

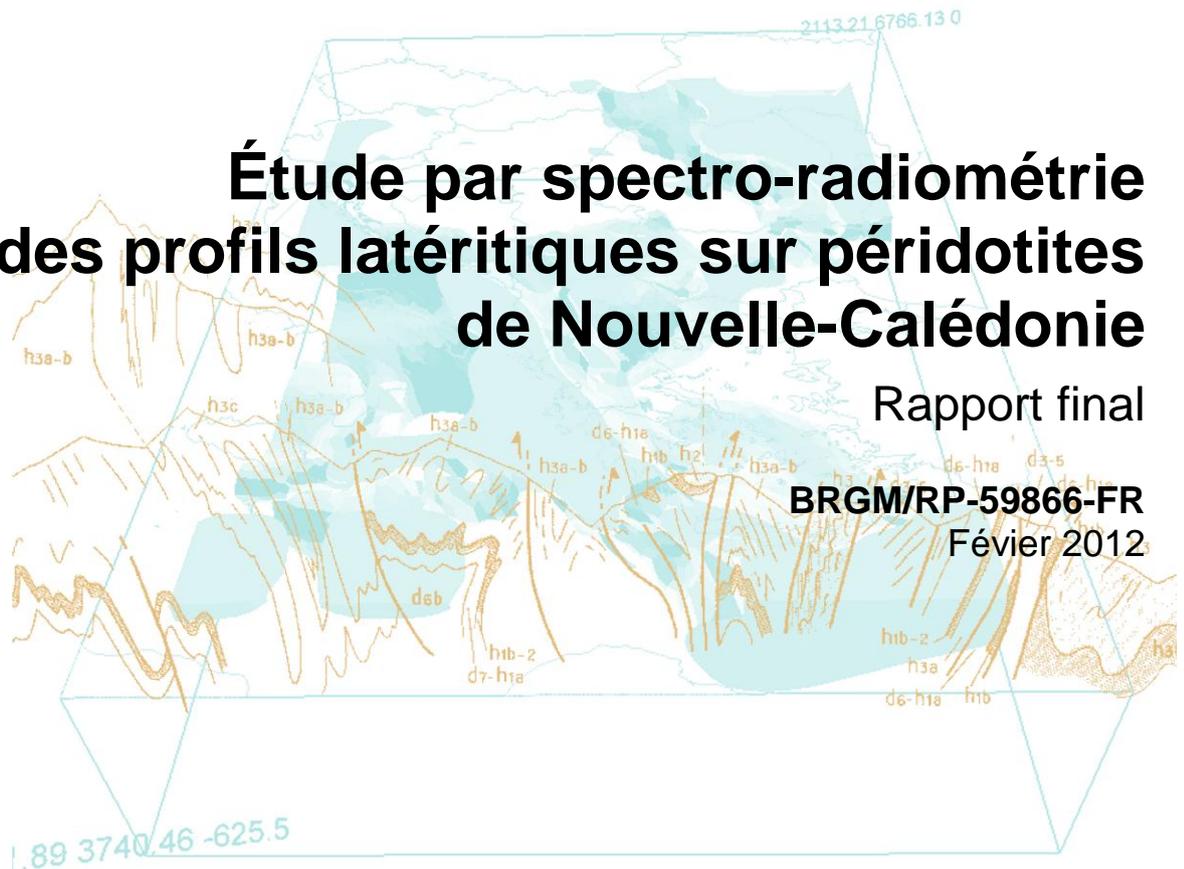


Étude par spectro-radiométrie des profils latéritiques sur péridotites de Nouvelle-Calédonie

Rapport final

BRGM/RP-59866-FR

Février 2012



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Étude par spectro-radiométrie des profils latéritiques sur péridotites de Nouvelle-Calédonie

Rapport final

BRGM/RP-59866-FR
Février 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Recherche BRGM 2010

S. Chevrel

Vérificateur :

Nom : Bourguignon A.

Date : 22/02/2012

Signature :



Approbateur :

Nom : Angel JM.

Date : 23/02/2012

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots-clés : Spectro-radiométrie, Latérite, Nouvelle-Calédonie, Télédétection.

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

Chevrel S. (2012) – Étude par spectro-radiométrie des profils latéritiques sur péridotites de Nouvelle-Calédonie. Rapport final. BRGM/RP-59866-FR. 51 p., 33 fig., 7 tabl.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce rapport présente les travaux exécutés dans le cadre de la mission BRGM effectuée en Nouvelle-Calédonie du 3 au 28 mai 2010 et destinée à la caractérisation spectrale des massifs latéritiques néocalédoniens par spectro-radiométrie visible et infrarouge.

Cette campagne de spectro-radiométrie de terrain sur péridotites altérées avait pour objectifs :

- d'étudier la faisabilité de la spectro-radiométrie de terrain pour la discrimination spectrale des unités lithologiques des profils latéritiques ;
- le calage radiométrique des images hyperspectrales acquises dans le cadre du projet en vue du traitement thématique des images ;
- la création de bibliothèques spectrales dédiées, à partir de mesures de réflectance *in situ* (illumination naturelle, cibles décimétriques) et sur échantillons (illumination artificielle, cibles centimétriques) : lithologies des profils latéritiques, végétation associée.

Cette campagne de terrain a permis d'acquérir de nombreux spectres de réflectance représentatifs des principales lithologies des profils latéritiques sur plusieurs massifs miniers de l'île, ainsi que de spectres représentatifs des principales espèces végétales (non traitées dans ce rapport).

On a pu ainsi mettre en évidence les caractéristiques spectrales de ces lithologies et la possibilité de les distinguer selon des critères spectraux.

Ces capacités de discrimination spectrale seront utilisées pour la cartographie du régolite des massifs miniers à partir d'images hyperspectrales acquises dans un autre volet du projet CARTHA.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Rappel des principes de la spectro-radiométrie	11
2.1. GÉNÉRALITÉS	11
2.1.1. Spectre électromagnétique et gamme spectrale utilisée.....	11
2.1.2. Interaction des ondes électromagnétiques avec la surface terrestre	12
2.1.3. Notion de signature spectrale	13
2.1.4. Potentiel de discrimination des minéraux	14
2.2. ACQUISITION DE DONNÉES.....	15
2.2.1. Méthodes d'acquisition	15
2.2.2. Caractéristiques du spectro-radiomètre ASD FieldSpec 3.....	16
3. Spectroscopie de terrain	17
3.1. MÉTHODES ET PRINCIPES	17
3.2. PRINCIPE DE LA MESURE	18
3.3. PROTOCOLE DE MESURES APPLIQUÉ.....	19
3.3.1. Mesures de terrain en illumination naturelle	19
3.3.2. Mesure par contact en illumination artificielle	20
4. Description des profils latéritiques sur péridotites	21
5. Déroulement de la mission.....	23
5.1. CALENDRIER ET SITES VISITÉS	23
5.2. MASSIF DE THIÉBAGHI.....	25
5.3. MASSIF DE KONIANBO	27
5.4. MASSIF DE PORO	29
5.5. MASSIF DE PRONI.....	31
5.6. MASSIF DE GORO	33
6. Structuration de la base de données avant traitement des spectres	35
7. Éléments d'interprétation des spectres de terrain.....	37
7.1. TRAITEMENT DES SPECTRES	37

7.2. ANALYSE SPECTRALE DES PRINCIPALES LITHOLOGIES.....	37
7.2.1. Spectres de cuirasse	37
7.2.2. Spectres de latérite.....	38
7.2.3. Comparaison des spectres de latérite rouge et latérite jaune	40
7.2.4. Spectres de saprolite.....	40
7.2.5. Spectres de saprolite à garniérite	40
7.2.6. Spectres de roches mères, harzburgite et dunite.....	42
7.3. SYNTHÈSE : CARACTÉRISATION SPECTRALE DES PROFILS LATÉRITIQUES.....	43
8. Interprétation minéralogique des spectres sur échantillons.....	45
8.1. SAPROLITES.....	45
8.2. HARZBURGITE – DUNITES	47
8.3. LATÉRITES.....	49
9. Conclusions.....	51

Liste des figures

Figure 1 : Onde électromagnétique.....	11
Figure 2 : Le spectre électromagnétique.....	11
Figure 3 : Interaction des ondes électromagnétiques avec la surface terrestre.	12
Figure 4 : Signature spectrale typique d'un végétal sain.	13
Figure 5 : Extraction des paramètres biogéochimiques de la surface terrestre, d'après leurs caractéristiques spectrales.....	14
Figure 6 : Signature spectrale de quelques minéraux caractéristiques.	14
Figure 7 : Méthodes d'acquisition de spectro-radiométrie : proximale (terrain), aéroportée, satellitaire.....	15
Figure 8 : Fibre optique et sonde de contact de l'ASD FielSpec 3.....	16
Figure 9 : Acquisition de spectres en illumination artificielle et illumination naturelle.	17
Figure 10 : Radiance et réflectance.	18
Figure 11 : Exemple d'une mesure de terrain effectuée avec le spectro-radiomètre FieldSpec3® : a) mesure référence blanche, b) mesure cible, c) spectre de réflectance de la cible.	19
Figure 12 : Profil latéritique type sur péridotite (J.C. Parisot, 2004).	21

Figure 13 : Carte des massifs visités.....	24
Figure 14 : Localisation des points de mesure, massif de Thiébaghi.....	25
Figure 15 : Localisation des points de mesure, massif de Konianbo.	27
Figure 16 : Localisation des points de mesure, massif de Poro.	29
Figure 17 : Localisation des points de mesure, massif de Proni.	31
Figure 18 : Localisation des points de mesure, massif de Goro.....	33
Figure 19 : Structuration de la base de données spectrales à l'issue de la mission.	36
Figure 20 : Spectres de cuirasse des massifs de Thiébaghi, Konianbo et Poro, avant et après élimination des perturbations atmosphériques.....	37
Figure 21 : Spectres de cuirasses des massifs de Thiébaghi, Konianbo et Poro.	38
Figure 22 : Spectres de latérite rouge des massifs de Thiébaghi, Konianbo, Poro et Proni.	39
Figure 23 : Comparaison latérite rouge et latérite jaune, massif de Proni.	40
Figure 24 : Spectres de saprolite des massifs de Thiébaghi, Konianbo, Poro.....	41
Figure 25 : Spectres de garniérite, massif de Konianbo et Poro.	42
Figure 26 : Spectres de harzburgite et dunités, fraîches et altérées.....	43
Figure 27 : Spectres types des lithologies des profils latéritiques.	44
Figure 28 : Analyse spectrale du spectre de l'échantillon de saprolite GOR2.	45
Figure 29 : Interprétation du spectre de l'échantillon TIE10 humide.	46
Figure 30 : Interprétation du spectre de l'échantillon TIE10 sec.	47
Figure 31 : Interprétation des spectres PRO4a2 (harzburgite fraîche) et PRO4a (harzburgite patinée).	48
Figure 32 : Interprétation du spectre de l'échantillon PRO7a.....	49
Figure 33 : Interprétation du spectre de l'échantillon PRO3a.....	50

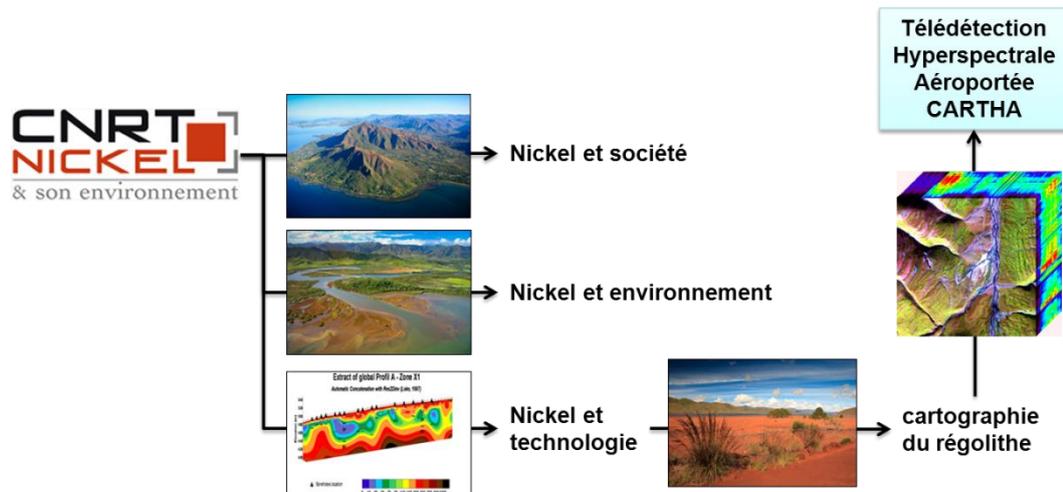
Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques du spectro-radiomètre ASD FieldSpec 3®.....	16
Tableau 2 : Déroulement de la mission.	24
Tableau 3 : Points et conditions de mesure massif de Thiébaghi.	26
Tableau 4 : Points et conditions de mesure massif de Konianbo.....	28
Tableau 5 : Points et conditions de mesure massif de Poro.	30
Tableau 6 : Points et conditions de mesure massif de Proni.	32
Tableau 7 : Points et conditions de mesure massif de Goro.....	34

1. Introduction

Le projet CARTHA (cartographie du régolithe par télédétection hyperspectrale aéroportée) s'inscrit dans le cadre plus général des projets financés par le CNRT « Nickel et son environnement », suite à un appel d'offres lancé en 2009.

Le projet CARTHA est un volet du programme « cartographie du régolithe », lui-même inclus dans le programme « nickel et technologie ».



Le projet CARTHA est piloté par l'IRD Nouméa, le BRGM étant co-traitant et co-finançant son intervention à hauteur de 50 %.

Ce rapport présente les travaux exécutés dans le cadre de la mission BRGM effectuée en Nouvelle-Calédonie du 3 au 28 mai 2010 et destinée à la caractérisation spectrale des massifs latéritiques néocalédoniens par spectro-radiométrie visible et infrarouge.

Cette campagne de spectro-radiométrie de terrain sur péridotites altérées avait pour objectifs :

- d'étudier la faisabilité de la spectro-radiométrie de terrain pour la discrimination spectrale des unités lithologiques des profils latéritiques ;
- le calage radiométrique des images hyperspectrales acquises dans le cadre du projet en vue du traitement thématique des images ;
- la création de bibliothèques spectrales dédiées, à partir de mesures de réflectance *in situ* (illumination naturelle, cibles décimétriques) et sur échantillons (illumination artificielle, cibles centimétriques) : lithologies des profils latéritiques, végétation associée.

2. Rappel des principes de la spectro-radiométrie

La spectro-radiométrie utilise les principes de l'interaction des ondes électromagnétiques (Figure 1) avec la matière.

2.1. GÉNÉRALITÉS

2.1.1. Spectre électromagnétique et gamme spectrale utilisée

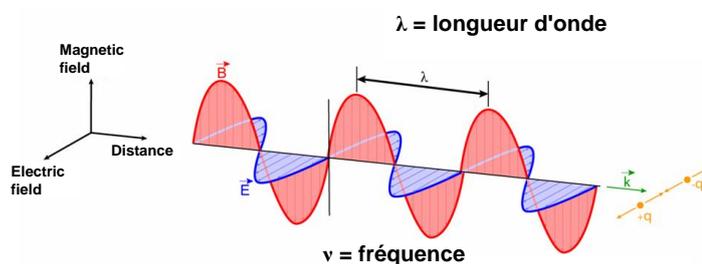


Figure 1 : Onde électromagnétique.

La gamme spectrale couverte lors de cette étude est celle de la spectroscopie de réflectance : 350-2 500 nm (Figure 2).

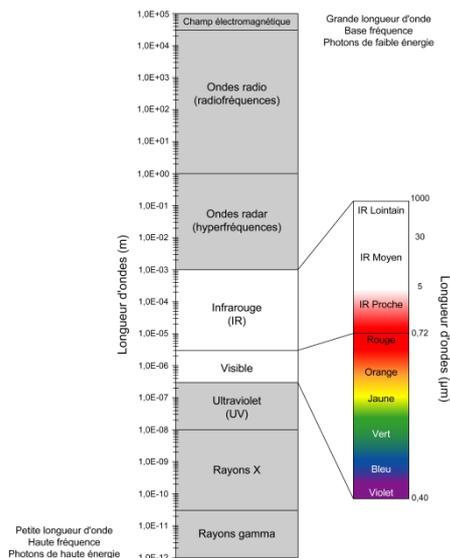


Figure 2 : Le spectre électromagnétique.

2.1.2. Interaction des ondes électromagnétiques avec la surface terrestre

L'onde électromagnétique incidente (lumière solaire) est absorbée, transmise et réfléchiée par les objets de la surface terrestre (Figure 3).

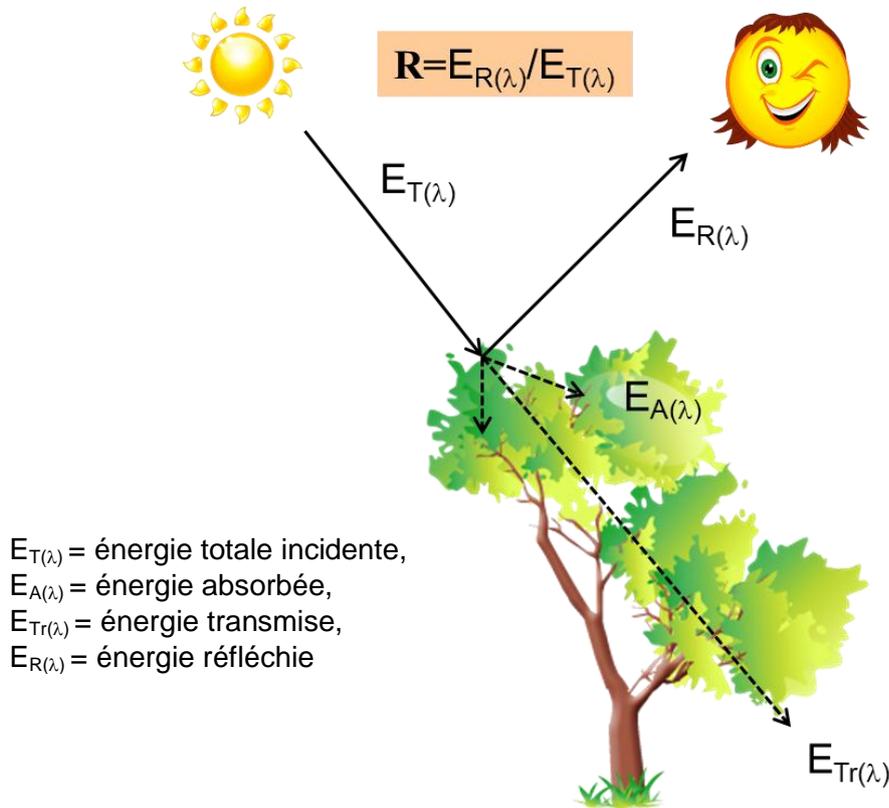


Figure 3 : Interaction des ondes électromagnétiques avec la surface terrestre.

Suivant le principe de la conservation d'énergie, la somme de l'énergie absorbée, réfléchiée et transmise est égale à l'énergie incidente (Équation 1) :

$$E_T(\lambda) = E_A(\lambda) + E_{Tr}(\lambda) + E_R(\lambda)$$

Équation 1 : Principe de la conservation de l'énergie électromagnétique.

On définit alors la réflectance R comme le rapport de l'énergie réfléchiée à l'énergie incidente (Équation 2). Elle varie de 0 à 1 ou de 0 à 100 % suivant l'unité choisie.

$$R = E_R(\lambda) / E_T(\lambda)$$

Équation 2 : Réflectance.

2.1.3. Notion de signature spectrale

La réflectance d'un objet de la surface terrestre dépend :

- de la longueur d'onde ;
- de la nature du matériau.

Si l'on dessine la courbe de la réflectance en fonction de la longueur d'onde $R = f(\lambda)$, on obtient la courbe de réflectance caractéristique de l'objet étudié. On parle alors de signature spectrale (Figure 4) spécifique d'un objet de la surface terrestre.

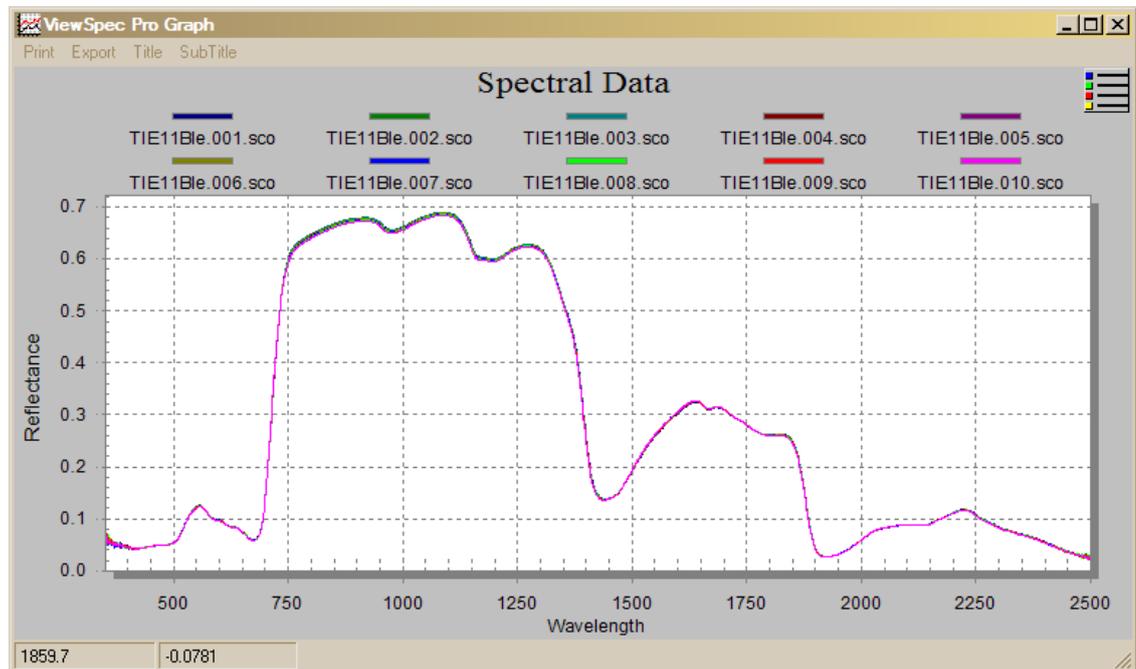


Figure 4 : Signature spectrale typique d'un végétal sain.

La signature spectrale des objets permet d'extraire les paramètres biogéochimiques et/ou minéralogiques des composants de la surface terrestre (Figure 5).

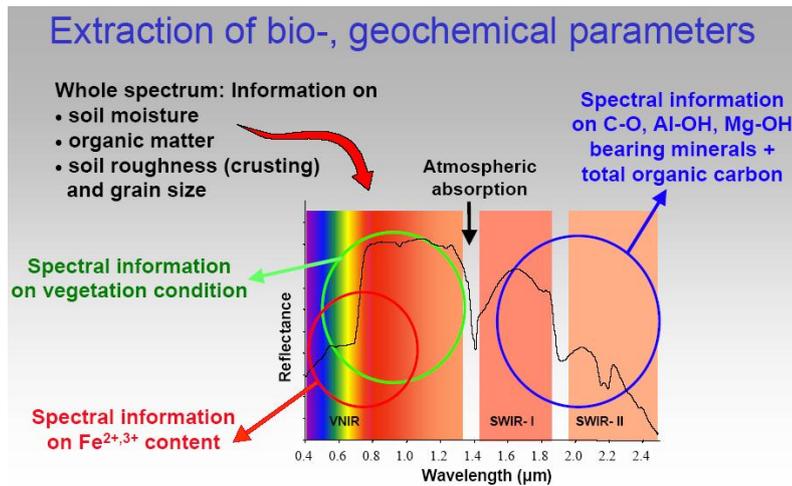


Figure 5 : Extraction des paramètres biogéochimiques de la surface terrestre, d'après leurs caractéristiques spectrales.

2.1.4. Potentiel de discrimination des minéraux

La Figure 6 met en évidence les capacités de discrimination des quelques minéraux caractéristiques d'après leur signature spectrale. Ces capacités permettent l'utilisation des signatures spectrales dans des applications aussi diverses que la cartographie géologique, la cartographie du régolithe, la cartographie des minéraux argileux (dont argiles gonflantes), la cartographie des minéraux du Drainage Minier Acide (DMA, application à l'environnement minier), les altérations hydrothermales, la cartographie des minéraux amiantifères, etc.

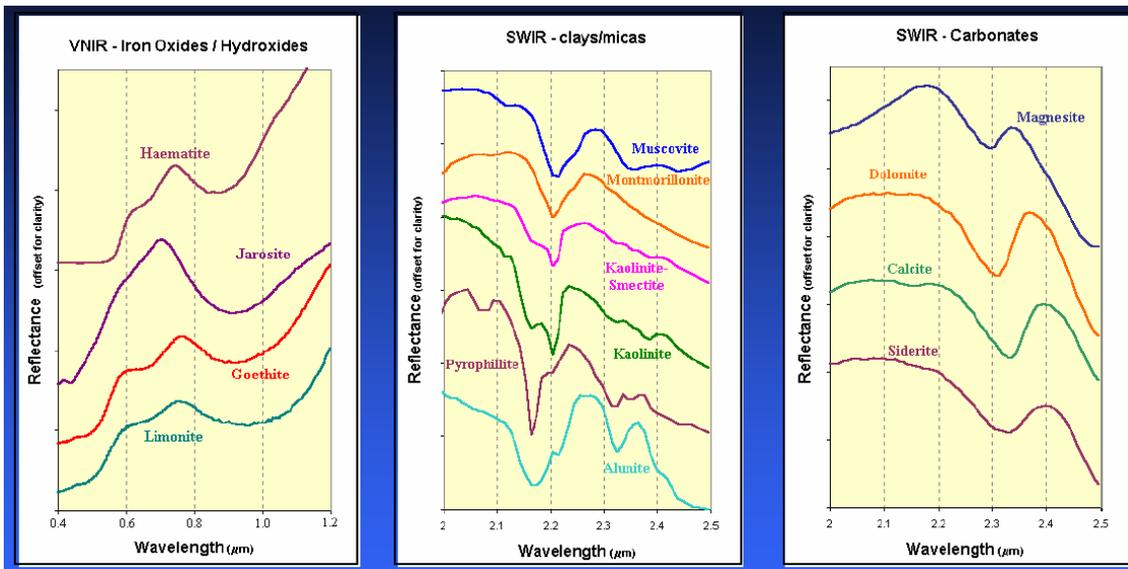


Figure 6 : Signature spectrale de quelques minéraux caractéristiques.

2.2. ACQUISITION DE DONNÉES

2.2.1. Méthodes d'acquisition

La Figure 7 met en évidence les différentes méthodes permettant l'acquisition de données de spectro-radiométrie.

Seule l'acquisition de données de spectro-radiométrie de terrain (méthode proximale) a été mise en œuvre dans le cadre de cette mission.

Cette acquisition a été effectuée à l'aide du spectro-radiomètre de terrain ASD (Analytical Spectral Device) FieldSpec3® du BRGM.

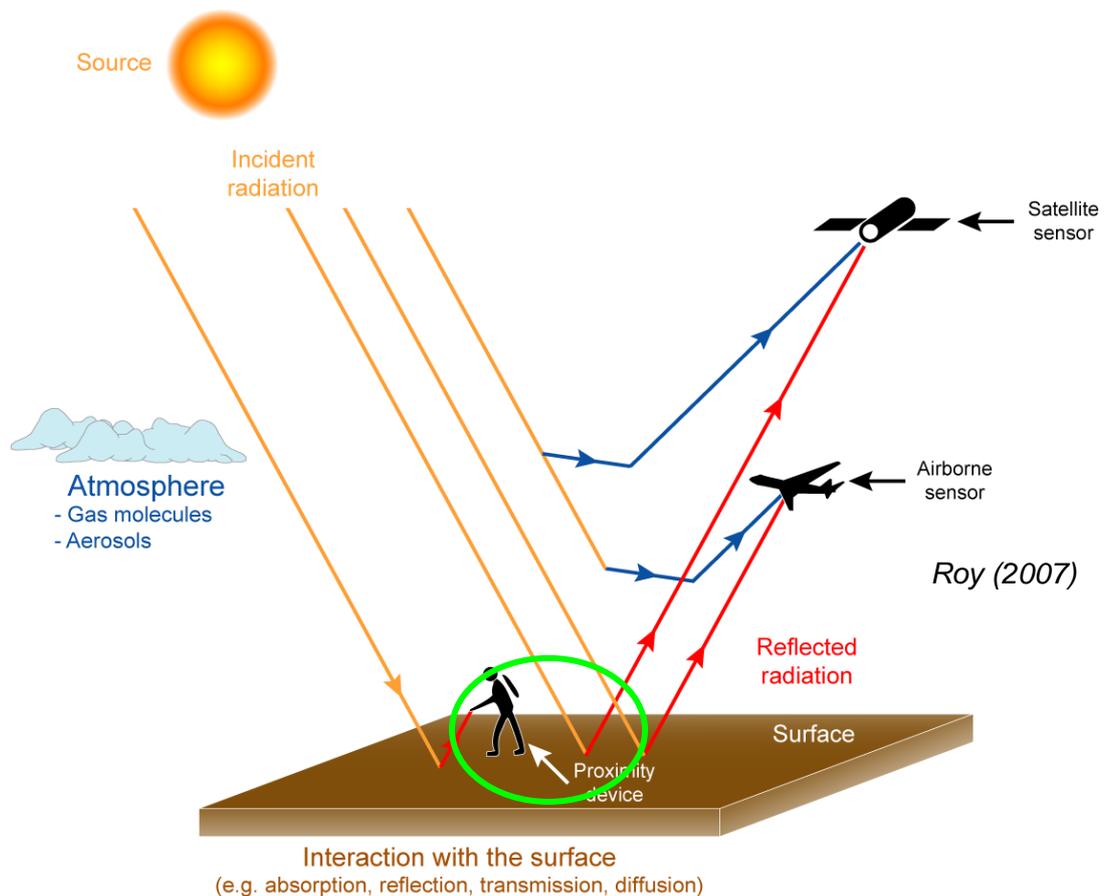


Figure 7 : Méthodes d'acquisition de spectro-radiométrie : proximale (terrain), aéroportée, satellitaire.

2.2.2. Caractéristiques du spectro-radiomètre ASD FieldSpec 3

L'appareil peut fonctionner en deux modes d'acquisition différents (Figure 8) :

- acquisition en illumination naturelle (source d'illumination = soleil), via une fibre optique ;
- acquisition en illumination artificielle (source d'illumination = lampe halogène), via une sonde de contact.

Gamme spectrale	0,35 – 2,50 μm
Résolution spectrale	3 to 10 nm
Nombre de bandes spectrales	2 150
Durée d'acquisition (en secondes)	1/10 s par spectre
Source	lampe halogène (spectromètre) Soleil (spectro-radiomètre)
Calibration	Automatique (référence Spectralon)
Surface analysée	
sonde de contact (in cm2)	1,76
Fibre optique (en m2) : 8°	0,06
25°	0,69

Tableau 1 : Caractéristiques du spectroradiomètre ASD FieldSpec 3®.



Figure 8 : Fibre optique et sonde de contact de l'ASD FieldSpec 3.

3. Spectroscopie de terrain

3.1. MÉTHODES ET PRINCIPES

La spectroscopie de terrain est une méthode de mesure *in situ* de la réflectance d'une cible, non destructive, permettant d'acquérir des spectres en temps réel.

On distingue (Figure 9) :

- la spectrométrie où la source d'illumination est artificielle (lampe halogène) ;
- la spectro-radiométrie où la source d'illumination est naturelle (soleil).



Figure 9 : Acquisition de spectres en illumination artificielle et illumination naturelle.

Les mesure de réflectance de terrain sont utiles pour :

- les calibrations (corrections atmosphériques) des images hyperspectrales ;
- le développement de bibliothèques spectrales de minéraux, échantillons et affleurements pour une meilleure compréhension de leur signature spectrale ;
- la caractérisation de la signature spectrale d'une cible pour la cartographier à partir d'image hyperspectrale.

3.2. PRINCIPE DE LA MESURE

Le spectro-radiomètre ASD FieldSpec 3® permet la mesure directe de la réflectance des cibles étudiées.

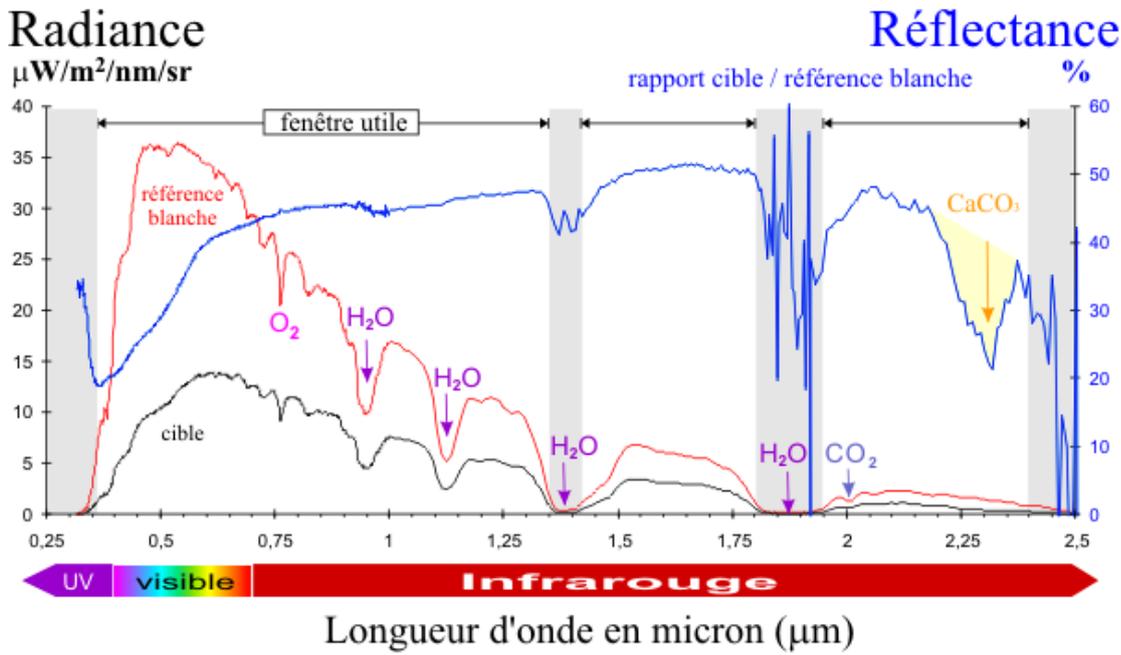


Figure 10 : Radiance et réflectance.

Le spectre de réflectance d'une cible (Figure 10) est acquis suivant les étapes suivantes :

- mesure du spectre du panneau de réflectance Spectralon® (réflectance blanche). Ce panneau est un réflecteur lambertien parfait¹ et ne présente aucune figure d'absorption entre 0,35 et 2,50 μm ;
- mesure du spectre de la cible étudiée.

Les deux spectres sont exprimés en luminance, ou radiance. Les deux mesures intègrent l'influence de l'atmosphère. La division de la luminance de la cible (L_{cible}) et la luminance de la référence blanche ($L_{\text{réf. blanche}}$) éliminent les effets atmosphériques et permet d'accéder au spectre de référence de la cible (Figure 11).

Une fois étalonné avec la référence blanche, le spectro-radiomètre effectue lui-même la division, permettant d'obtenir directement un spectre de réflectance (valeurs comprises entre 0 et 1 ou 0 et 100 %).

¹ Le Spectralon reflète plus de 99 % de la lumière solaire incidente entre 0,40 et 1,50 μm et plus de 95 % entre 1,50 et 2,50 μm.

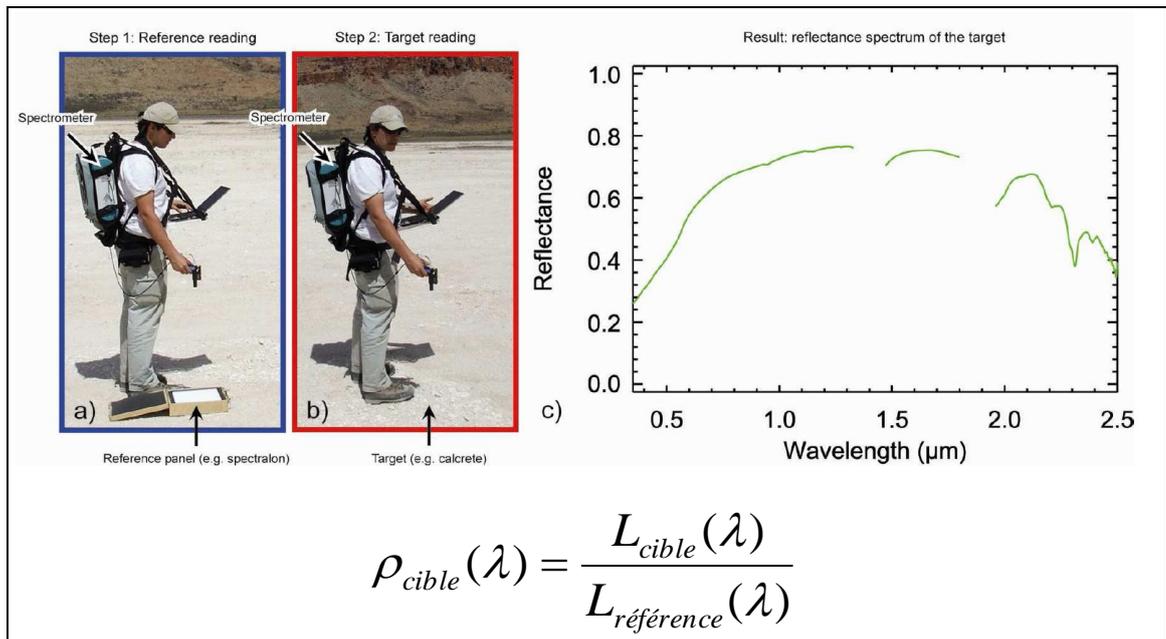


Figure 11 : Exemple d'une mesure de terrain effectuée avec le spectro-radiomètre FieldSpec3® : a) mesure référence blanche, b) mesure cible, c) spectre de réflectance de la cible.

3.3. PROTOCOLE DE MESURES APPLIQUÉ

3.3.1. Mesures de terrain en illumination naturelle

En toute rigueur, une mesure de référence blanche doit être effectuée avec chaque acquisition de spectre. Toutefois, si les conditions atmosphériques restent stables, une mesure de référence blanche toutes les 15 à 30 minutes est suffisante.

Cependant, compte tenu de l'extrême variabilité des conditions atmosphériques lors de la mission, quasiment chaque mesure de spectre a été précédée d'une mesure de la référence blanche.

Le spectromètre FieldSpec3® a été configuré pour effectuer automatiquement 10 mesures par spectre acquis, chaque spectre acquis représentant alors la moyenne de 10 spectres intégrés par le logiciel du spectromètre.

Pour chaque surface ou objet mesuré, 10 spectres sont acquis manuellement (numérotés de 1 à 10). On procède ensuite la moyenne de ces 10 spectres sous le logiciel ENVI.

Il en résulte donc que pour chaque point de mesure, un spectre moyen sera calculé qui représente la moyenne de 100 mesures au total.

Cette démarche permet de lisser les effets liés aux infimes perturbations atmosphériques et aux mouvements de l'opérateur qui peuvent intervenir au cours de la mesure.

Pour chaque point de mesure, les informations suivantes sont recueillies :

- coordonnées géographiques et cartographiques du point de mesure ;
- date et heure (locale) de la mesure ;
- mode de mesure (Fibre 25°, 8°, 1° ou sonde de contact) ;
- conditions météorologiques lors de la mesure ;
- brève description générale de l'objet mesuré ;
- n° des photos correspondantes (objet et son environnement) ;
- description détaillée ;
- heure de la dernière référence blanche.

3.3.2. Mesure par contact en illumination artificielle

Cette mesure peut être effectuée soit sur le terrain (sur affleurement), sur échantillon, carotte de sondage, ou en laboratoire.

Le principe et le protocole de mesure restent les mêmes, seule diffère la source d'illumination (lampe halogène).

On s'est donc attaché, pour chaque site étudié, à la caractérisation spectrale de chacun de ces niveaux, en vue d'obtenir une librairie spectrale représentative de l'ensemble du profil, soit de haut en bas :

- cuirasse ;
- latérite rouge ;
- latérite jaune ;
- saprolite ;
- roche mère.

5. Déroulement de la mission

5.1. CALENDRIER ET SITES VISITÉS

La mission s'est déroulée du 3 au 28 mai 2010 (Tableau 2). Les massifs miniers de Thiébaghi, Konianbo, Poro, Proni et Goro ont été visités et ont fait l'objet de mesures (Figure 13).

Date	Activités	météo	
		Matin	Après midi
03 - 04/05/2010	Vol Paris – Nouméa	NA	NA
05/05/2010	Visite au CNRT, à l'IRD, à la DIMENC Transfert Nouméa – Koumac par la route		
06/05/2010	Reconnaissance mine de Thiébaghi, zone « dome » échantillonnage, mesure spectres terrain		
07/05/2010	Reconnaissance et échantillonnage mine de Thiébaghi, zone « alpha », Spectres de labo		
08/05/2010	Mine de Thiébaghi, zone « dome » spectro terrain		
09/05/2010	Mine de Thiébaghi, zone « dome » et proximité mine Fantoche, spectro terrain Transfert Koumac – Koné		
10/05/2010	Matin : spectro terrain Oundjo Après-midi : induction mine de Konianbo KNS		
11/05/2010	Matin : spectro terrain mine de Konianbo, zone Pandanus Après-midi : spectro terrain mangrove		
12/05/2010	Matin : reconnaissance Konianbo, zone XXXX, problème logiciel, retour Nouméa pour réparation		
13/05/2010	Transfert Nouméa – Koné Spectres terrain et labo végétation Konianbo		
14/05/2010	Massif de Konianbo : Spectres terrain creek Pandemus et creek Coco. Transfert Koné - Bourail		
15/05/2010	Massif et mine de Poro, reconnaissance générale et quelques spectres terrain,		
16/05/2010	Massif de Poro, spectro terrain, végétation		
17/05/2010	Massif de Poro, spectro terrain, roches		
18/05/2010	Massif de Poro, retour vers Nouméa		
19/05/2010	Massif de Proni, reconnaissance générale, échantillonnage pour spectres contact		

20/05/2010	Travail de bureau, spectres Proni sur roches, points GPS, etc.		
21/05/2010	Essai terrain Proni, trop nuageux. Spectre contact sur échantillons Proni humides au bureau. Envoi pour séchage à l'étuve		
22/05/2010	Travail de compilation – rédaction		
23/05/2010	Travail de compilation – rédaction		
24/05/2010	Repos		
25/05/2010	Goro spectres labo		
26/05/2010	Goro spectre terrain et labo		
27/05/2010	Travail de compilation. Présentation à la DIMENC, en présence de l'IRD		
28/05/2010	Vol Nouméa - Paris	NA	NA

Tableau 2 : Déroulement de la mission.



Figure 13 : Carte des massifs visités.

Les figures et tableaux suivants montrent la localisation des points de mesure et les conditions de mesure à chacun de ces points.

5.2. MASSIF DE THIÉBAGHI

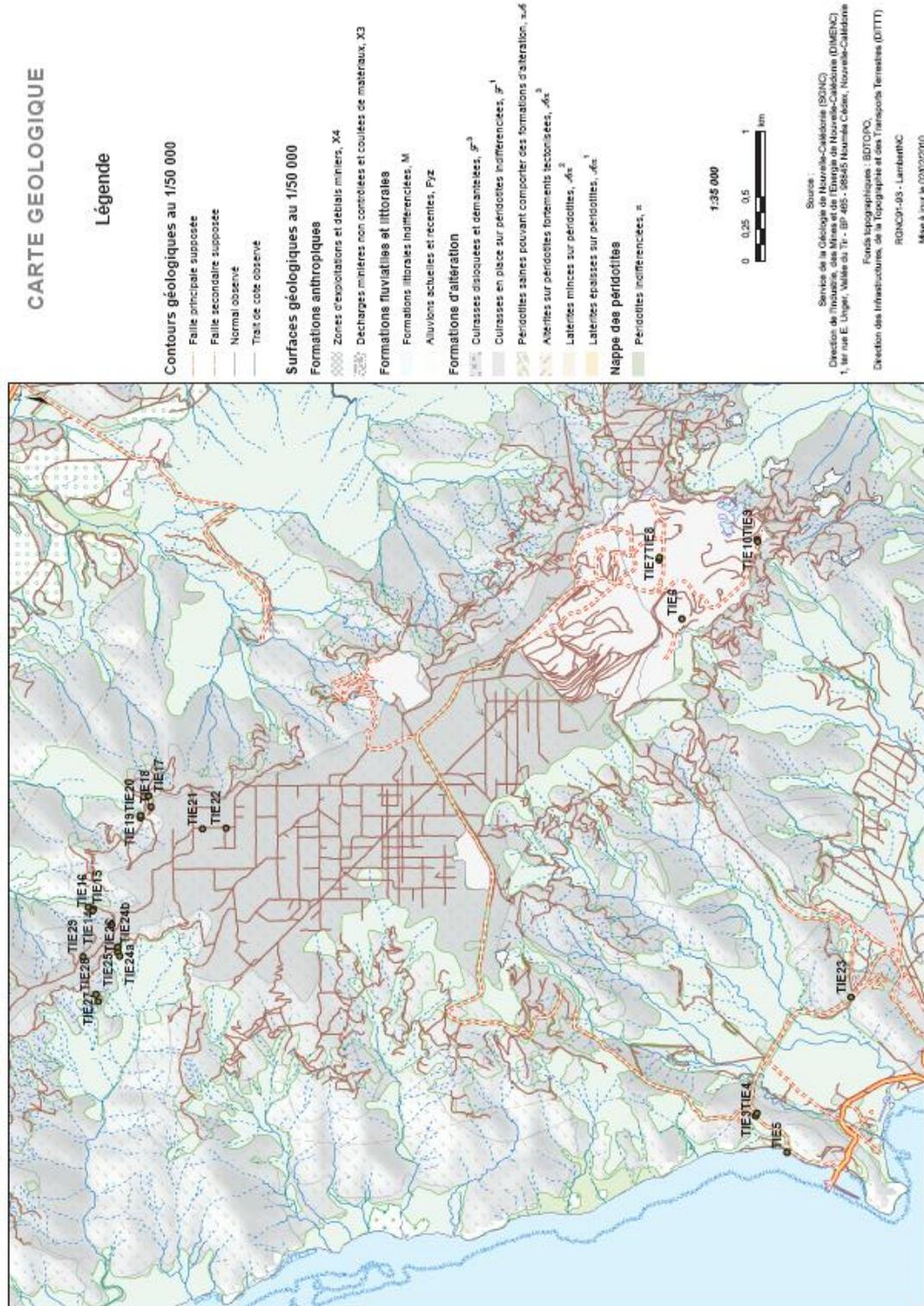


Figure 14 : Localisation des points de mesure, massif de Thiébaghi.

Spectro-radiométrie des latérites de Nouvelle-Calédonie

n° point	illumination	latitude DMS	longitude DMS	Y (m)	X (m)	date	heure	Mode	meteo	Site	description générale	photo mesure	photo environnement	description détail	dernière référence		
TIE1A						NA	NA	contact	NA	Thiéboghi	cuirasse à lichens						
TIE1B						NA	NA	contact	NA	Thiéboghi	cuirasse						
TIE1C						NA	NA	contact	NA	Thiéboghi	cuirasse surface fraîche						
TIE1D						NA	NA	contact	NA	Thiéboghi	cuirasse surface fraîche						
TIE2B							NA	NA	contact	NA	Thiéboghi	dunite patinée					
TIE2A							NA	NA	contact			chromite					
TIE3		-20.47873	164.18096			06-mai	11:10	fibre 25°	nuageux éclaircie	Thiéboghi	peridotite serpentinisée				11:08		
TIE4		-20.47883	164.18113				11:11	fibre 25°			Thiéboghi	serpentine					
TIE5		-20.4809	164.17821				11:48	fibre 25°			Thiéboghi	plâtrier				11:47	
TIE5B							11:49	fibre 25°			Thiéboghi	feuille					
TIE6																	
TIE6B		-20.47405	164.21779			07-mai		contact	NA	Thiéboghi	glaise	7973					
TIE7									contact	NA		argile noire			mo?		
TIE8		-20.4725	164.2222						contact	NA	Thiéboghi	dunite	7976	7974			
TIE9		-20.47255	164.2224						contact	NA	Thiéboghi	latérite jaune rouge	7977				
TIE10		-20.47931	164.22361						contact	NA	Thiéboghi	Gabbro kaolinisé	7979				
TIE10		-20.47934	164.22347						contact	NA	Thiéboghi	saprolite jaune moutarde	7980	7985_7982			
TIE11A		?	?			08-mai	09:52	fibre 25°	ciel voilé + nuages	Thiéboghi	?	7991					
TIE11B							09:53	fibre 25°				?	7992				
TIE11C							09:57	fibre 25°				?	7993			09:56	
TIE11D							09:57	fibre 25°				?	7994				
TIE11E							10:07	fibre 25°				?	7995			10:04	
TIE11F							10:12	fibre 25°				?	7996?			10:10	
TIE12A									10:26	fibre 25°	ciel voilé + nuages	Thiéboghi	cuirasse à lichens	7996	8002		10:25
TIE12B									10:27	fibre 25°			cuirasse noire	7997	8002		
TIE12C			-20.43429	164.19564					10:30	fibre 25°			cuirasse démantelée	7998		à pisolites rouges et noirs	10:29
TIE12D									10:33	fibre 25°			cuirasse festonnée	7999			10:33
TIE12E									10:35	fibre 25°			latérite indurée	8001		latérite indurée rouge sombre	
TIE13			-20.43304	164.19683					10:51	fibre 25°			latérite indurée				10:50
TIE14									10:56	fibre 25°			dunite saproliisée	8003			10:54
TIE14B			-20.4328	164.19695					11:12	fibre 25°			latérite indurée				
TIE14C									11:12	fibre 25°			latérite indurée jaune	8007			11:10
TIE14D									11:13	fibre 25°			harzburgite saproliisées	8004			
TIE15A			-20.43269	164.19696					11:18	fibre 25°			phillao	8006			11:16
TIE15B			-20.43301	164.19669					11:20	fibre 25°			herbe séchée	8005			
TIE16A									11:26	fibre 25°			latérite jaune				11:25
TIE16B									11:27	fibre 25°			latérite jaune	8008			
TIE17A									12:47	fibre 25°	ciel voilé		saprolite massif jaune	8029			12:45
TIE17B			-20.43697	164.20517					12:48	fibre 25°			cailloutis saprolite jaune	8031			
TIE17D									12:52	fibre 25°			latérite noire	8032			12:51
TIE17E									12:58	fibre 25°			latérite rouge	8033			12:56
TIE18			-20.43714	164.20433					13:04	fibre 25°			piste latérite	8028		pisolite rouges	13:02
TIE19			-20.43638	164.20355					13:22	fibre 25°			dunite	8024			13:21
TIE20			-20.43638	164.20368					13:27	fibre 25°			latérite rouge	8025	8027	pisolite rouges	13:26
TIE21			-20.44069	164.20266					14:09	fibre 25°			végétation maquis	8034 - 8035			14:08
TIE22A		-20.44233	164.20272				14:26	fibre 25°			naouli				14:25		
TIE22B							14:26	fibre 25°			feuille						
TIE23		-20.48544	164.18966				15:02	fibre 25°			gabbro	8037 - 8039					
TIE24		-20.43474	164.19402			09-mai	10:13	fibre 25°	ciel clair, cirrus		maquis	8054			10:11		
TIE24B			-20.4347	164.19397					10:15	fibre 25°			maquis	8055			
TIE24C									10:18	fibre 25°			maquis	8056			10:17
TIE25			-20.43474	164.1936					10:25	fibre 25°			cuirasse noire	8057			10:24
TIE26			-20.43487	164.19332					10:30	fibre 25°			harzburgite	8059			10:29
TIE27			-20.43333	164.18998					11:02	fibre 25°			latérite rouge	8071			11:01
TIE28									11:07	fibre 25°			saprolite	8066		saprolite à garniérite	11:06
TIE28B			-20.43316	164.19048					11:11	fibre 25°			oxydes Mn et Co	8068			11:10
TIE28C									11:12	fibre 25°			cuirasse	8069			
TIE29			-20.43231	164.19331					12:11	fibre 25°	ciel voilé		pisolites noirs				12:10

Tableau 3 : Points et conditions de mesure massif de Thiéboghi.

5.3. MASSIF DE KONIANBO

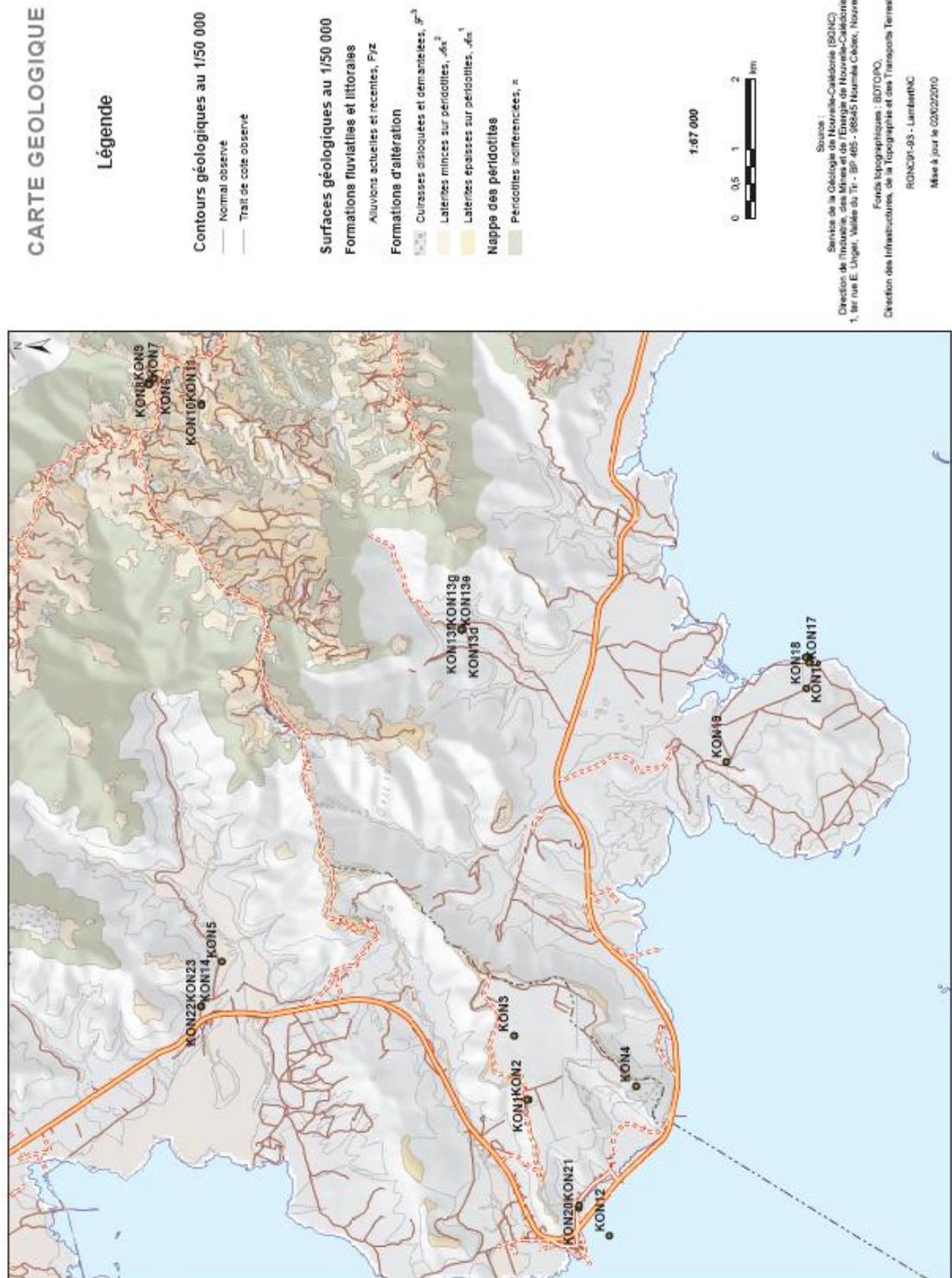


Figure 15 : Localisation des points de mesure, massif de Konianbo.

Spectro-radiométrie des latérites de Nouvelle-Calédonie

n° point	illumination	latitude DMS	longitude DMS	Y (m)	X (m)	date	heure	Mode	meteo	Site	description générale	photo mesure	photo environnement	description détail	dernière référence						
KON1		-21 02 09.6	164 43 02.4			10-mai	10:26	fibre 25°	voile nuageux		laterite rouge et pisolites	102-3391			10:25						
KON2		-21 02 08.8	164 43 02.3				10:38	fibre 25°		fougères grises	103-3392					10:37					
KON3		-21 02 03.2	164 43 34.3				10:52	fibre 25°		piste laterite indurée	103-3393						10:51				
KON3B							10:54	fibre 25°		fougères grises	103-3394										
KON4A		-21 02 59.6	164 43 08.7				11:38	fibre 25°		laterite rouge indurée	103-3395						11:37				
KON4B							11:39	fibre 25°		saprolite	103-3396										
KON4C							11:40	fibre 25°		cuirasse	103-3397	103-3398, 3399									
KON5		-20 59 47.6	164 44 12.5				13:07	fibre 25°		serpentine semelle	103-3400						13:06				
KON5B							13:08	fibre 25°		antigorite fibre	103-3401										
KON6			-20 59 18.5	164 49 03.5				11-mai		10:00	fibre 1°			garniérite mince	103-3402			09:59			
KON6B										10:07	fibre 1°	duwellite et garniérite	103-3403							10:06	
KON6C										10:11	fibre 1°	antigorite et silice	103-3404						supergène	10:10	
KON7					-20 59 15.9		164 49 01.8					10:24	fibre 25°	piste a saprolite	103-3405						10:23
KON7B												10:25	fibre 25°	harzburgite saprolitisée	103-3406						
KON8	-20 59 -16.4				164 49 00.8				10:33	fibre 25°	serpentine et garniérite	103-3407						10:32			
KON9	-20 59 15.9				164 49 00.4				10:36	fibre 25°	serpentine et garniérite	103-3408						10:34			
KON10	-20 59 40.4				164 48 50.7				10:55	fibre 25°	surface letérite rouge	103-3409						10:54			
KON10B									10:56	fibre 25°	surface letérite rouge	103-3410									
KON11					-20 59 40.3	164 48 49.9				13-mai	11:09	fibre 25°			fougère verte	103-3411			11:10?		
KON11B				11:10			fibre 25°	fougère sèche	103-3412												
KON12				13:18			fibre 25°	mangrove palétuvier	103-3413								13:17				
KON12B		-21 02 46.7	164 41 54.3					13:19	fibre 25°		mangrove palétuvier	103-3414					feuille				
KON12C								13:25	fibre 25°		mangrove palétuvier	103-3415						bois			
KON13		-21 02 53.9	164 42 03.1					13:37	fibre 25°		bois à palétuvier	103-3416						13:36			
KON14		-20,99389	164,73065					13:02	fibre 25°		filao	8079-8080						13:01			
39a			-20,98095	164,72049					13-mai			contact	NA		?	8081-8081B					
39b											contact	NA		?	8082-8082B						
39c											contact	NA		?	8083-8083B						
39d											contact	NA		?	8084-8084B						
40a	-20,99367				164,72943						contact	NA			aloes						
40b											contact	NA				eucalyptus					
52a	-21,03695				164,70744						contact	NA			?	8097					
52b											contact	NA				?	8098				
52c											contact	NA					mimosa	8099			
52d											contact	NA					niaouli	8100			
53a						-21,03533	164,71888						contact	NA				fougère verte			
53b													contact	NA					fougère sèche		
56	-21,03205				164,72089						contact	NA			faux mimosa	8092					
8101	?				?						contact	NA			liane	8101					
11	-21,01581	164,79698			14-mai			contact	NA			harzburgite	SC 5015								
12			-21,02022	164,78827				contact	NA					harzburgite							
13a		-21,02797	164,78259			14-mai	11:06	fibre 25°	faiblement nuageux		laterite jaune				11:05						
13b		-21,0279	164,78261				11:07	fibre 25°		vegetal	8120, 8121										
13c		-21,02793	164,78258				11:08	fibre 25°		vegetal	8123, 8124										
13d		-21,02798	164,78259				11:10	fibre 25°		vegetal											
13e		-21,02796	164,7825				11:12	fibre 25°		vegetal	8125, 8126										
13f		-21,02783	164,78251				11:14	fibre 25°		vegetal											
13g		-21,02781	164,78253				11:23	fibre 25°		vegetal	8127, 8128										
13h		?	?				11:25	fibre 25°		vegetal											
13i		?	?				11:26	fibre 25°		laterite jaune											
13j		?	?				11:30	fibre 25°		roche saprolitisée											
14		-21,07271	164,77827				12:38	fibre 25°		burqueira							12:37				
15		-21,07245	164,7782				12:40	fibre 25°		burqueira	8131, 8132										
16		-21,07219	164,77833				12:42	fibre 25°		ryzophora											
17		-21,07266	164,77753				13:03	fibre 25°		faux mimosa	8133, 8134, 8136, 8137						13:02				
18a	-21,07227	164,77402			14:02	fibre 25°	terre noire	8141						14:01							
18b					14:02	fibre 25°	herbe sèche	8139													
18c					14:04	fibre 25°	bois sec	8142													
19			-21,06188	164,76388			14:34	fibre 25°	herbe sèche						14:33						
20a			-21,04238	164,70225			14:50	fibre 25°	tanne salée	8147					14:49						
20b							14:51	fibre 25°	d'												
21	-21,04242	164,70265			14:55	fibre 25°	liane orangée	8145 - 8146						14:54							
22	-20,9939	164,73064			15:17	fibre 25°	filao							15:16							
23	-20,99379	164,73064			15:19	fibre 25°	surface alluviale	8148													

Tableau 4 : Points et conditions de mesure massif de Konianbo.

5.4. MASSIF DE PORO

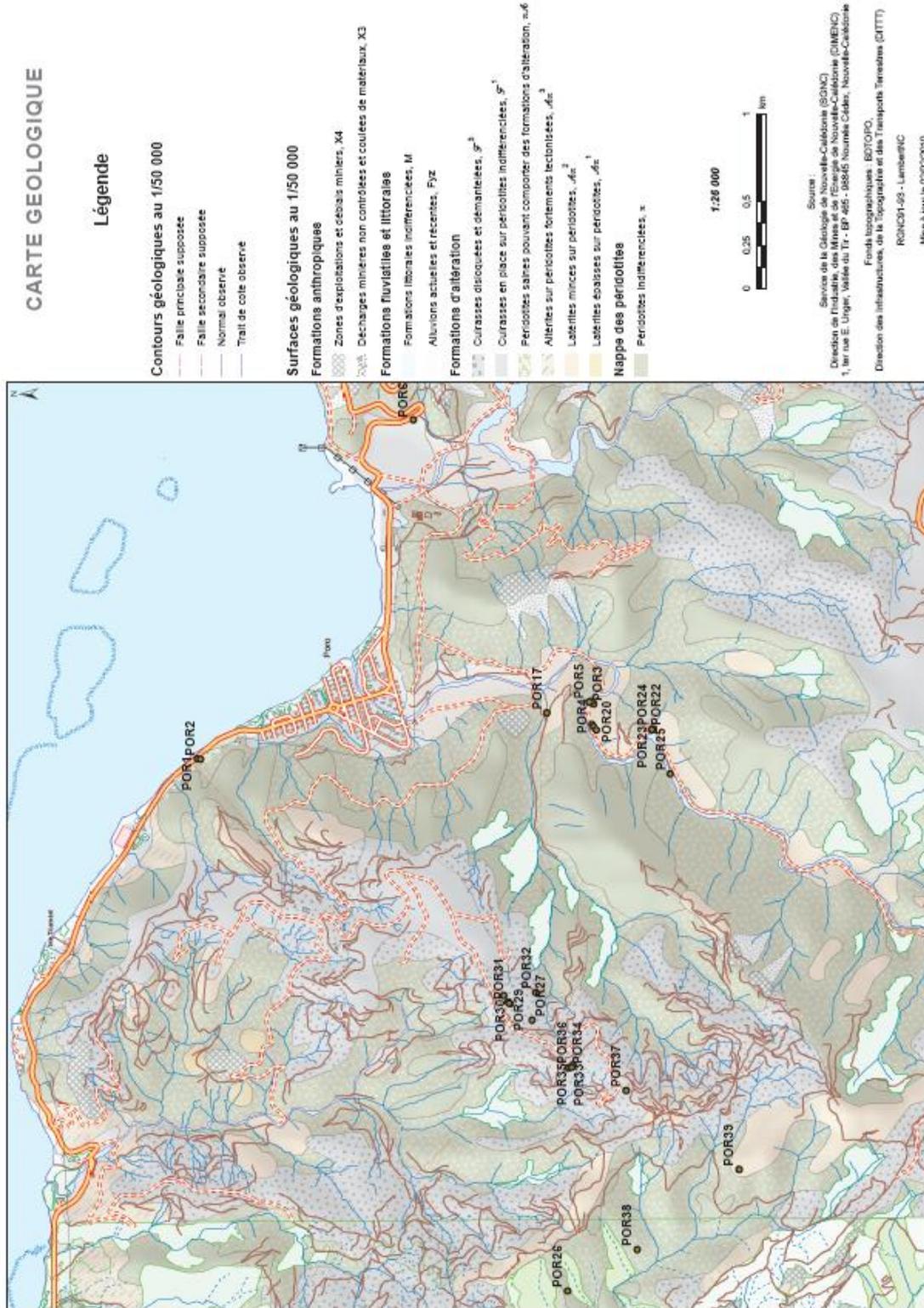


Figure 16 : Localisation des points de mesure, massif de Poro.

Spectro-radiométrie des latérites de Nouvelle-Calédonie

n° point	illumination	latitude DMS	longitude DMS	Y (m)	X (m)	date	heure	Mode	meteo	Site	description générale	photo mesure	photo environnement	description détail	dernière référence	
POR1		-21,29438	165,7068			15-mai	10:48	fibre 25°	nuageux rares éclaircies	Poro	arbre à feuilles vernissées	8149 - 8150			10:47	
POR2		-21,29452	165,70678				10:51					bourao	8152			
POR3		-21,3147	165,70977				12:05					laterite jaune et rouge	8163			12:04
POR4		-21,31462	165,70994				12:10					serpentinite saproliitisée	8164			12:09
POR5		-21,31445	165,70988				12:16					végétal inflorescence	8161			12:15
POR5b							12:17					d° feuille	8162			
POR6		-21,30547	165,72545				15:14					roseaux	8177 - 8178			15:13
roseaux						16-mai	09:46					roseaux			feuille	09:45
roseaux2		-21,42859?	165,45812?				09:48					roseaux			touffe	
POR7		?	?				10:52					manguier				10:51
POR8		?	?				10:55				?	8201				
POR9		?	?				11:07				arbre à "pommes"	8202			11:06	
POR10		?	?				11:18				?	8203	8204		11:17	
POR11		?	?				11:18				?	8205	8204			
POR12		?	?				11:33				?	8206			11:32	
POR13		?	?				11:39				?	8207				
POR14		?	?				11:40				?	8208 - 8209			11:38	
POR15		?	?				11:42				?	8210 - 8211				
POR16		?	?				11:44				?	8212 - 8213				
POR17		-21,3123	165,7093				12:08				?	8214 - 8215			12:07	
POR18		-21,31459	165,70868				12:28				laterite rouge	8218			12:27	
POR19		-21,31468	165,70854				12:29				piscolites	8217				
POR20		-21,31481	165,70836				12:32				cuirasse demantelée	8216			12:31	
POR21		-21,31776	165,70838				12:51				opale?	8221			12:50	
POR22		d°	d°				12:53				dunite	8222				
POR23		-21,31766	165,70837				12:54				veg	8223 - 8224				
POR24		d°					13:11				dunite	SC 4994			13:10	
POR25		-21,31861	165,70592				13:12				opale?	SC 4995				
garnierite						16-mai		contact	NA		garnierite	5016				
veg1									NA		veg	5017				
veg2									NA		veg	5018				
veg3									NA		veg	5019				
veg4									NA		veg	5020				
veg5									NA		veg	5021				
veg6									NA		veg	5022				
POR26							10:11	fibre 25°			garnierite	3425		front de taille	10:10	
POR26B		-21 18 47.8	165 41 -21.2				10:11				garnierite et saprolite	3426		au sol		
POR26C							10:13				garnierite et saprolite	3427		au sol		
POR27							10:48				laterite et saprolite	3428		au sol régalié	10:47	
POR27b		-21 18 41.4	165 41 32.5				10:49				laterite et saprolite	3429		au sol régalié		
POR28							11:02				latérite à chromite	3430		au sol	11:01	
POR29		-21 18 36.2	165 41 37.4				11:04				saprolite	3431		au sol		
POR30		-21 18 37.0	165 41 36.2				11:07				latérite à chromite	3432			11:06	
POR31		-21 18 37.4	165 41 35.8				11:08				saprolite	3433				
POR32		-21 18 37.2	165 41 35.9				11:08				minerai pain d'épice	3434			11:30	
POR33		-21 18 42.1	165 41 38.0				11:31				harzburgite	3435		tas au sol	11:49	
POR34		-21 18 48.1	165 41 23.1				11:50				dunite fraiche	3436		front de taille		
POR35		-21 18 48.1	165 41 23.1				11:51				garnierite et saprolite	3437		au sol		
POR36		-21 18 48.9	165 41 23.5				11:53				harzburgite	3438		tas au sol		
POR37		-21 18 48.7	165 41 23.2				12:08				cuirasse	3439		démantelée	12:07	
POR37B		-21 18 58.7	165 41 18.5				12:09				piscolites	3440		surface au sol		
POR32		?	?					contact	NA		minerai pain d'épice					
POR38		-21 19 00.7	165 40 46.9						NA		cuirasse	3 441				
POR39		-21 19 19.5	165 41 02.8						NA		saprolite serpentinisée	3442				

Tableau 5 : Points et conditions de mesure massif de Poro.

5.5. MASSIF DE PRONI

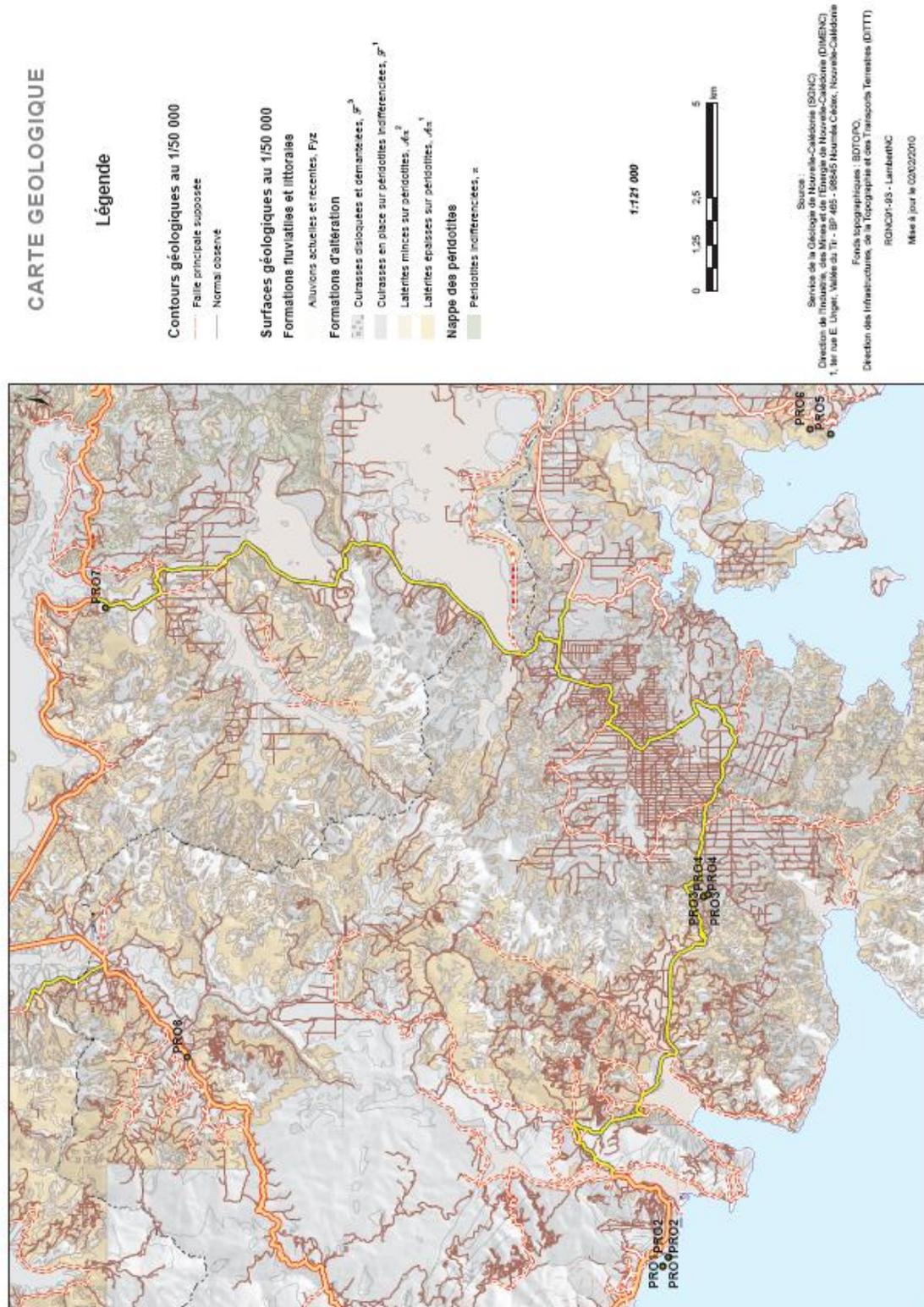


Figure 17 : Localisation des points de mesure, massif de Proni.

n° point	illumination	latitude DMS	longitude DMS	Y (m)	X (m)	date	heure	Mode	meteo	Site	description générale	photo mesure	photo environnement	description détail	dernière référence
PRO1		-22 18 10.1	166 39 57.0			19-mai		contact	NA		gabbro filonien très altéré				
PRO2		-22 18 15.2	166 40 05.5						NA		gabbro filonien très altéré				
PRO3									NA		latérite rouge indurée				
PRO3B		-22 18 43.8	166 45 41.5						NA		cuirasse				
PRO3C									NA		cuirasse				
PRO4a									NA		harzburgite patinée	3445			
PRO4a2		-22 18 47.6	166 45 43.6						NA		harzburgite cassure fraîche				
PRO5a									NA		gabbro cumulat patiné	3446 - 3447			
PRO5a2		-22 -20 30.7	166 52 53.3						NA		gabbro cumulat cassure fraîche				
PRO6A		-22 -20 13.1	166 52 57.7						NA		gabbro argileux vesiculaire	3448 - 3449			
PRO6B									NA		gabbro argileux lie de vin				
PRO7A									NA		latérite jaune	3450 - 3451			
PRO7B									NA		latérite rouge				
PRO7C		-22 10 08.2	166 50 08.1						NA		cuirasse à festons ferrugineux				
PRO7D									NA		cuirasse massive				
PRO8		-22 11 -20.5	166 43 09.8						NA		sédiments rouges	3452		fluvio lacustre	

Tableau 6 : Points et conditions de mesure massif de Proni.

5.6. MASSIF DE GORO

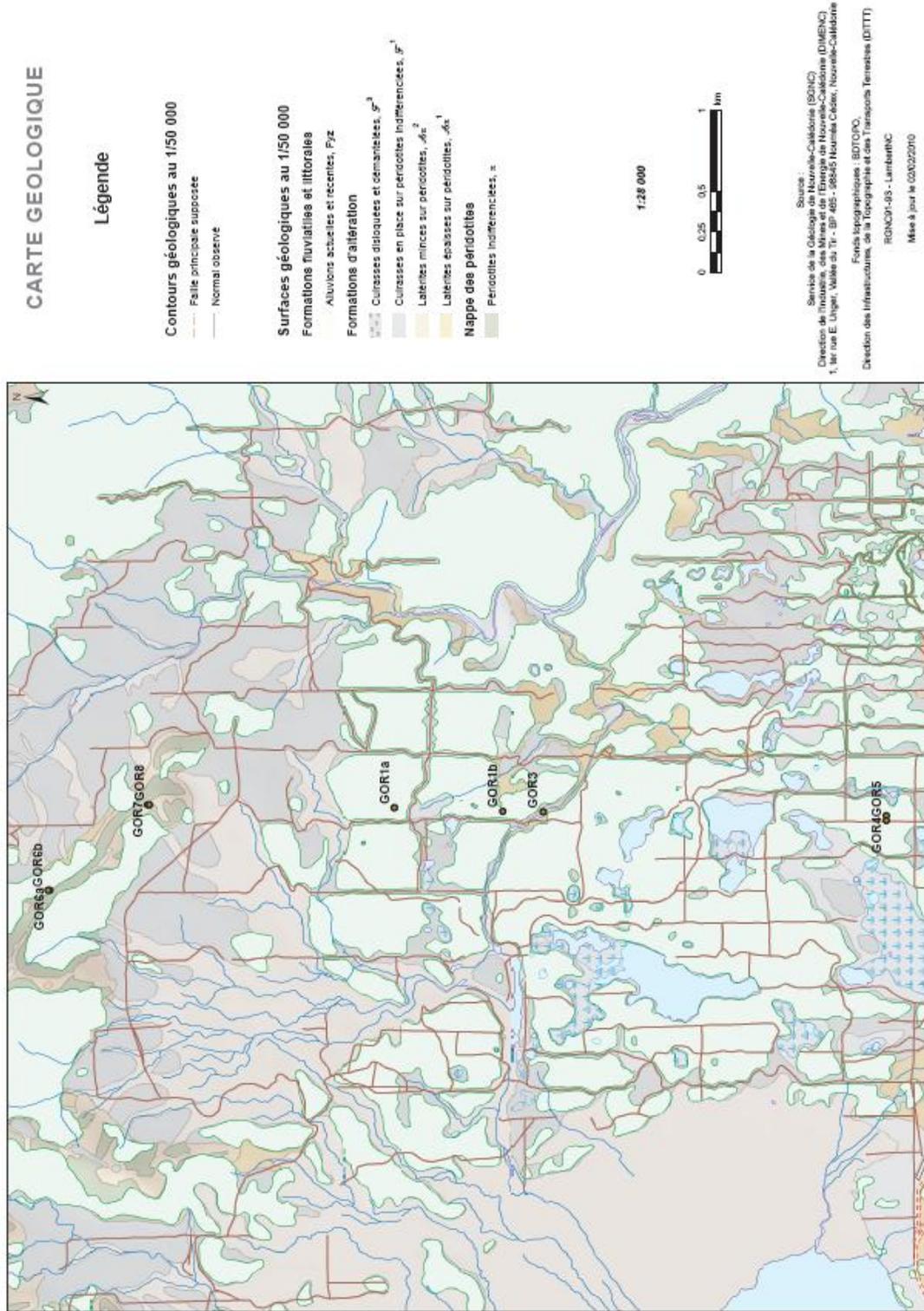
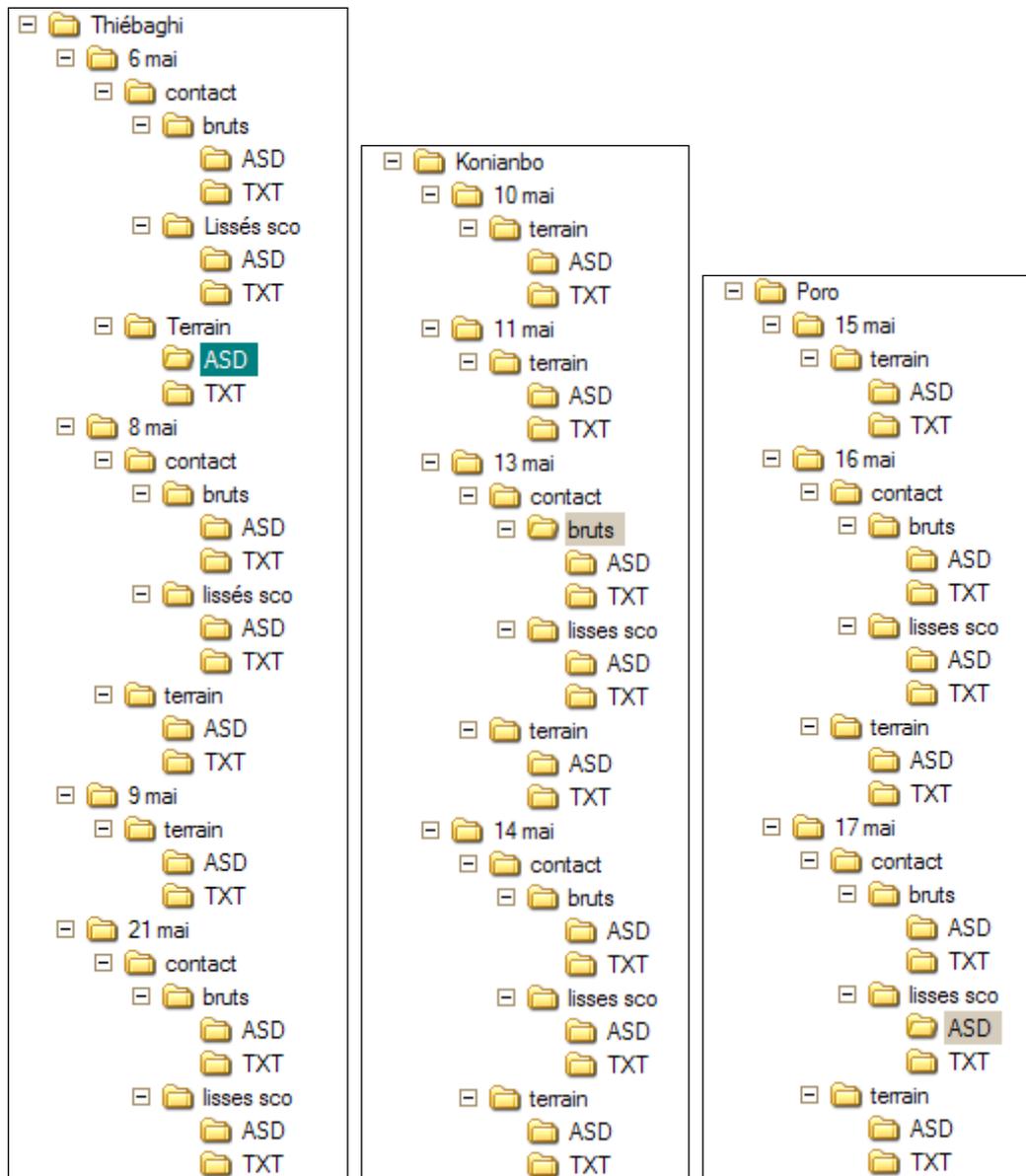


Figure 18 : Localisation des points de mesure, massif de Goro.

n° point	illumination	latitude DMS	longitude DMS	Y (m)	X (m)	date	heure	Mode	meteo	Site	description générale	photo mesure	photo environnement	description détail	dernière référence
GOR1A						25-mai	NA	contact			cuirasse noire a surface patinée				
GOR1B							NA				cuirasse noire a surface fraiche				
GOR2							NA				sepiolite				
GOR3							NA								
GOR4A						26-mai	09:40	fibre 25°	nuageux à éclaircies		végétation	8229-8230			09:39
GOR4B							09:45				végétation	8231-8232			09:44
GOR4C							09:46				cuirasse noire démantelée				
GOR5A							09:48				végétation	8234 -8235			09:47
GOR5B							09:49				végétation	8236			
GOR5C							09:50				cuirasse rouge festonnée				
GOR6							11:36				silice blanche	8247-8248			11:35
GOR6B							11:44				cuirasse				
GOR7							12:46								
GOR8							NA	contact			serpentinite	8254			

Tableau 7 : Points et conditions de mesure massif de Goro.

6. Structuration de la base de données avant traitement des spectres



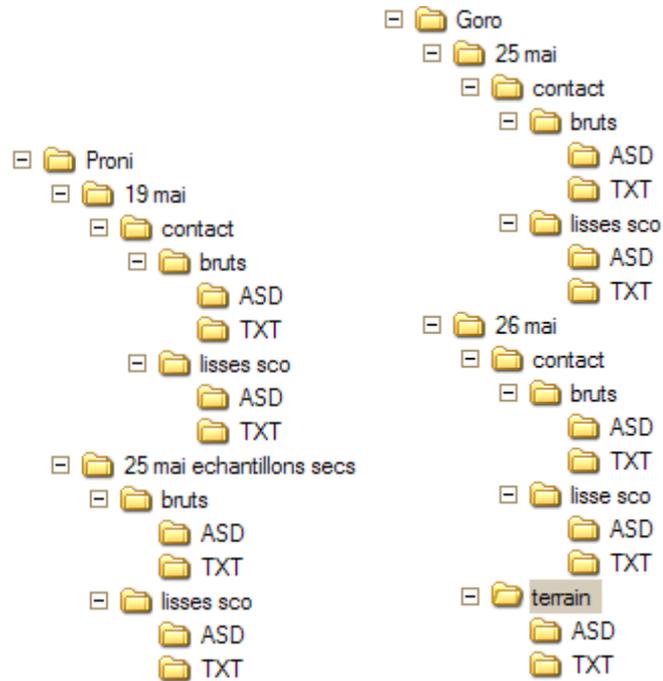


Figure 19 : Structuration de la base de données spectrales à l'issue de la mission.

Les spectres sont tous situés dans le sous-répertoire « spectres ». La structuration de la base de données est présentée en Figure 19.

La hiérarchisation, à l'intérieur du répertoire « spectres », est faite suivant les niveaux suivants :

- Niveau 1 : site (Thiébaghi, Konianbo, Poro, Proni, Goro)
 - Niveau 2 : date d'acquisition des spectres
 - Niveau 3 : mode d'acquisition : spectres terrain (illumination naturelle) ou par contact (illumination artificielle)
 - Niveau 4 (spectres contacts uniquement) : spectres bruts et spectres lissés des sauts dus aux changements de capteurs internes à l'ASD
 - Niveau 5 : spectres ASD (lisibles sous ENVI) et export ASCII en fichiers .TXT

7. Éléments d'interprétation des spectres de terrain

Les spectres de réflectance acquis lors de la mission ont fait l'objet de divers traitements pour utilisation ultérieure avec les logiciels de traitement d'images et de spectres, à des fins d'analyse spectrale.

7.1. TRAITEMENT DES SPECTRES

Pour chaque point de mesure, les 10 spectres acquis (cf. 3.3.1.) ont été moyennés afin de lisser les effets liés aux infimes perturbations atmosphériques et aux mouvements de l'opérateur qui peuvent intervenir au cours de la mesure.

Chaque spectre ainsi moyenné a ensuite été renseigné, indiquant le numéro du point de mesure et la nature lithologique correspondante.

Les spectres acquis en lumière naturelle ont ensuite été nettoyés des perturbations liées aux fenêtres atmosphériques (Figure 20).

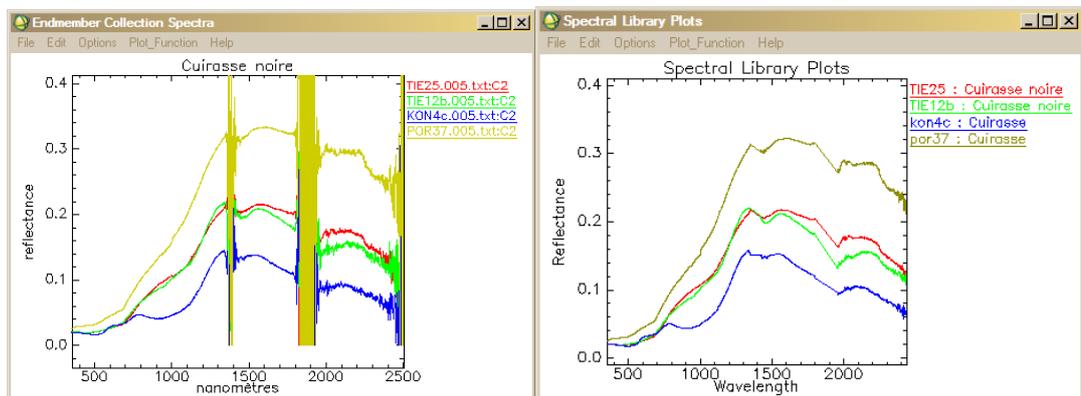


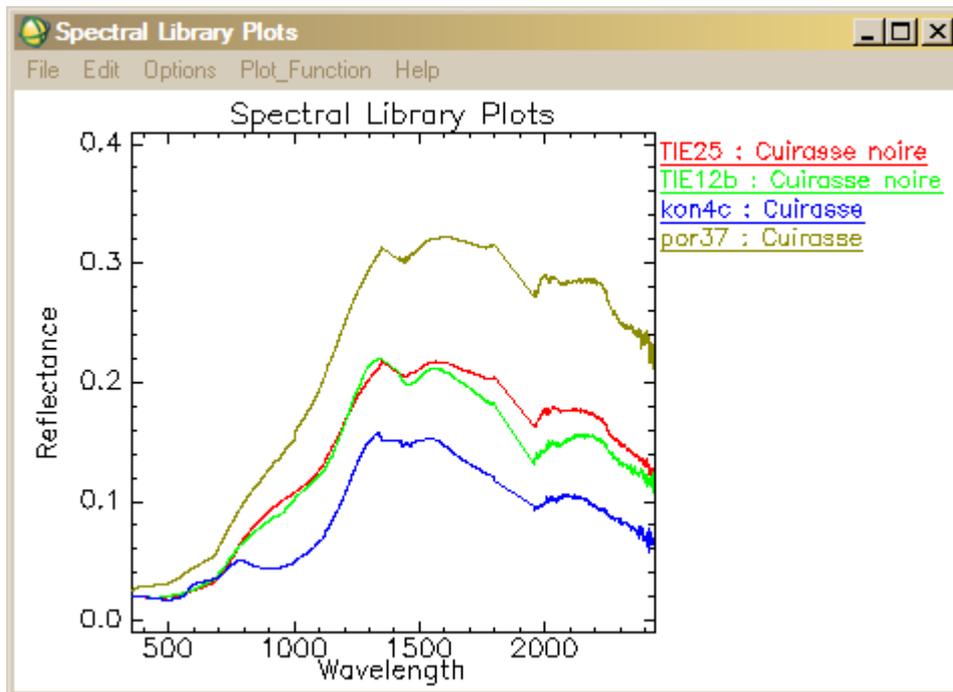
Figure 20 : Spectres de cuirasse des massifs de Thiébaghi, Konianbo et Poro, avant et après élimination des perturbations atmosphériques.

7.2. ANALYSE SPECTRALE DES PRINCIPALES LITHOLOGIES

7.2.1. Spectres de cuirasse

Des spectres représentatifs des cuirasses des massifs de Thiébaghi, Konianbo et Poro sont présentés en Figure 21.

Ils présentent généralement une faible réflectance (< 0,4). Les valeurs de réflectance apparaissent croissantes dans le NIR, stables ou décroissantes dans le SWIR1, et décroissantes dans le SWIR2. On note fréquemment des figures caractéristiques des oxydes de fer lorsque la cuirasse est démantelée (pas figuré ici).



KON4C

TIE12b

TIE25

POR37

Figure 21 : Spectres de cuirasses des massifs de Thiébaghi, Konianbo et Poro.

Il n'y a pas de différence spectrale notable entre les massifs.

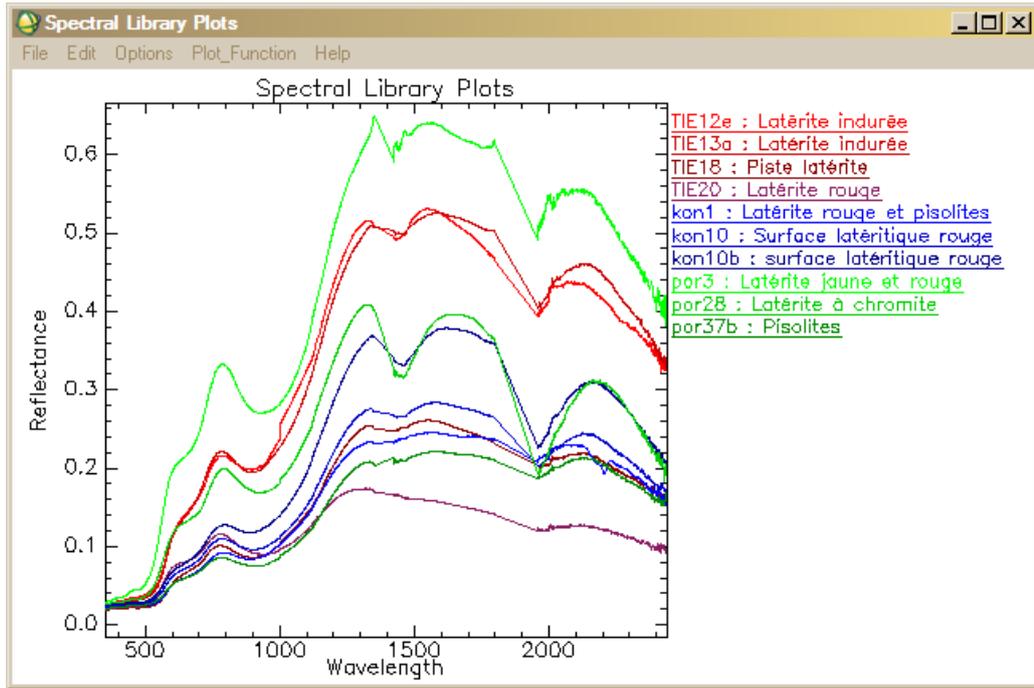
7.2.2. Spectres de latérite

Des spectres représentatifs des latérites rouges des massifs de Thiébaghi, Koniabo, Poro et Proni sont présentés en Figure 22.

Les spectres sont caractéristiques des oxydes de fer.

Les latérites rouges présentent une forte réflectance vers 760-780 nm, proche mais décalée par rapport à la goethite (792 nm). On note peu de figures d'absorption originales, si ce n'est une absorption vers 1 450 nm pour certaines et une figure à 2 220-2 211 nm pour le seul spectre KON1 (qui suggère la présence de palygorskite ou d'illite).

Là encore, il n'y a pas de différence spectrale notable entre les massifs.



POR3

KON1

TIE12e

Figure 22 : Spectres de latérite rouge des massifs de Thiébaghi, Konianbo, Poro et Proni.

7.2.3. Comparaison des spectres de latérite rouge et latérite jaune

Cette comparaison est présentée en Figure 23, sur le massif de Proni pour les échantillons PRO7a (latérite jaune) et PRO7b (latérite rouge), humides puis après séchage.

Les spectres ont la même forme générale, avec une réflectance marquée vers 775 nm, qui suggère la présence de limonite. À noter la forte baisse de réflectance dans le SWIR sur les échantillons humides.

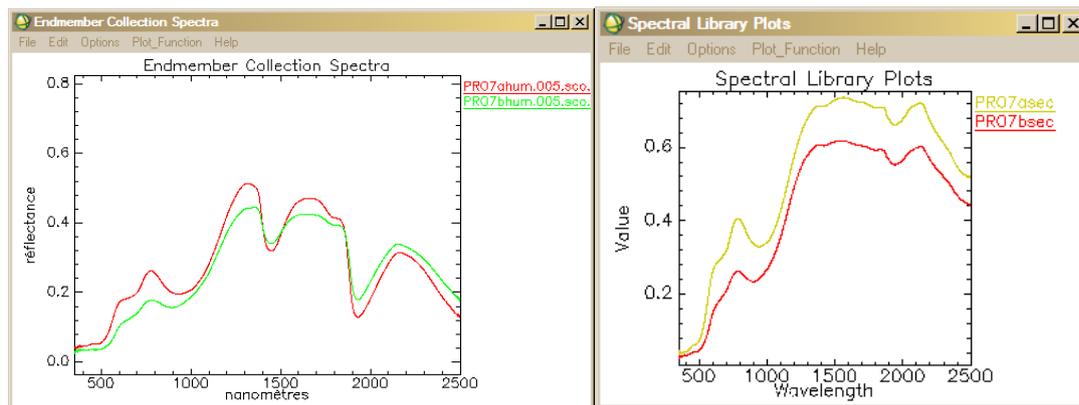


Figure 23 : Comparaison latérite rouge et latérite jaune, massif de Proni.

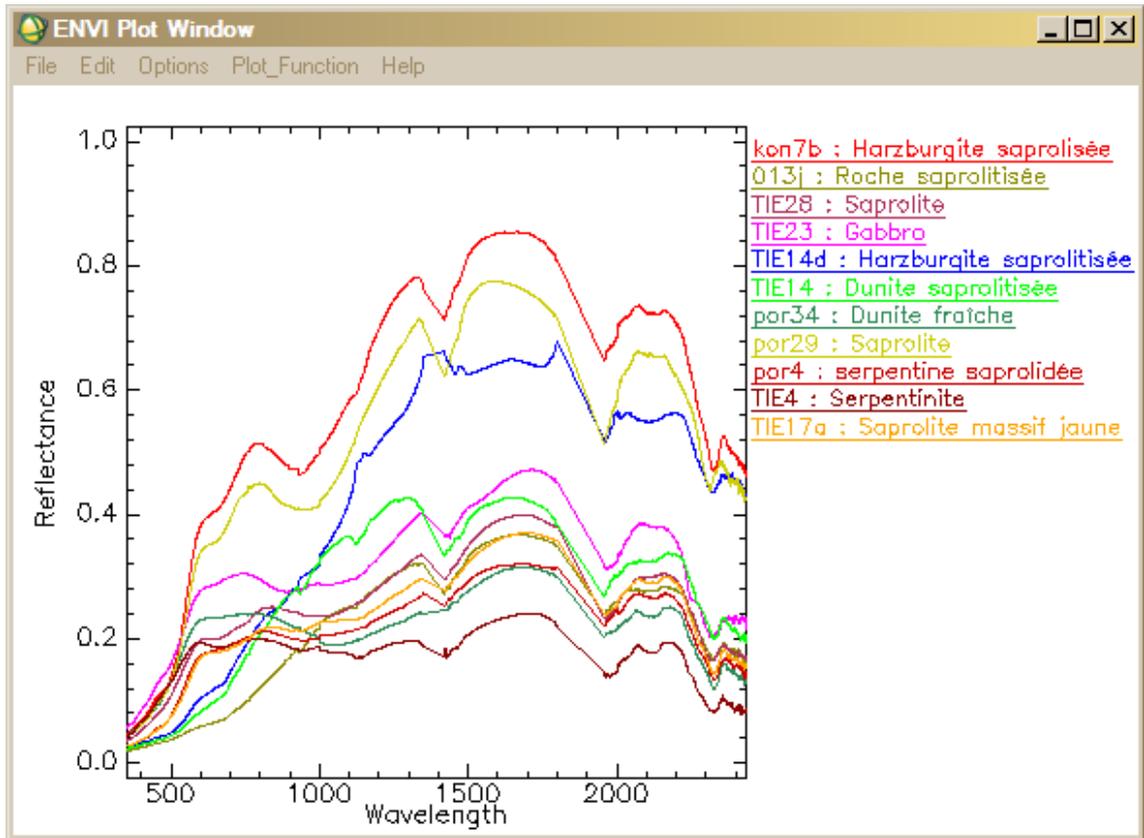
7.2.4. Spectres de saprolite

Des spectres représentatifs de saprolites des massifs de Thiébaghi, Konianbo et Poro sont présentés en Figure 24.

Les spectres présentent les absorptions caractéristiques de serpentinites, à 2 115, 2 135 et 2 325 nm. On note également les figures spectrales des oxydes de fer dans le visible proche infrarouge, ainsi que l'influence possible de la garniérine, marqué par des inflexions vers 530 et 850 nm (échantillon TIE28).

7.2.5. Spectres de saprolite à garniérine

Les spectres de la Figure 25 présentent les figures spectrales caractéristiques de la garniérine avec deux absorptions à 660 et 740 nm et une large et profonde absorption vers 1 110 nm, particulièrement marquée sur le spectre KON9 (correspondant également à deux fortes réflectances à 538 et 857 nm). On note également les figures typiques des serpentinites avec des absorptions à 2 115, 2 135 et 2 325 nm.



POR29



TIE17a

Figure 24 : Spectres de saprolite des massifs de Thiébaghi, Konianbo, Poro.

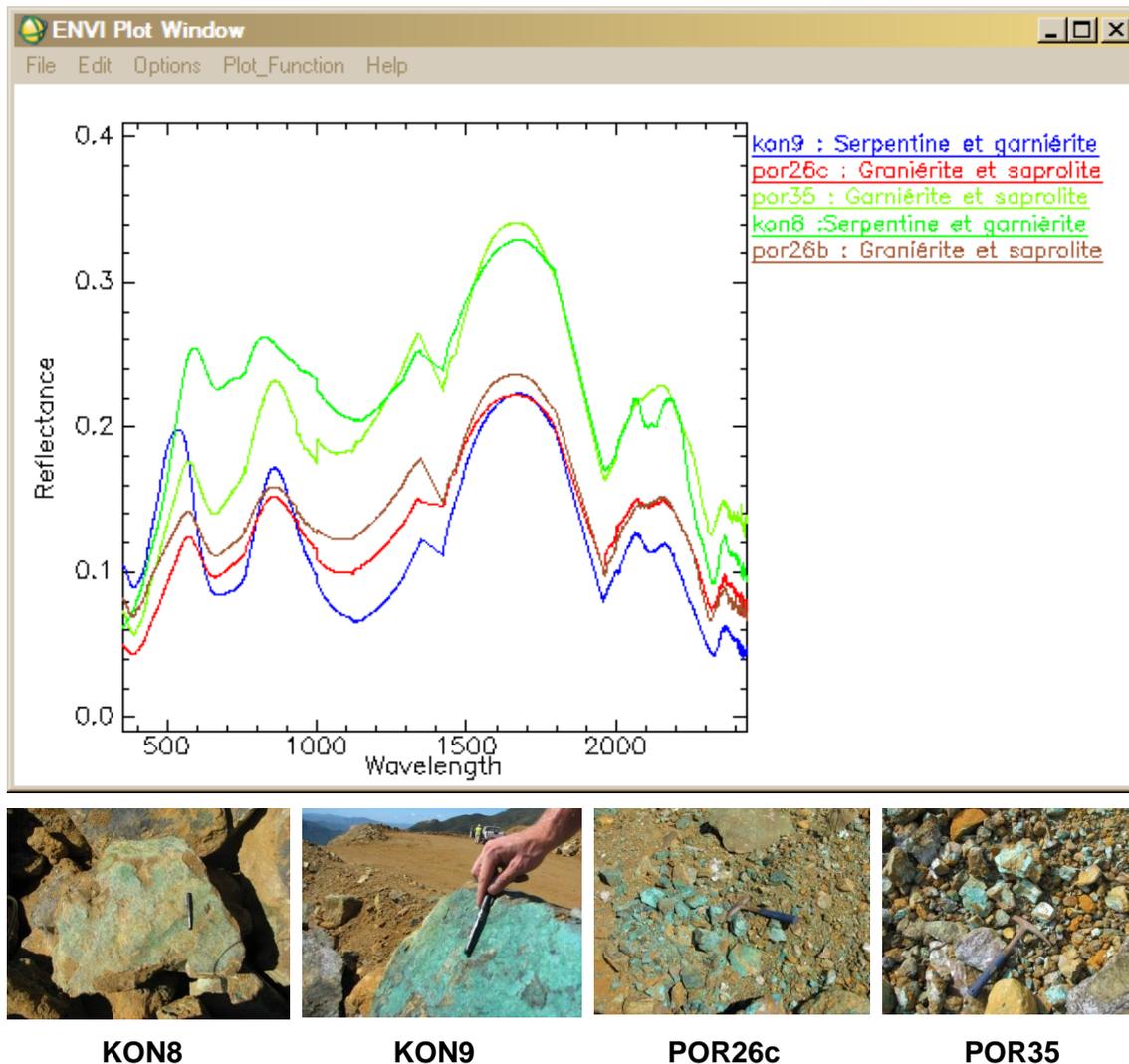


Figure 25 : Spectres de garnièrite, massif de Konianbo et Poro.

7.2.6. Spectres de roches mères, harzburgite et dunite

Présentés en Figure 26, les spectres montrent, dans tous les cas, les figures caractéristiques des serpentinites.

La réflectance dans le SWIR augmente avec l'altération du matériau, les roches fraîches étant moins réfléchantes dans cette portion du spectre.

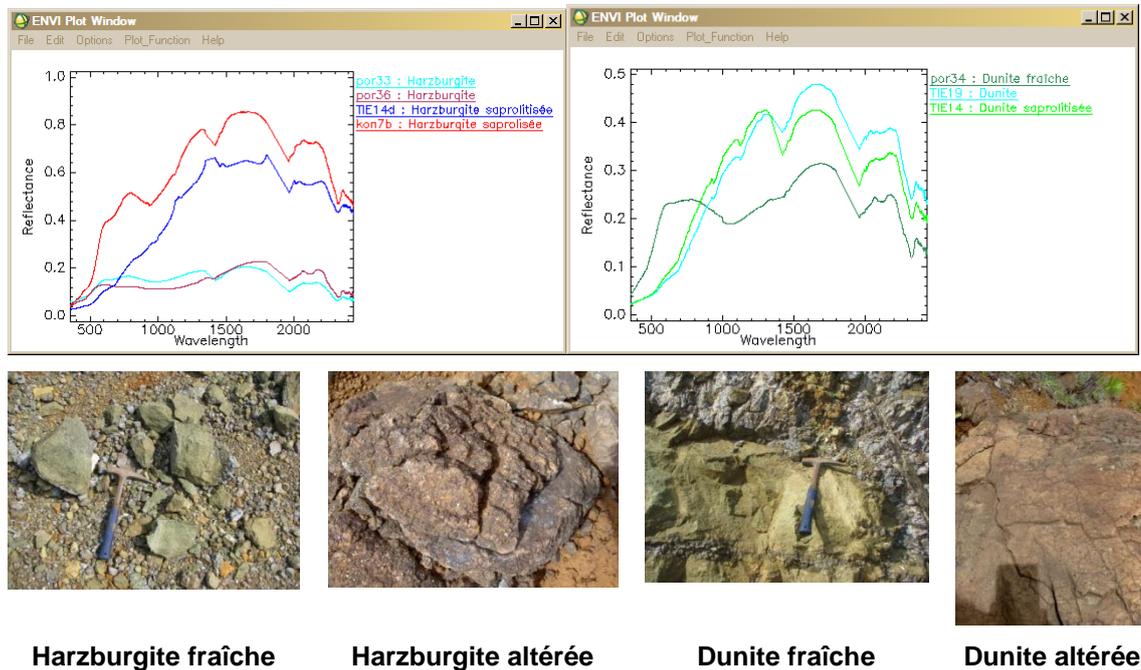
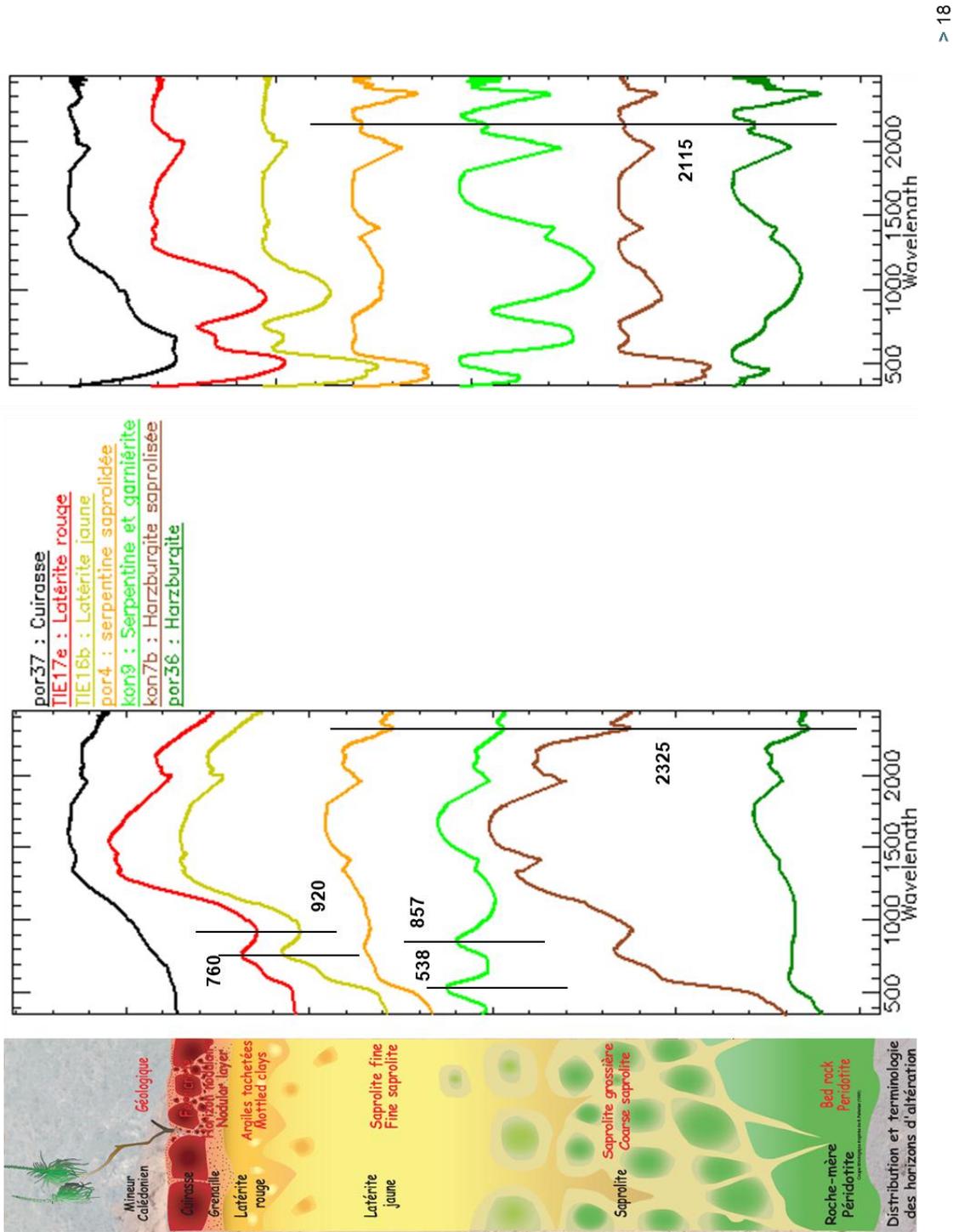


Figure 26 : Spectres de harzburgite et dunites, fraîches et altérées.

7.3. SYNTHÈSE : CARACTÉRISATION SPECTRALE DES PROFILS LATÉRITIQUES

Les figures spectrales caractéristiques de chaque unité principale des profils latéritiques sont présentées en . On note ainsi de bonnes capacités de discrimination spectrale de ces unités d'après la spectro-radiométrie de terrain, avec :

- cuirasses (spectral, très faible réflectance dans le visible, augmente dans le SWIR1) ;
- latérites (forte réflectance vers 760-780 nm et pic d'absorption large et profond à 920 nm) ;
- saprolites (deux faibles absorptions à 2 115 et 2 135 nm, pic profond et étroit à et 2 325 nm, localement figures d'oxydes de fer) ;
- saprolite à garniérite (mêmes caractéristiques que les saprolites, avec de plus deux fortes réflectances à 538 et 857 nm, typiques de la garniérite) ;
- roche mère fraîche (mêmes caractéristiques que les saprolites, mais moins réflectantes dans l'infrarouge pics d'absorption à 2 115, 2 135 et 2 325 nm) ;
- roche mère saprolitisée (même caractéristiques que les saprolites, 2 115, 2 135 et 2 325 nm, plus réflectantes que les roches « fraîches »).



> 18

Figure 27 : Spectres types des lithologies des profils latéritiques.

8. Interprétation minéralogique des spectres sur échantillons

Les spectres mesurés en illumination artificielle sur échantillon ont fait l'objet d'une analyse spectrale pour en déduire la composition minéralogique principale.

Cette analyse a été effectuée au moyen du logiciel TSG (The Spectral Geologist, <http://www.thespectralgeologist.com/index.htm>) développé par le CSIRO et AusSpec international.

Ce logiciel permet la manipulation de spectres et leur comparaison avec une librairie spectrale interne, sur la gamme 1 300-2 500 nm. Pour chaque spectre, il permet la détermination de la minéralogie la plus vraisemblable, compte tenu de ses caractéristiques spectrales.

8.1. SAPROLITES

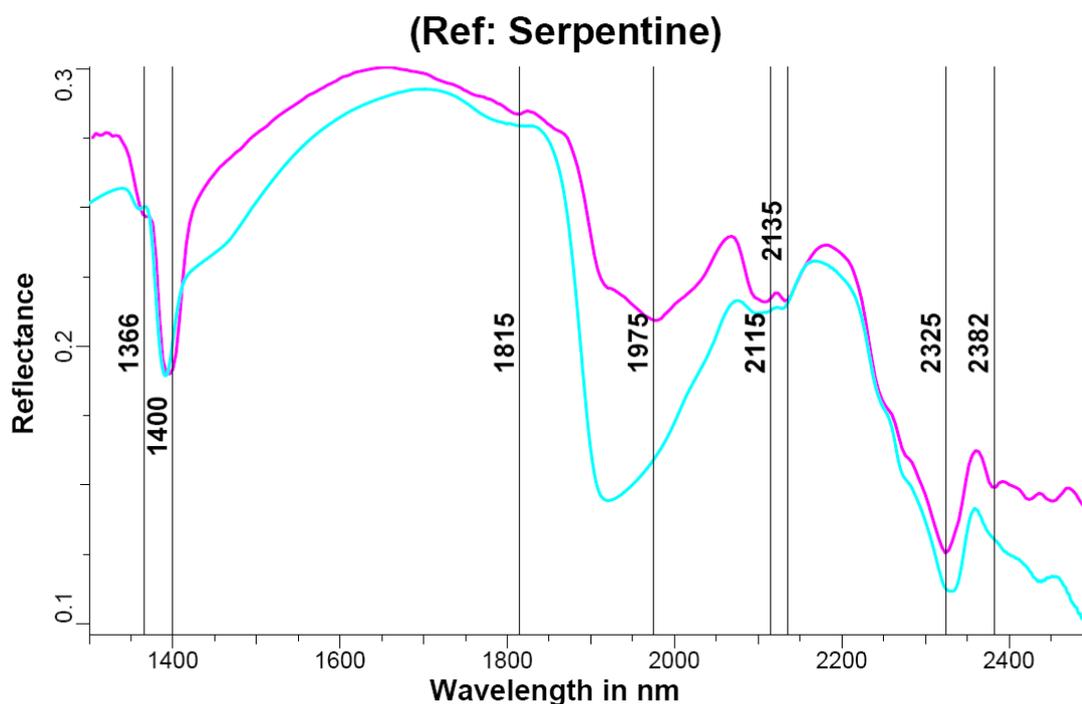
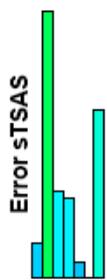


Figure 28 : Analyse spectrale du spectre de l'échantillon de saprolite GOR2.

La Figure 28 montre le résultat de l'analyse spectrale pour l'échantillon de saprolite GOR2, interprété comme serpentine avec une faible marge d'erreur. Sur cette figure, sont représentés le spectre de l'échantillon GOR2 (en cyan), le spectre de référence de la serpentine (en magenta) et les figures d'absorption caractéristiques de la serpentine

à 1 366, 1 400, 1 815, 1 975, 2 115, 2 135, 2 325 et 2 382 nm. On constate l'étroite corrélation entre ces deux courbes.



Le diagramme ci-contre indique, pour chaque spectre de saprolite, la composition minéralogique la plus vraisemblable et la marge d'erreur correspondante.

On constate que la plupart des spectres sont interprétés comme correspondant à de la serpentine, sauf pour l'échantillon GOR3 interprété comme palygorskite (avec une forte marge d'erreur, et l'échantillon TIE10 (saprolite jaune moutarde), interprété comme argile magnésienne (avec serpentine en minéral secondaire) avec un très bon intervalle de confiance.



La palygorskyte ($(Mg,Al)_2Si_4O_{10}(OH).4H_2O$) est un silicate d'aluminium hydraté proche des serpentines se présentant en fibres cryptocristallines enchevêtrées, donnant naissance à des masses légères, d'où les appellations de carton des montagnes, de couleur habituellement brune.

Elle se trouve dans toutes les roches à silicates de magnésium (essentiellement des ultrabasiques) ayant subi une altération, dans les serpentines.

Source <http://webmineral.brgm.fr:8003/mineraux/Main.html>

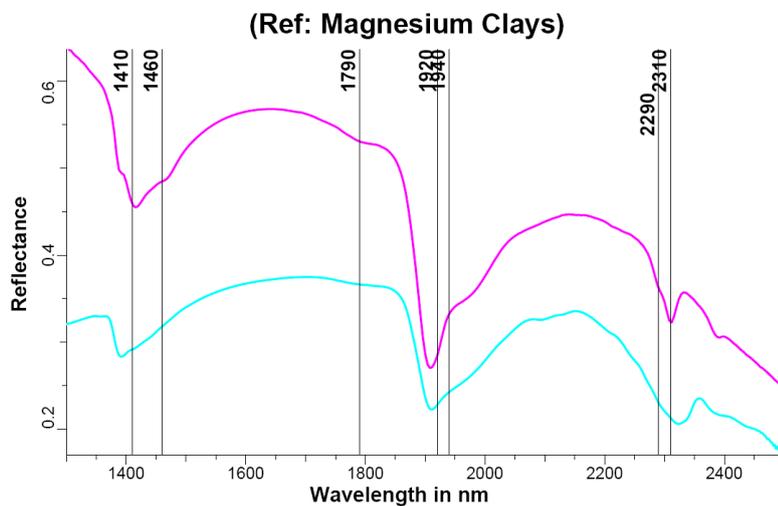
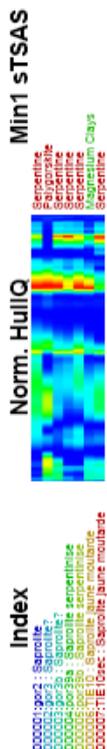


Figure 29 : Interprétation du spectre de l'échantillon TIE10 humide.

Sur la Figure 29, le spectre de l'échantillon de saprolite jaune moutarde TIE10 humide est comparé avec le spectre de référence d'argiles magnésiennes. On note toutefois un décalage des pics d'absorption qui pourrait être lié au ratio Mg/Fe.

Une fois séché, l'échantillon est interprété comme saponite, avec une bonne corrélation avec le spectre de référence.

Aux: saponit2.spc Saponite SapCa-1.AcB

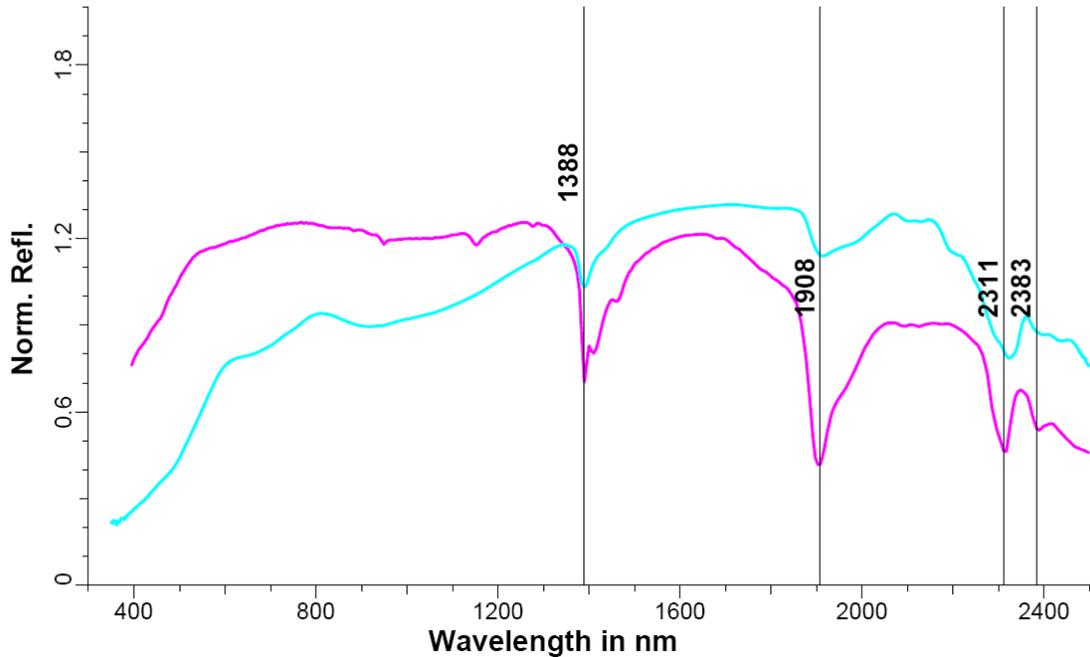


Figure 30 : Interprétation du spectre de l'échantillon TIE10 sec.

On note la présence d'oxydes de fer, bien visibles dans la partie visible du spectre ainsi que des figures proches de celle de la serpentine. La saponite, de formule $\text{Ca}_{0.25}(\text{Mg,Fe})_3((\text{Si,Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$, est un minéral du groupe des smectites qui se rencontre en veines dans les serpentinites et les basaltes.

8.2. HARZBURGITE – DUNITES

L'interprétation des spectres de harzburgite et dunite figure dans le diagramme ci-après. On y constate que la plupart des spectres sont interprétés comme serpentine, avec toutefois une marge d'erreur plus importante que pour les saponites.

Le spectre de l'échantillon de harzburgite à cassure fraîche PRO4a2 (Figure 31, haut) est bien corrélé avec le spectre de référence de la serpentine, alors qu'une face patinée du même échantillon est toujours interprété comme serpentine (Figure 31 bas), mais avec une erreur beaucoup plus importante.

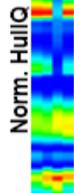
8.3. LATÉRITES



Min2 sTSAS

NULL
NULL
NULL

Min1 sTSAS



Index

00001:PRO7a;latérite;latérite rouge
00002:PRO7a;latérite;latérite rouge
00003:PRO7a;latérite;latérite rouge
00004:PRO7a;latérite;latérite rouge
00005:PRO7a;latérite;latérite rouge

L'interprétation des spectres de latérite témoigne de la difficulté à obtenir une analyse spectrale fiable de ce matériau sur la partie moyen infrarouge (1 300-2 500 nm du spectre). Deux spectres sont interprétés comme palygorskyte, un comme gibbsite et un est considéré comme ininterprétable.

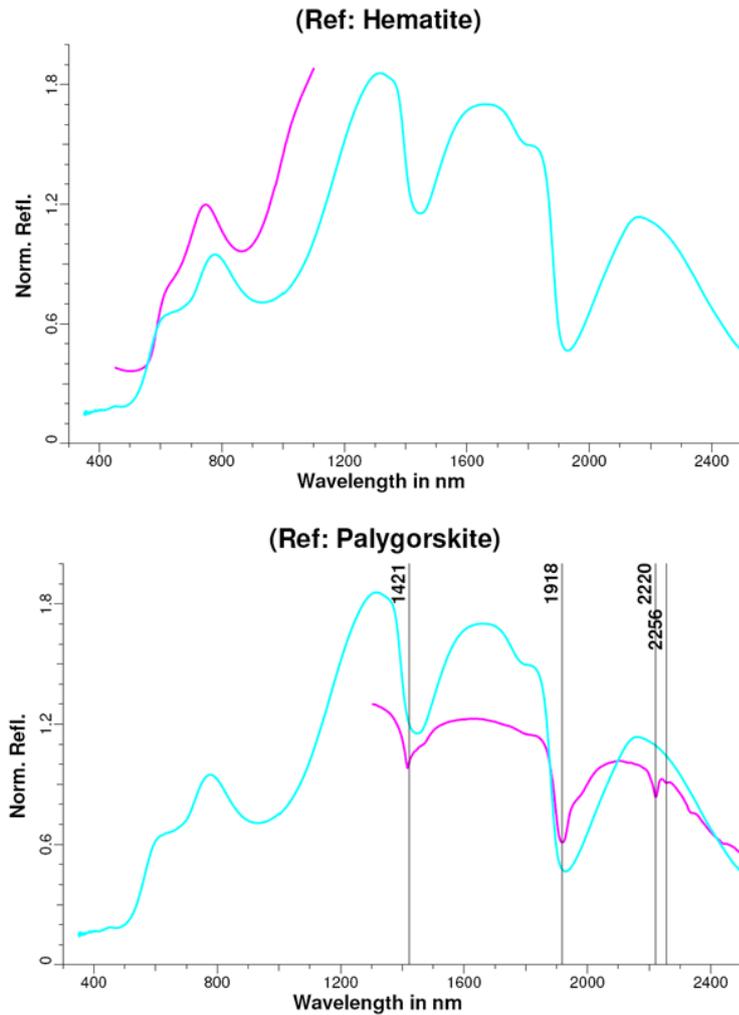


Figure 32 : Interprétation du spectre de l'échantillon PRO7a.

Le spectre de l'échantillon PRO7a (latérite jaune) est interprété comme palygorskyte, sans que les figures caractéristiques à 2 220 et 2 256 nm n'apparaissent. On retrouve cependant les absorptions à 1 421 et 1 918 nm. Dans le VNIR, le spectre est interprété comme hématite, avec toutefois un décalage vers les plus grandes longueurs d'ondes par rapport au spectre de référence (phénomène déjà observé sur les spectres terrain - voir 7.2.2.)

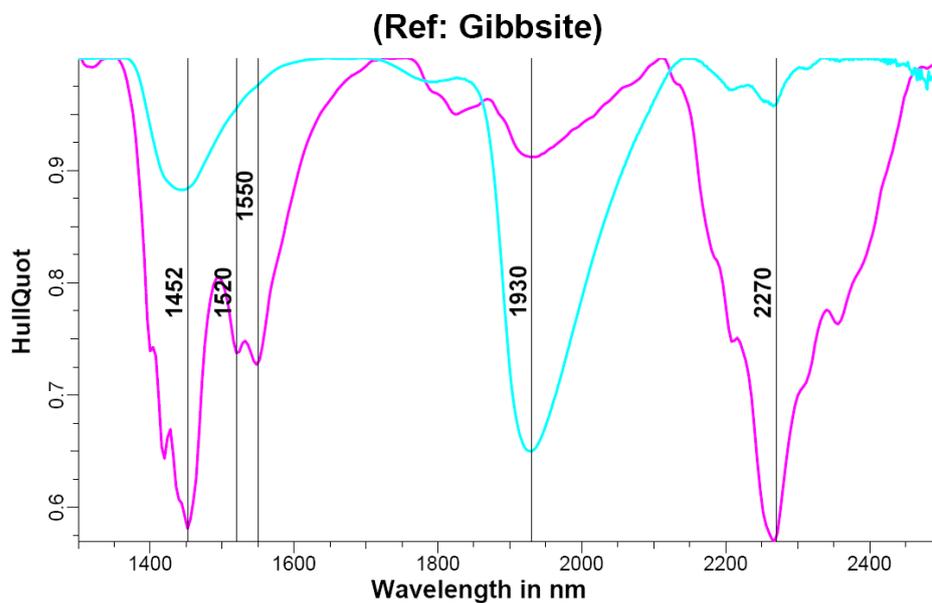


Figure 33 : Interprétation du spectre de l'échantillon PRO3a.

Le spectre de l'échantillon PRO3a (latérite rouge indurée) est interprété comme gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$), minéral fréquent des latérites, sans toutefois que la corrélation avec le spectre de référence soit très représentative.

9. Conclusions

Cette étude a permis de tester les capacités de la spectro-radiométrie pour la discrimination spectrale des différentes lithologies des profils latéritiques sur péridotites de Nouvelle-Calédonie, en vue de leur cartographie à partir d'images hyperspectrales.

Malgré des conditions climatiques parfois peu favorables (couvert nuageux, forte humidité), une librairie spectrale extensive représentative de l'ensemble des massifs étudiés, a pu être générée, tant pour des spectres de réflectance terrain que pour des spectres sur échantillons recueillis au cours de la mission.

On a pu ainsi mettre en évidence les caractéristiques spectrales représentatives de chacune des unités lithologiques des profils latéritiques, depuis la roche mère jusqu'aux cuirasses.

Il en ressort qu'il est possible de distinguer, sur des critères spectraux (position et profondeur des pics d'absorption ou de réflectance, niveau de réflectance...), les unités suivantes, soit de haut en bas :

- cuirasses ;
- latérites ;
- saprolites ;
- saprolite à garniérite ;
- roche mère saprolitisée ;
- roche mère.

Il n'a pas été, par contre, possible de distinguer spectralement latérites jaunes de latérites rouges, distinction pourtant importante pour les industriels.

Il apparaît donc possible de cartographier des unités lithologiques à partir des images hyperspectrales acquises dans le cadre du projet CARTHA.

Il est également possible, à partir des spectres sur échantillons mesurés en illumination artificielle, de procéder à l'interprétation minéralogique qualitative. Outre la présence de serpentines, on a ainsi pu mettre en évidence la présence probable de palygorskyte et saponite dans des saprolites et de palygorskite et gibbsite dans les latérites.



Centre scientifique et technique
Service ressources minérales
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34