seuils, entre augmentation, diminution et stabilité de la surface de sols nus, sont complexes et délicats à fixer ; ils doivent intégrer les erreurs liées à la qualité des classifications au deux dates, les erreurs liées à la résolution des données sources ainsi que les erreurs de calage.

La stratégie proposée ici se base sur les tests d'égalité d'empreinte spatiale, qui considère qu'une forme est égale à une autre si une proportion conséquente de leur surface est commune. Un premier seuil a été proposé pour le test d'égalité à 70% (**normalement il s'agit du produit entre les deux précisions des cartographies**), signifiant qu'une forme est considérée comme stable si une surface commune entre les deux dates représente au moins 70% de la surface totale.

En dessous de ce seuil, un pondérateur (équivalent au 1<sup>er</sup> coefficient sur le même principe que le seuil d'égalité) est proposé pour prendre en compte les biais précédemment cités et sera appliqué à toutes les zones non communes pour aboutir à la tendance générale de la forme.

Le principe a été discuté et approuvé lors de la dernière réunion du 12 mai 2020 durant laquelle l'ensemble des règles de décision pour l'affectation des attributs ont été arrêtées.

Ci-après, un rappel de la procédure réalisée pour une compréhension générale de la valeur d'évolution rapportée dans la cartographie du niveau N2.



La première étape consiste en un croisement entre les classifications de 1976 et de 2018 au format raster pour identifier l'ensembles des changements entre les deux dates. *Cf matrice de changements en annexe.*

Cette carte des changements fait l'objet par la suite de croisement spatial avec la classification de 2018 au format vecteur pour associer à chaque forme d'érosion en 2018 tous les changements produits entre 1976 et 2018.

A l'issue de ce croisement, une agrégation s'opère pour chaque forme avec les coefficients d'incertitude précédemment fixés afin d'attribuer une valeur d'évolution à chaque forme de 2018. Au vu de la qualité<sup>24</sup> très limitée de la donnée de 1976, le seuil d'égalité spatiale a été abaissé à 60% (au-delà, les résultats seraient trop incertains pour en déduire des tendances). L'état des objets contenus dans la cartographie de 1976 n'étant que partiellement établi, il sera par conséquent **plus approprié de parler de tendance d'évolution que d'évolution réelle des objets observés.**

Le schéma ci-dessous permet de résumer les règles d'agrégation :

Principe du test d'égalité de l'empreinte spatiale entre deux dates

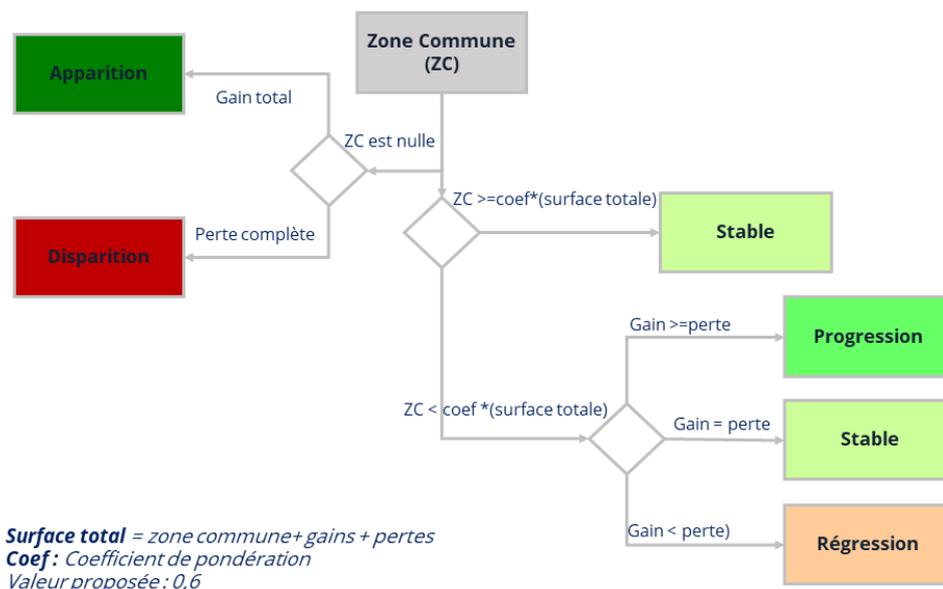


Figure 28 : Principe du test d'égalité de l'empreinte spatiale appliqué aux cartographies de 1976 et 2018

Compte tenu de la qualité toute relative de la cartographie de 1976, INSIGHT met en garde les futurs utilisateurs quant à la pertinence et l'incertitude autour de la notion d'évolution entre les deux dates ici considérées. Aussi, au vu des performances peu satisfaisantes de la classification de 1976<sup>25</sup> et du nombre très important d'objets cartographiés à 100 m<sup>2</sup> d'UMC, seule la catégorie « Aménagement » a pu faire l'objet d'estimation des tendance dévolution.

L'ensemble des changements entre les deux dates sont en outre disponibles au format Raster et pourront être exploités par l'OEIL si nécessaire.

<sup>24</sup> La qualité de la cartographie de 1976 présente des performances très limitée de l'ordre de 50 % sur l'ensemble de la zone d'étude.

<sup>25</sup> Où la classe « Aménagement » a montré les meilleures performances, bien que celles-ci soient limitées, en comparaison avec les autres classes du N2 en 1976.



### 13. CONTROLE QUALITE

Avant de détailler les résultats de l'étude, il est important de faire un point sur l'évaluation de la qualité des résultats. La précision d'une classification se caractérise par le degré de cohérence de la cartographie produite avec la « vérité terrain ».

Deux validations ont été menées, une validation qualitative par photo-interprétation et une validation quantitative à partir de la matrice de confusion, faisant appel aux métriques de performance les plus utilisées que sont :

**La concordance globale :** (OA : Overall Accuracy) représente la qualité globale de la classification toutes classes confondues. C'est le rapport entre la surface totale bien classée et la surface totale traitée par la classification.

$$OA = \frac{n}{N}$$

*Précision globale, où N est le nombre total d'observations et n le nombre d'observations correspondant à un bon classement.*

**La précision utilisateur (Précision) :** (UA : User's Accuracy) correspond à la fraction des pixels correctement classés dans une classe (représenté par la diagonale de la matrice).

$$PU = \frac{x_{ii}}{x_{i+}}$$

*précision utilisateur, où  $x_{ii}$  est le nombre de pixels correctement classés pour une catégorie (correspondant à la ligne i et à la colonne i) et  $x_{i+}$  est le total de pixels affectés à cette catégorie (total de la ligne i).*

**La précision producteur (rappel) :** Correspond à la fraction de pixels de référence d'une classe correctement classés.

$$PP = \frac{x_{ii}}{x_{+i}}$$

*précision producteur, où  $x_{ii}$  est le nombre de pixels correctement classés pour une catégorie (correspondant à la ligne i et à la colonne i) et  $x_{+i}$  est le total de pixels de cette catégorie dans la référence (total de la colonne i).*

Ces deux dernières métriques sont complémentaires car permettent de détecter des sur-classements ou des sous-classements. La métrique qui permet de rendre compte de ce rapport est appelée le F-Score :

$$F - Score = \frac{2.PU.PP}{PP + PU}$$

*F-Score, où PU est la précision utilisateur et PP la précision producteur.*



Il est à noter que le contrôle a été opéré sur la base d'une confrontation de la donnée produite avec la classification faite par l'expert thématique sur une sélection aléatoire de zones à évaluer réparties sur l'ensemble de la zone d'étude (la Province Sud).

### 13.1. Le contrôle qualité par l'expert thématique

Le contrôle qualité s'est déroulé en plusieurs étapes et de manière itérative tout au long du projet de manière à assurer un produit final de bonne qualité et répondant aux exigences du projet.

Globalement, 567 secteurs répartis sur l'ensemble de la Province Sud ont été contrôlés dont 247 secteurs au niveau 3.

Le contrôle a couvert au total 524,7 km<sup>2</sup> tous niveaux confondus, soit 7,3 % de la surface de la zone d'étude.

14,5 km<sup>2</sup> ont fait l'objet de contrôles au niveau 3 couvrant uniquement les classes utiles (hors ombre, nuage et autre).

Le tableau ci-dessous détaille la répartition des contrôles par niveau.

**Tableau 13 : Récapitulatif des surfaces contrôlées quantitativement aux trois niveaux de classification (les superficies sont exprimées en km<sup>2</sup>) source Rouet, I., 2020**

Niveau de classification	Version contrôlée	Nombre de secteurs contrôlés	Superficie de la zone d'étude couverte	% de la zone d'étude couverte	Superficie pixels contrôlés	% classes prioritaires contrôlées	Nombre de classes contrôlées
N1	N1_20191024	160	145,1	2,0	145,1	2,0	5
	Total N1	160	145,1	2,0	145,1	2,0	5
N2	N2_20191024	69	65,7	0,9	65,7	0,9	6
	N2_20191218	91	79,4	1,1	79,4	1,1	6
	Total N2	160	145,1	2,0	145,1	2,0	6
N3	N3_20200413	19	18,7	0,3	0,7	1,1	2
	N3_20200505	20	19,0	0,3	0,6	2,5	1
	N3_20200510	20	18,7	0,3	1,7	3,5	2
	N3_20200516	23	21,8	0,3	1,1	1,5	4
	N3_20200519	40	38,3	0,5	1,0	1,2	2
	N3_20200603	125	118,0	1,6	9,5	1,3	16
	Total N3	247	234,5	3,2	14,5	2,0	16
	<b>Total tous niveaux</b>	<b>567</b>	<b>524,7</b>	<b>7,3</b>	<b>304,7</b>	<b>2,0</b>	



La figure ci-après illustre la répartition spatiale des 567 secteurs contrôlés. Avec 7,3% de la zone d'études couverte par le contrôle, ce dernier dépasse largement les engagements initialement pris par le consortium INSIGHT/ROUET de l'ordre de 2%.

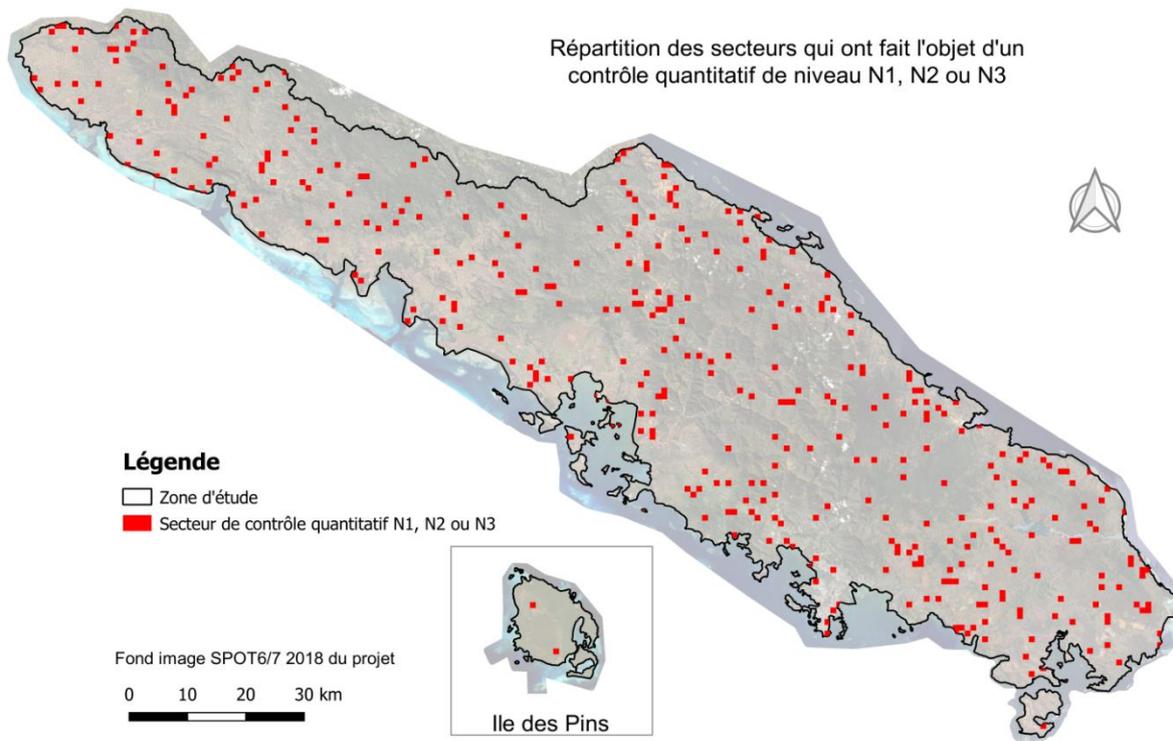


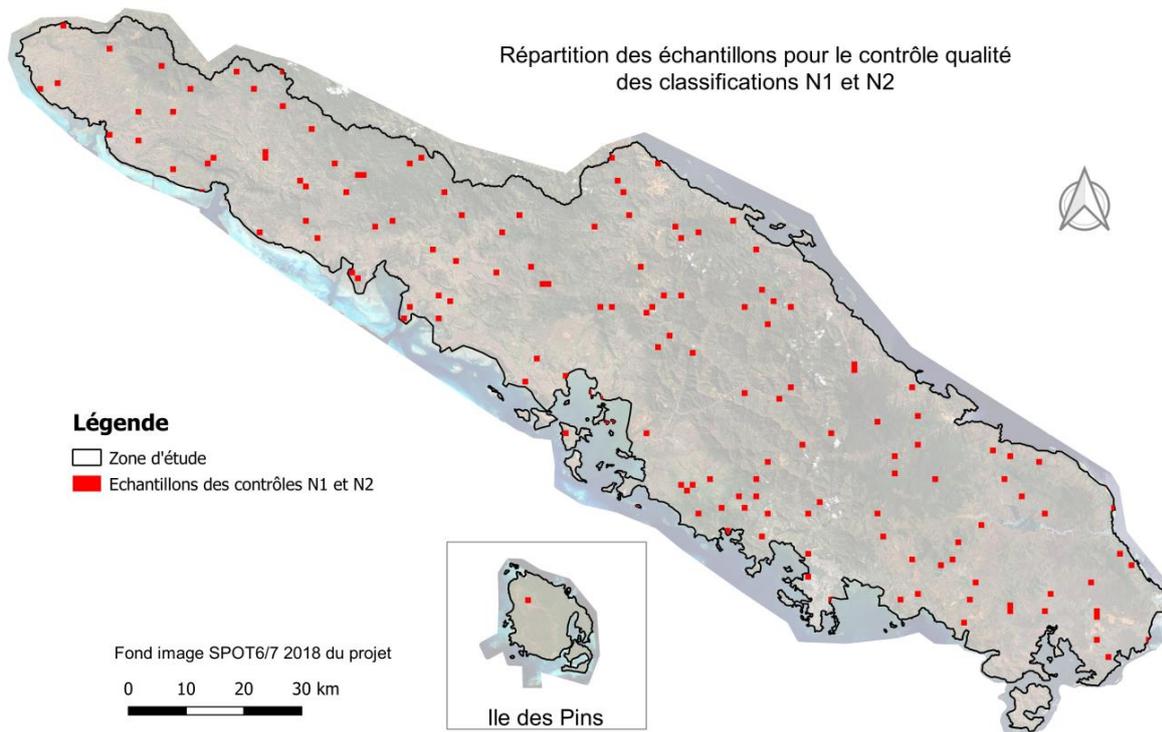
Figure 29 : Carte de répartition des zones de contrôle tous niveaux confondus (source : Rouet, I ; 2020).

### 13.2. Contrôle qualité du Niveau 1 2018

Plusieurs allers/retours ont été opérés entre l'équipe technique et l'expert thématique afin de corriger les erreurs et les imperfections de la cartographie des images de 2018.

Un rapport détaillant le processus et les résultats des contrôles effectués tout au long du projet a été remis par l'expert à l'OEIL. Seuls les résultats définitifs des contrôles et les conclusions sont présentés ci-dessous.

Afin d'effectuer le contrôle qualité des niveaux 1 et 2, un tirage aléatoire représentant 2 % de la surface totale de la zone de travail a été effectué. La figure ci-après illustre la répartition spatiale des zones contrôlées.



**Figure 30 : Carte de répartition des zones de contrôle pour les Niveau N1 et N2 (source : Rouet, I ; 2020).**

Les résultats du contrôle sont présentés dans le tableau ci-dessous avec une précision globale de **97,87 %**, ce qui représente des résultats particulièrement satisfaisants au regard des limites inhérentes à la donnée.

**Tableau 14 : Quantification de la qualité du Niveau N1 effectué sur les objets supérieurs à 100 m<sup>2</sup> (source : Rouet, I ; 2020).**

Classe	Nombre de pixels	Superficie (km <sup>2</sup> )	% pixels échantillon entier	% erreur par classe
Nuage	451 185	1,02	0,70	7,59
Ombre	1 772 398	3,99	2,75	2,69
Autre (végétation)	56 645 086	127,45	87,81	0,04
Eau	935 433	2,10	1,45	5,90
Sol nu ou peu végétalisé	<b>4 416 908</b>	<b>9,94</b>	<b>6,85</b>	<b>2,50</b>
Nuage mal classé	37 050	0,08	0,06	sans objet
Ombre mal classée	49 017	0,11	0,08	sans objet
Autre mal classé	20 310	0,05	0,03	sans objet
Eau mal classée	58 695	0,13	0,09	sans objet
Sol nu mal classé	110 626	0,25	0,17	sans objet
Raccords entre images	10 626	0,02	0,02	sans objet
<b>Total pixels échantillon</b>	<b>64 507 334</b>	<b>145,14</b>	<b>100</b>	
<b>Total pixels en erreur</b>	<b>286 324</b>	<b>0,64</b>	<b>0,4</b>	



### 13.3. Contrôle qualité du Niveau 2 2018

Le niveau 2 de classification doit répondre à une précision de 85 % par classe.

Le tableau ci-après détaille les précisions par catégorie.

Le contrôle s'est effectué sur 160 secteurs répartis aléatoirement sur toute la zone d'étude et couvrant 146km<sup>2</sup>, soit 2% de la zone totale.

L'examen des résultats souligne une classification très satisfaisante pour l'ensemble des classes évaluées. L'examen de la matrice de confusion fait apparaître que la classe des aménagements présente les précisions les plus faibles avec **91,1%**. Le processus de production est à l'origine de ces erreurs : en effet, les données exogènes mobilisées sont peu précises et cela se répercute sur les résultats.

**Tableau 15 : Tableau quantitatif des précisions de classification du niveau N2 (source : Rouet, I ; 2020 modifié)**

Classe	Nombre de pixels	Superficie (km <sup>2</sup> )	% pixels en erreur	% pixels bien classés
<b>Ombre</b>	1872464	4,213		
<b>Ombre mal classée</b>	40391	0,091	0,021	<b>0,979</b>
<b>Autre</b>	57490852	129,354		
<b>Autre mal classé</b>	30689	0,069	0,001	<b>0,999</b>
<b>Eau</b>	934962	2,104		
<b>Eau mal classée</b>	56583	0,127	0,057	<b>0,943</b>
<b>Aménagement</b>	1137717	2,560		
<b>Aménagement mal classé</b>	111424	0,251	0,089	<b>0,911</b>
<b>Sol nu peu végétalisé</b>	2224560	5,005		
<b>Sol nu peu végétalisé mal classé</b>	145655	0,328	0,061	<b>0,939</b>

Enfin, le contrôle du N2 a été effectué sur un N2 à 2500 m<sup>2</sup>.

Tel que mentionné précédemment, le passage d'une UMC de 100 m<sup>2</sup> à 2500 m<sup>2</sup> génère la perte des objets inférieur à 2500 m<sup>2</sup> par des processus de réaffectation entre classes. Ainsi, le résultat de la classification a par conséquent été impacté et les précisions sont en légère baisse par rapport au niveau 1.

Dans le détail, 8,92% des objets surfaces aménagées ont été mal classées et la part des sols nus indifférenciés mal classés atteint 6,15%. Cependant, en dépit de erreurs soulevées, la précision globale du N2 atteint **95 %** sur les zones contrôlées et confirme les performances très satisfaisantes du N2.



### 13.4. Contrôle qualité du Niveau 3 2018

Le niveau 3 de classification doit dans la mesure du possible atteindre 85 % de précision.

L'objectif est bien plus ambitieux pour ce niveau qui comporte 17 classes de sols nus ou peu végétalisés, auxquelles s'ajoutent les classes d'eau et autres. Au total, vingt classes sont concernées.

La production du N3 et le contrôle ont suivi des cycles itératifs permettant une constante amélioration de la qualité des classes.

Le rapport du contrôle qualité détaille les résultats des phases de contrôle successifs. Seuls les résultats du contrôle final sont présentés et analysés dans le présent document.

Globalement le contrôle s'est déroulé en trois phases : un contrôle qualitatif rapide sur l'ensemble de la cartographie produite, puis un contrôle intermédiaire et un contrôle final.

Le contrôle intermédiaire a été mené sur 1% des zones en sols nus ou peu végétalisés avec 5,04 Km<sup>2</sup> répartis aléatoirement sur l'ensemble de la zone du projet.

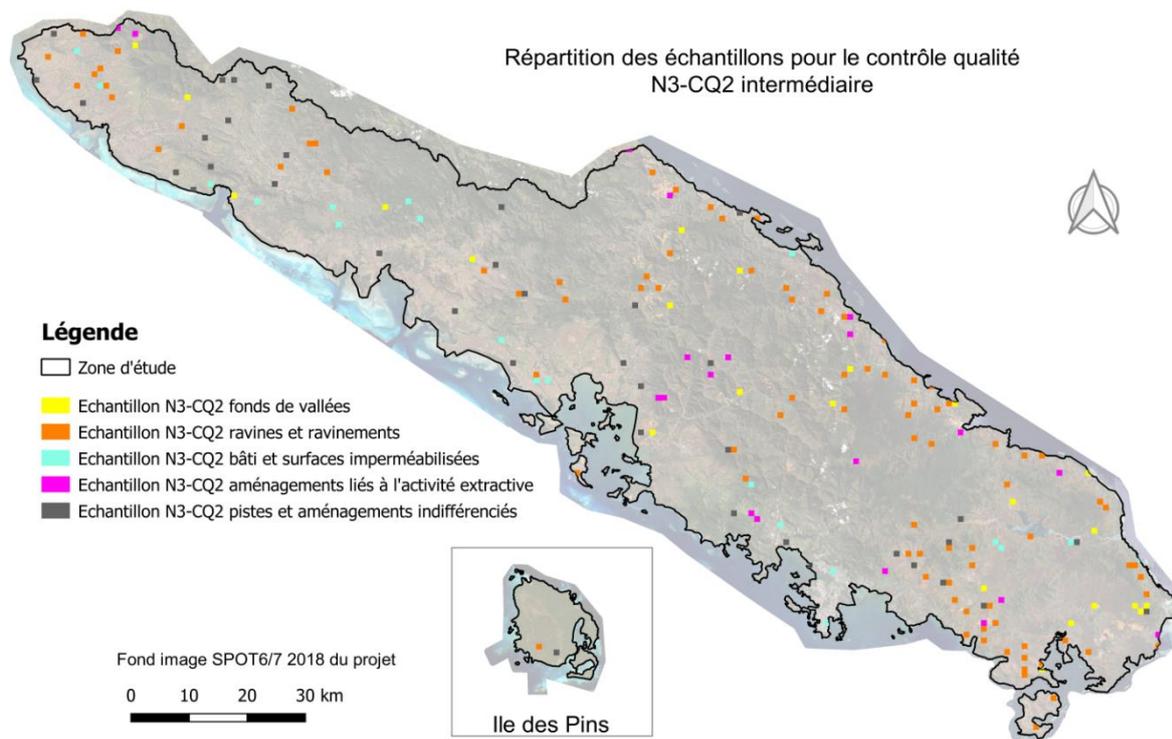


Figure 31 : Répartition des zones de contrôle intermédiaire (source : Rouet, I ; 2020).

Ce contrôle a été effectué par groupes thématiques suivi d'une dernière phase de correction des défauts mis en lumière par ce Contrôle.

Enfin un ultime contrôle quantitatif est réalisé sur approximativement 1% des zones en sols nus ou peu végétalisés, avec exclusion des zones déjà contrôlées.

**Au total, ce sont 247 secteurs qui ont été contrôlés couvrant près de 235 km<sup>2</sup> de la zone d'étude soit 3,2% de la surface totale avec 14,5 km<sup>2</sup> de sols nus évalués toutes catégories confondues.**

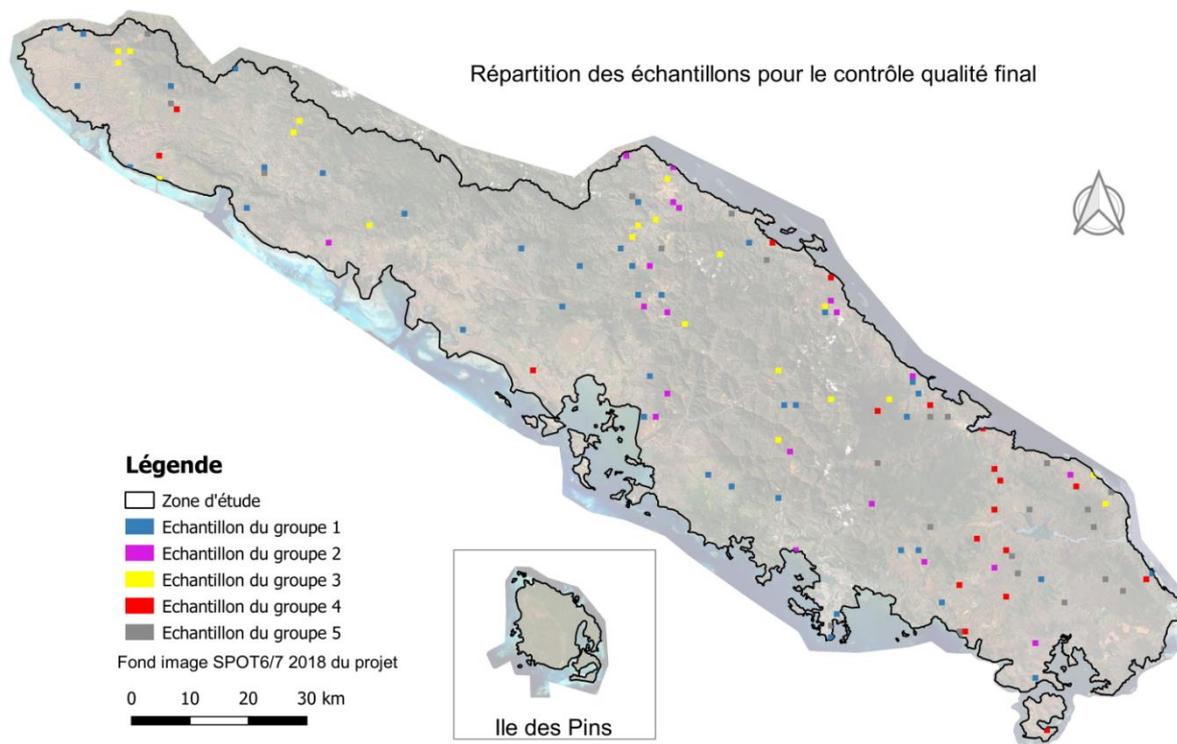


Figure 32 : Répartition des zones de contrôle final (source : Rouet, I ; 2020).

Le tableau 16 ci-dessous reprend la quantification des erreurs de classification pour les classes concernées par la thématique.

*NB : Les classes « ombre », « nuage » et « autre » ne sont pas contrôlées au N3 de la classification.*

Pour rappel des métriques de qualité utilisées :

**La précision** : représente la part de pixels d'une classe correctement classés et mesure la pertinence de la classification produite pour la classe considérée (la précision producteur).

**Le rappel** : représente la part de pixels correctement classés sur l'ensemble des pixels à classer et mesure la capacité du système à donner toutes les solutions pertinentes (la précision utilisateur). Cela permet d'identifier les axes d'amélioration d'une classification.

**F-Score** : c'est la moyenne harmonique de la précision et du rappel. Mesure la capacité du système à donner toutes les solutions pertinentes et à refuser les autres.

Tableau 16 : Quantification du contrôle qualité sur les catégories de sol nus ou peu végétalisés (source : Rouet, I ; 2020 modifié).

	Eau dynamique	Eau statique	Aménagement indifférencié	Carrière/ Chantier/ Verse contrôlée	Bâti et autre surface imperméabilisée	Piste	Décharge non contrôlée / Arasement	Sol nu indifférencié	Zone brûlée	Ravinement	Ravine isolée	Sédiment & colluvion	Fond de vallée indifférencié	Mouvement de terrain	Cuirasse à nu	Précision
Eau dynamique	0,922	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,92
Eau statique	0,006	0,798	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,79
Aménagement indifférencié	0,000	0,000	0,682	0,104	0,059	0,000	0,017	0,028	0,000	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,68
Carrière/ Chantier/ Verse contrôlée	0,000	0,000	0,000	0,969	0,000	0,003	0,023	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,97
Bâti et autre surface imperméabilisée	0,000	0,000	0,021	0,000	0,976	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,98
Piste	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,986	0,000	0,006	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,99
Décharge non contrôlée / Arasement	0,000	0,000	0,008	0,056	0,000	0,000	0,544	0,139	0,000	0,238	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,54
Sol nu indifférencié	0,005	0,004	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,922	0,001	0,026	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,92
Zone brûlée	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,00
Ravinement	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,002	0,986	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,99
Ravine isolée	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047	0,000	0,000	0,089	0,864	0,000	0,000	0,000	0,000	0,86
Sédiment & colluvion	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,970	0,017	0,000	0,000	0,94
Fond de vallée indifférencié	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,000	0,152	0,802	0,000	0,000	0,80
Mouvement de terrain	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,132	0,000	0,000	0,000	0,868	0,000	0,87
Cuirasse à nu	0,000	0,001	0,048	0,000	0,000	0,013	0,000	0,261	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,672	0,67
Rappel	0,81	0,88	0,79	0,92	0,96	0,97	0,72	0,98	0,98	0,76	0,85	0,76	0,71	0,84	0,95	
F-score	0,87	0,84	0,73	0,95	0,97	0,98	0,62	0,95	0,99	0,86	0,86	0,85	0,75	0,85	0,79	

 **Qualité satisfaisante**  
 **Qualité moyenne**  
 **Les classes les moins performantes**

## **14. SYNTHÈSE AVANT S.A.V.**

Ci-après sont mises en avant les principales conclusions et points de vigilance soulevés à l'issue de ce projet.

Une phase de Service Après Vente (SAV) a permis de corriger la plupart d'entre eux et une dernière validation qualitative a également été effectuée par l'Experte, qui a confirmé la conformité de la couche finale avec les rectifications préconisées.

Dans ce paragraphe sont repris les principaux points relevés dans le contrôle quantitatif et qui ont été concernés par la phase de SAV.

*L'examen du tableau permet de constater que la précision globale est de plus de **86%**. La plupart des classes sont très satisfaisantes avec entre 80 et 99% de précision.*

*Certaines classes telles que « Aménagement indifférencié », « Décharge non contrôlée / arasement » et « Cuirasse à nu » présentent cependant des performances moins bonnes avec respectivement 68%, 54% et 67%.*

*Ces résultats confirment les difficultés attendues et soulevées lors des différents ateliers quant à la cartographies des objets concernés par ces catégories.*

*Il est à noter que ces catégories spécifiquement présentent un caractère hétérogène, rendant le travail et l'identification délicats. C'est le cas notamment pour les « Aménagement indifférencié » et les « Fond de vallée indifférencié », avec respectivement 68% et 80% de précision, ces deux catégories trouvant ici leurs limites relativement aux données utilisées, à la définition des classes et à leur photo-interprétabilité.*

*Enfin, un dernier point de vigilance est à souligner et concerne la classe « Sédiment & colluvion », qui apparaît par endroits déborder sur la classe « Fond de vallée indifférencié », impactant cette dernière de manière parfois significative. D'autant plus que la classe « Fond de vallée indifférencié » est moins étendue que la classe « Sédiment & colluvion » et, de fait, les erreurs d'affectation sont proportionnellement importantes.*



## 15. CONCLUSION

La phase de SAV, réalisée à la suite des premières conclusions du contrôle qualité suivi des retours de l'OEIL notamment sur les règles d'attribution de l'origine aux formes érosives de la cartographie de 2018, a permis de parfaire la donnée produite pour aboutir à une couche de donnée de qualité supérieure à celle annoncée pour la plupart des classes d'objet.

Globalement, les classes « Cuirasse à nu » et « Décharge non contrôlée / Arasement » ont largement été améliorées. C'est également le cas de la classe « Sédiment & colluvion » qui a également fait l'objet de rectification en phase de SAV. Il reste cependant difficile d'aboutir à une qualité aussi importante pour les classes hétérogènes dont la multiplicité des objets n'autorise pas une confiance accrue et ce bien que ces classes aient été également révisées.

INSIGHT/ROUTIS ont consenti à des efforts singulièrement importants pour aboutir à une couche de données aussi qualifiée que possible eu égard aux limites techniques et thématiques.

Aussi, en conclusion, la cartographie de 2018 présente un niveau de finesse important avec 17 classes de sols nus. Les mouvements de terrain et éboulis ayant été intégrés dans la classe des « sols nus indifférenciés », l'ensemble des autres classes visées par la typologie ont été réalisées avec des performances bonnes à très bonnes.

Le recours aux données exogènes notamment pour les classes d'aménagement a permis une semi-automatisation des processus, intégrant ainsi la réponse spectrale des sols nus et l'information auxiliaire sur l'utilisation des sols. La photo-interprétation a permis d'atteindre une qualité optimale sur l'ensemble des classes cartographiées.

L'apport des données Sentinel-2 (données satellites en accès libre et gratuit) aura en outre été déterminant pour réaliser la classification des « surfaces significativement brûlées » et des « cuirasses à nu ». Malgré la résolution de 10m, cette source de données, traitée de manière automatique, a permis de discriminer de manière très significative les « surfaces brûlées » et dans une moindre mesure les « cuirasses à nu ».

Le recours à la photo-interprétation a été limité au maximum, cependant, la complexité de la thématique et de la typologie visée ont conduit à un passage obligatoire d'opérateur sur l'ensemble des classes, qu'elles aient été produites de manière automatique, semi-automatique ou encore réalisées complètement manuellement.

La cartographie de 1976 quant à elle a été très difficile à réaliser. Malgré une approche objectivée à son maximum, les résultats ont été décevants au regard des moyens mis en place.

La donnée est en effet spectralement pauvre et n'autorise aucune exploitation optimum. Son utilisation à l'échelle de la province Sud a été en deçà de ce qui était attendu. Seuls les aménagements apparaissent comme partiellement correctement interprétés, les sols nus naturels étant soumis à beaucoup plus de subjectivité. Cette subjectivité se retrouve également dans le contrôle qualité, mettant en exergue une performance plutôt moyenne, atteignant difficilement la barre des 50% sur l'ensemble de la couche.

Son exploitation reste toutefois possible localement et par des experts thématiques sous réserve de procéder à une lecture par photo-interprétation de la donnée.



## 16. ANNEXES

### 16.1. Liste des participants aux ateliers techniques

#### Atelier 1 du 19-avril-2019 autour de la typologie visée

Tableau 17 : liste des participants à l'atelier 1 du 19 avril 2019.

CATEGORIE	ORGANISME	CONTACT
Commanditaire	OEIL	Fabien ALBOUY (FA)
		Jean-François N'GUYEN VAN SOC (JFNGVS)
		Léa DESOUTTER (LD)
	CS OEIL	Morgan MANGEAS (MM)
Consortium	INSIGHT	Nafissa SFAKSI (NS)
		Sébastien LAGARDE (SL)
		Jean MASSENET (JM)
	ROUETIS R&D	Isabelle ROUET
	Expert local	Dominique CLUZEL
Experts Invités	Geo Impact	Thierry DERVIN (TD)
	WWF	Emma DO KHAC (EDK)
	GNC\DIMENC\SGNC	Myriam VENDE-LECLERC (MVL)
	GNC\Fonds Nickel	Véronique FORLACROIX (VF)
	PSud \ DDR \ SSELCE	Philippe BONNEFOIS (PB)
		Florent VIDAL (FV)
	GNC\DAVAR	Pearl WINCHESTER (PW)
GNC\DTSI\SGT	Damien BUISSON (DB)	

#### Atelier 2 du 30-10-2019 autour de l'approche méthodologique suite à la phase de test

Tableau 18 : liste des participants à l'atelier 2 du 30 octobre 2019.

CATEGORIE	ORGANISME	CONTACT
Commanditaire	OEIL	Fabien ALBOUY (FA)
		Jean-François N'GUYEN VAN SOC (JFNGVS)
Consortium	INSIGHT	Nafissa SFAKSI (NS)
		Sébastien LAGARDE (SL)
		Jean MASSENET (JM)
	ROUETIS R&D	Isabelle ROUET (IR)
Experts Invités	Geo Impact	Thierry DERVIN (TD)
	WWF	Emma DO KHAC (EDK)
	GNC\Fonds Nickel	Véronique FORLACROIX (VF)
	DDR	Philippe BONNEFOIS (PB)
	DDR	Etienne Waneisi (EW)
	PS/DSI	Hugo Roussafa (HR)



### Atelier 3 du 12-05-2020 autour des règles de décision pour les attributs « type » et « origine »

Tableau 19 : liste des participants à l'atelier 3 du 12 mai 2020.

CATEGORIE	ORGANISME	CONTACT
<b>Commanditaire</b>	OEIL	Fabien ALBOUY (FA)
		Jean-François N'GUYEN VAN SOC (JFNGVS)
		Adrien Bertaud
<b>Consortium</b>	INSIGHT	Nafissa SFAKSI (NS)
		Sébastien LAGARDE (SL)
	ROUETIS R&D	Jean MASSENET (JM)
<b>Experts Invités</b>		Isabelle ROUET (IR)
	WWF	Emma DO KHAC (EDK)
	GNC\Fonds Nickel	Véronique FORLACROIX (VF)
	Fond Nickel	
	BRGM	
	PS/DSI	Hugo Roussafa (HR)



## 16.2. Liste des documents et rapports produits dans le cadre du présent projet

### Les comptes rendus de réunions :

- 🌐 CCR de discussion de l'Atelier 1
- 🌐 CCR de discussion de l'Atelier 2

### Rapports :

- 🌐 Processus érosifs en Nouvelle-Calédonie : **Rapport de prétraitements** (SPOT6-7)
- 🌐 Processus érosifs en Nouvelle-Calédonie : **Rapport de traitements** (Classification niveaux 1, 2 et 3)
- 🌐 Processus érosifs en Nouvelle-Calédonie : **Contrôle qualité des produits raster** (Classification niveaux 1, 2 et 3)
- 🌐 **Dictionnaire des classes** : Définition des classes retenues pour la typologie des formes érosives
- 🌐 **Guide technico-méthodologique** : Recherche méthodologique et tests préliminaires (Classification des niveaux 1, 2 et 3)
- 🌐 **Propositions autour des attributs** : Arbre décisionnel et règles d'affectation des attributs « Origine » et « type »

### Support de présentation :

- 🌐 Kick-Off : réunion de lancement du projet
- 🌐 Atelier1 : dédié de la typologie des formes érosives
- 🌐 Atelier2 : dédié à la méthodologie et la phase de test
- 🌐 Restitution : réunion de restitution finale du projet

### Autres :

- 🌐 Photos terrain
- 🌐 Plan de vol & localisation des prises de vue
- 🌐 Lignes de découpe des images

Tableau 20 : tableau des correspondances des objets avec les classes issues de la typologie post atelier 1.

	Origine: naturel		Origine: anthropique minier		Type: départ																	
	Origine: indifférencié		Origine: anthropique non minier		Type: transit																	
			Origine: anthropique indifférencié		Type: dépôt																	
					Type: neutre																	
Niveau d'analyse	N3																					
Classe typologique N3 →	Ombres topographiques	Autre	Eau statique	Eau dynamique	Carrière, zone de chantier, verse contrôlée	Décharge non contrôlée	Piste	Bâti et autres surfaces imperméabilisées	Aménagement indifférencié	Surface significativement 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	
<b>Objet à classer ↓</b>																						
Nuages																						
Ombres de nuages																						
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													
Plateforme 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		
Engrèvement																				x		
Envasement																				x		
Cône de déjection torrentielle																				x		
Terrasses alluviales stabilisées non végétalisées																				x		
Plage																				x		
Tanne nu																						x



Tableau 21 : Matrice des changements possibles entre les cartographies de 1976 et 2018.

Catégorie		CLASSIFICATION 2018			
		Autre (code 3)	Eau (code 4)	Aménagement (code 5)	Sol nu ou peu végétalisé (code 6)
<b>CLASSIFICATION 1976</b>	Autre (code 3)	<b>30</b>	34	35	36
	Eau (code 4)	43	<b>40</b>	45	46
	Aménagement (code 5)	53	54	<b>50</b>	56
	Sol nu ou peu végétalisé (code 6)	63	64	65	<b>60</b>

Avec :

**30** Catégorie "Autre" stable

**40** Catégorie "Eau" stable

**50** Catégorie "Aménagement" stable

**60** Catégorie "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" stable

34 les zones "Autre" en 1976 basculent dans "Eau" en 2018

35 les zones "Autre" en 1976 basculent dans "Aménagement" en 2018

36 les zones "Autre" en 1976 basculent dans "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" en 2018

43 les zones "Eau" en 1976 basculent dans "Autre" en 2018

45 les zones "Eau" en 1976 basculent dans "Aménagement" en 2018

46 les zones "Eau" en 1976 basculent dans "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" en 2018

53 les zones "Aménagement" en 1976 basculent dans "Autre" en 2018

54 les zones "Aménagement" en 1976 basculent dans "Eau" en 2018

56 les zones "Aménagement" en 1976 basculent dans "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" en 2018

63 les zones "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" en 1976 basculent dans "Autre" en 2018

64 les zones "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" en 1976 basculent dans "Eau" en 2018

65 les zones "Sol nu ou peu végétalisé indifférencié" en 1976 basculent dans "Aménagement" en 2018

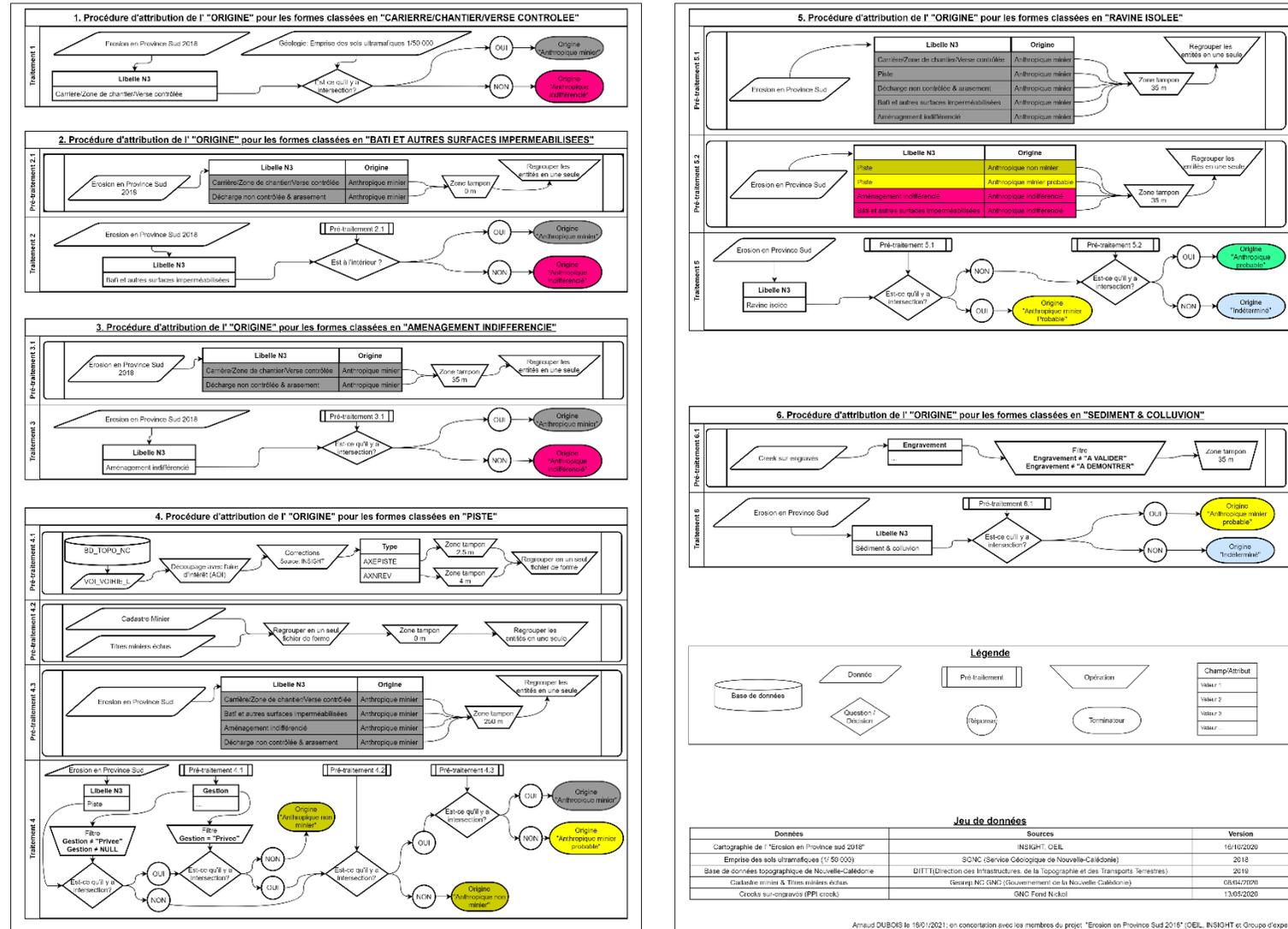


Figure 33 : Récapitulatif des règles de décision pour l'attribution de l'Origine aux classes complexes (Source : OEIL janvier 2021).