

Téledétection et Géologie du Hoggar.
Apport des Images Thematic Mapper de Landsat 5 à la Cartographie Géologique
à 1/500.000 d'In-Azaoua. (Hoggar Central Méridional).

Ahmed Zine Eddine SAAD

Attaché de recherche

Centre Nationale des Techniques Spatiales, laboratoire de téledétection.

Bp. 13, Arzew, 31200, Algérie.

Tel : (041) 47 22 17, Fax: (041) 47 34 54

Email : a_z_saad@yahoo.fr

RESUME :

L'objectif de ce travail consiste à établir la carte géologique télé analytique de la région d'In-Azaoua à 1/500.000 par le biais des données Thematic Mapper de Landsat5 .

Le terrain d'étude se caractérise par deux ensembles géologiques bien distincts. L'un sédimentaire, essentiellement gréseux et l'autre cristallophylien.

Ainsi une corrélation entre les données spectrales recueillies par les différents canaux du satellite Landsat5 Thematic Mapper avec les caractéristiques des roches des formations précambriennes et primaires du bassin d'In-Azaoua (Hoggar Central Méridional) fut établie. Des provinces géologiques homogènes ont été caractérisées. L'apport des données infrarouge thermique a été déterminant dans la cartographie des limites lithologiques de ces deux ensembles. Le concours aux critères d'identification voir critères fondamentaux de la photo-interprétation (signature spectrale, structure-texture et l'aspect morphologique) est fondamental.

Les résultats obtenus ont été corrélés aux différents travaux réalisés dans la région. Un document thématique sur le plan cartographique, suivi d'une interprétation, est ainsi proposé.

Mots clés: In-Azaoua, fracturation, données spectrales, infrarouge thermique.

ABSTRACT:

The objective of this work consists in establishing the teleanalytic of the In-Azaoua region to 1/500.000 by the means of the Thematic Mapper data of Landsat5.

The land of survey characterizes it self by two very distinct geological wholes. A sedimentary, one essentially sandstone and the other cristallophylian.

So correlation between the collected spectral data by the different channels of the Thematic Mapper data with features of pre-cambrian and primary formation rocks of the In-Azaoua basin (Central Southerner Hoggar) was established. Some homogeneous geological provinces have been characterized. The thermal infrared data contribution was determining in the cartography of lithologic limits of these two wholes. The support to criteria of identification indeed fundamental criteria of the photo-interpretation (spectral signature, structure-texture and the morphological aspect) is fundamental.

The obtained results were correlated to the different works achieved in the region. A thematic document on the cartographic plan, follow-up of an interpretation, is proposed thus.

I. INTRODUCTION

Les données Landsat thematic mapper par leur richesse en gamme spectrale et leur résolution au sol, sont une source de donnée importante qui peuvent remédier à l'absence d'informations spectrales contenues dans une photographie aérienne. Cependant la télédétection a confirmé son apport en géologie de part sa vue synoptique pour l'analyse des grandes unités du paysage et sa richesse spectrale qui « traduit » les propriétés intrinsèques des divers objets géologiques. Ceci a donné une impulsion nouvelle au développement et à la résolution des problèmes dans le domaine de la cartographie géologique, permettant ainsi de travailler à des échelles petite et moyenne (1/ 500.000^{ième} pour MSS, jusqu'à l'échelle du 1/100.000^{ième} pour TM).

L'approche adoptée est fondée sur deux faisceaux de connaissances, relevant des données thématiques (géologie) et des données de télédétection en l'occurrence celles de Landsat TM.

L'objectif principal est la cartographie géologique du bassin d'In-Azaoua au 1/500.000^{ième}. L'apport de la photo-interprétation synthétique à nos données images reste primordiale.

I.1. Objectif du travail

Dans ce travail, notre but est de mener une cartographie des différents affleurements géologiques de la région d'In-Azaoua, tout en faisant appel à la signature spectrale propre aux objets lithologiques de la région. Cette étude imposera la « consultation » des travaux antérieurs réalisés tant sur le plan lithostratigraphique que sur le plan structural.

II. PARTIE APPLICATION

II.1. Aperçu géologique

La région d'étude appartient à la feuille d'Asséo. Elle est limitée au Nord et au Sud par les latitudes 22°30' N et 20°30'N. Quant à l'Ouest et à l'Est, par les longitudes 6°30'E et 8°E.

Deux domaines appartenant au Hoggar central polycyclique différents tant par leur mode d'affleurement que par leur composition lithologique viennent caractériser la géologie de la zone d'In-Azaoua. Un socle cristallin précambrien formé par des formations d'âge Protérozoï que inférieur (Pr1), et moyen (Pr2), composé généralement de métasédiments et de gneiss ; et d'un granite syn-orogénique (γ_4) essentiellement rouges à biotites. Puis d'une couverture sédimentaire tabulaire et discordante sur ce socle, qui est composée par des affleurements géologiques de nature gréseuse et argilo-gréseuse d'âge paléozoï que (unité dévonienne).

II.2. Interprétations des données satellitales à 1/500.000.

(Données thematic mapper de Landsat5. Centre de scène 190/45 du 22 octobre 1989 et 191/45 du 30 septembre 1990,)

II.2.1. Introduction

Les données utilisées quant à cette étude sont les images thematic mapper. Tous les canaux ont été exploités et à un degré plus le canal de l'infrarouge thermique.

L'interprétation proprement dite (confrontée à la documentation existante) de nos données images est faite à partir de l'analyse des caractéristiques morfo-structurales, radiométriques et texturales des différentes unités géologiques sédimentaires et cristallophyliennes.

L'exploitation conjointe des images optiques (visible et proche infrarouge) ainsi que celles du moyen et de l'infrarouge thermique, à l'échelle du 1/500.000, nous a permis d'établir un document photo-géologique. Différentes limites de formations ont été caractérisées.

II.2.2. Interprétations spectrales

II.2.2.1. Le Hoggar central polycyclique

II.2.2.1.1. Interprétation du domaine sédimentaire

Différentes formations géologiques de tonalités différentes ont été caractérisées (tableau 1).

Unités Géologiques	Tonalité	Fracturation	Texture	Observation
Domaine Sédimentaire	Plus ou moins Importante	Calme, mais importante dans l'unité du Cambro-Ordovicien	Lisse	Le canal de l'infrarouge thermique (TM6) limite parfaitement le contact anormal entre le socle et la couverture.
Cambro-Ordovicien	Moyenne	Importante	Lisse	Fracturation importante au contact avec le socle cristallophylien.
Silurien	Elevée	Calme	Lisse	La limite géologique avec le Dévonien est moins évidente dans le canal du TM6.
Dévonien	Moyenne	Moyenne	Lisse	La limite géologique avec le Carbonifère est parfaite (TM6).
Carbonifère	Moyenne	Absente	Lisse	Affleurement moins important.

Tableau 1. Caractérisation des différentes unités géologiques sédimentaires à partir des données images de T.M.

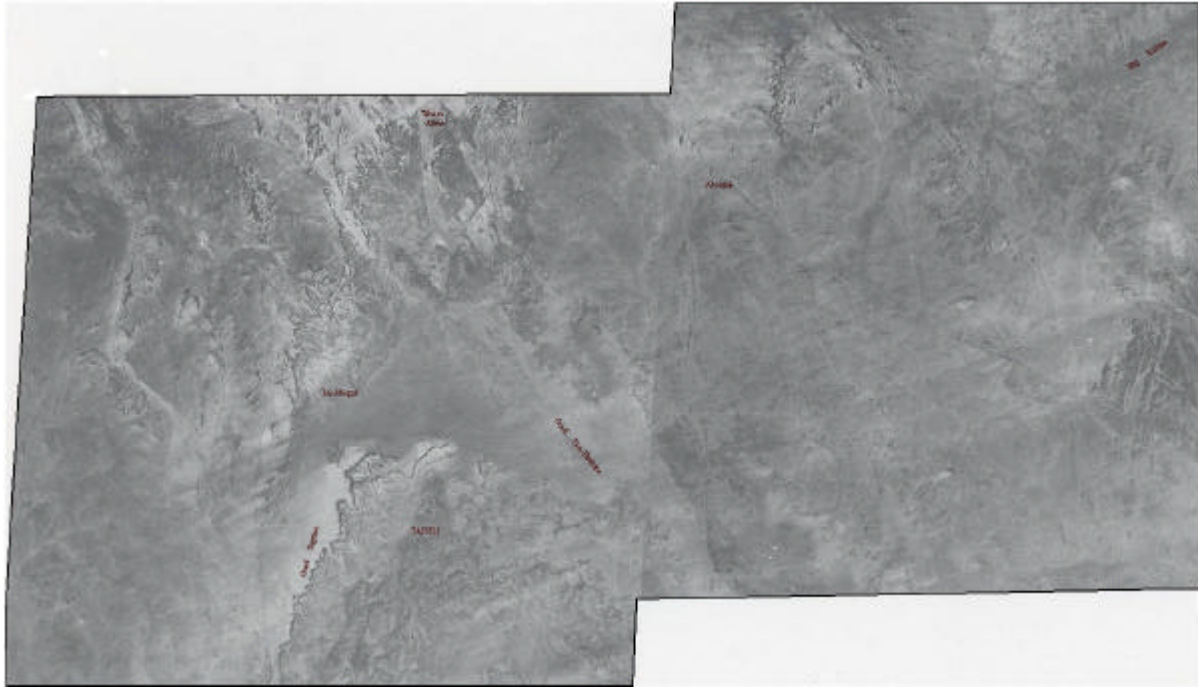


Figure 1 : Exemple d'image de l'infrarouge thermique (TM.6) de Landsat 5 de la région d'In-Azaoua
(Scène 191/45 du 30 septembre 1990 et 190/45 du 22 octobre 1989)

Ainsi le canal de l'infrarouge thermique (IRT : canal 6 de T.M.) a permis la cartographie de la limite géologique entre le domaine sédimentaire et le socle cristallophylien. Cette limite correspond à un contact anormal de type discordance. Ce même canal a permis de :

- de mettre en évidence correctement la différence de dénivelé entre les affleurements du socle par rehaussement avantageux des aspects structuraux ;

- de constater « l'impartialité » des textures dans la différenciation des faciès appartenant à la couverture sédimentaire (partie sud-ouest du bassin d'étude). Ceci est vraisemblablement dû au placage désertique de la patine ferrugineuse.

En revanche la limite géologique des formations Siluriennes en contact avec celles du Dévonien est moins évidente, mais péremptoire avec les affleurements du Carbonifère. Indépendamment du canal de T.M5, les autres canaux du visible permettent une bonne définition des contours géologiques des unités affleurantes.

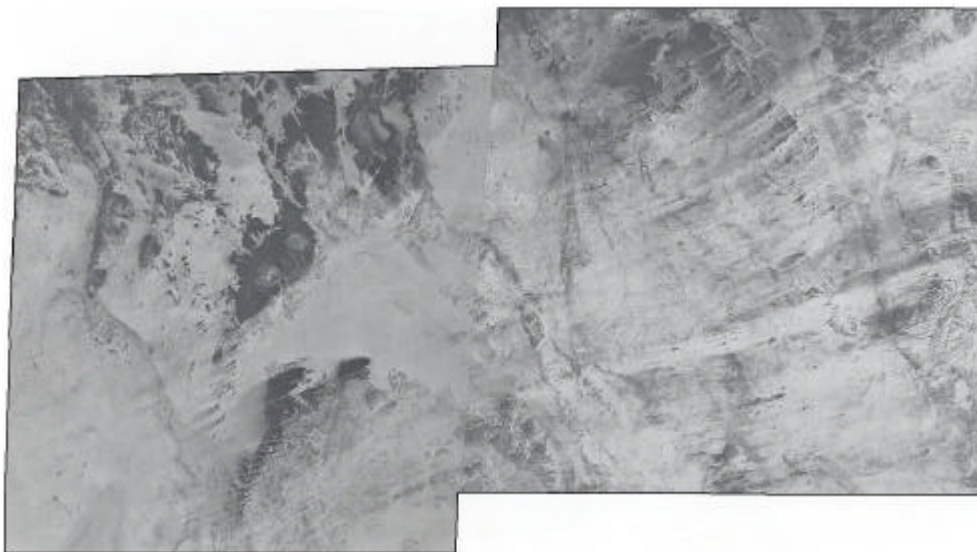


Figure 2 : Exemple d'image de l'infrarouge moyen (TM.7) de Landsat 5 de la région d'In-Azaoua
(Scène 191/45 du 30 septembre 1990 et 190/45 du 22 octobre 1989)

II.2.2.1.2. Interprétation du domaine cristallophylien.

Trois ensembles géologiques ont pu être mis en évidence (tableau 2). Il s'agira :

1. du granite (γ_4) syn-orogénique,
2. du Protérozoï que moyen (pr2) à faciès amphibolites
3. et du Protérozoï que inférieur (pr1) à gneiss et migmatites.

Le caractère morpho-structural et radiométrique que dégage le granite syn-orogénique le met en évidence par rapport aux séries qui l'avoisinent. C'est une structure intensément fracturée à radiométrie faible à très faible.

Aussi, l'analyse des formes et du mode d'affleurement en l'occurrence l'anomalie structurale, est souvent et suffisamment caractéristique pour être directement associée à un phénomène géologique particulier. Ainsi l'amas circonscrit, intrusif, à texture moyennement fine et à radiométrie faible, permet de délimiter l'ensemble de ce granite au sein même du Protérozoï que inférieur (Est du Hoggar central).

Le Protérozoï que moyen (série de l'Aleksod dans la partie Nord-Ouest) présente quant à lui, deux « clés » importantes qui nous permettent de le caractériser.

Unités Géologiques	Tonalité	Fracturation	Texture	Observation
Domaine du Cristallin	Elevée	Importante	Rugueuse	Canal tranchant de l'infrarouge thermique (TM6) en relation avec le domaine sédimentaire
Protérozoï que inférieur	Moyenne	calme au nord-ouest et importante à l'Est	Rugueuse	Structures caractéristiques en compression d'axe E-W et NW-SE
Protérozoï que moyen (Série de l'Aleksod)	Moyenne mais élevée dans le canal du TM6 dans sa partie ouest.	Fracturation importante	Rugueuse	Présence particulière de dykes aux divers formes
Granite Syn-orogénique	Faible	Importante	Rugueuse	Granite circonscrit à faible radiométrie (Est du hoggar central).

Tableau 2. Interprétation des différentes unités géologiques cristallophyliennes à partir des données images de T.M.

L'une des caractéristiques importantes de ce faciès est la présence de structures particulières (dykes) dont la forme de leur structure est variable. Le deuxième critère réside dans sa valeur en terme de température radiométrique élevée (canal 6 du TM). Sa limite géologique dans les autres canaux du visible n'est pas évidente.

L'ensemble du Protérozoï que inférieur (à gneiss et migmatites) présente une tectonique «calme» et une tonalité encore plus claire donc des valeurs élevées. Ce radio-faciès à méta-sédiments indifférenciés est répandu dans la partie Est du Hoggar polycyclique et se présente différemment en terme de mode d'affleurement. Des structures caractéristiques en compression d'axe Est-Ouest et Nord-Ouest_ Sud-Est le caractérisent.

Sa limite géologique avec le granite syn-orogénique est moins évidente dans le canal d'infrarouge thermique mais légèrement apparente dans le canal 5 de T.M.

II.2.2.2. Le Hoggar oriental.

Le Hoggar oriental, autre domaine, caractérisé par un fort contraste d'un point de vue géologique présente des unités bien caractéristiques par leur lithologie, leur évolution tectonique et leur métamorphisme (tableau 3). Il s'agira :

1. de la série de Tirrine (Est de la faille de 8°30', à arkoses, conglomérats et silts),
2. du granite Panafricain précoce de la zone Djanet-Tafassasset,
3. et des diorites

Unités Géologiques	Tonalité	Fracturation	Texture	Observation
Séries de Tirrine	Faible	Plus ou moins importante	Moyenne	Présence vers le Nord de lignes particulières apparentes bien distinctives
Granite Panafricain précoce	Plus ou moins importante	Calme	Lisse	Formes caractéristiques
Diorites	Faible	absente	Lisse	Faible extension

Tableau 3. Interprétation des différentes unités géologiques du Hoggar oriental à partir des données images de T.M.

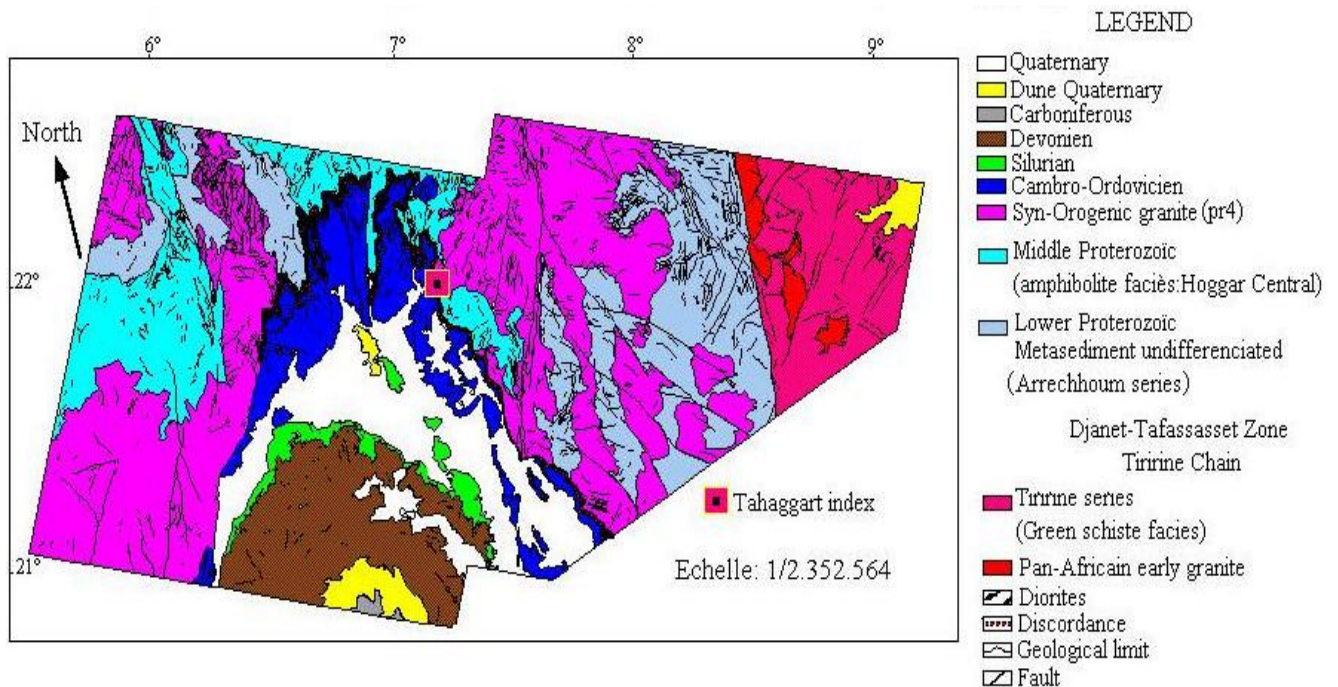


Figure 3 : Carte télé - analytique d'In-Azaoua à partir des images de T.M.

L'analyse des critères fondamentaux de la photo-interprétation a permis de différencier les unités géologiques citées au préalable.

La différence dans l'interprétation entre les formations de la série de Tirrine et du granite d'âge panafricain précoce réside dans l'analyse spectrale et structurale de ces deux ensembles. Quant à ce granite, il révèle une tonalité relativement élevée. Sa forme caractéristique et sa rupture radiométrique franche, permettent de bien le délimiter par rapport à son environnement. Cette limite reste à définir dans les canaux du TM5 et TM6.

La série de Tirrine est identifiée par un «radio - faciès » sombre, et où l'on note une présence de lignes structurales particulièrement bien apparentes au Nord et qui d'ailleurs lui est distinctif.

Le troisième ensemble, identifié comme étant l'unité de diorites, présente une tonalité moyenne, à texture lisse. Ce dernier affleure en « bancs » de directions nord-est recoupant certaines formations de la série de Tirrine

III. CONCLUSION

Dans un premier cas, l'établissement de la carte géologique télé analytique de la région d'In-Azaoua par les données Landsat5 Thematic Mapper à l'échelle de 1/500.000^e reste sommaire et ceci malgré la bonne résolution et la richesse en gamme spectrale qu'offrent les radiomètres embarqués. Cela est peut-être dû au plaquage de la patine désertique ferrugineuse qui est causé par le foisonnement éolien, tendant ainsi à interférer les signatures spectrales adéquates des faciès lithologiques.

Néanmoins certains contours géologiques des différents faciès ont pu être mis en évidence:

La limite géologique (discordance ou contact anormal) entre le domaine cristallophylien et les séries sédimentaires est plus qu'évidente (canal 6 de l'infrarouge thermique).

Ainsi certaines limites géologiques ont pu être tracées grâce au spectre du visible et à un degré moindre à celui du canal T.M 5.

Des structures géologiques ont pu être limitées grâce à leur mode d'affleurement (cas du granite d'âge panafricain précocé).

L'aspect texturo-structural et morphologique permet aussi dans un certain cas une discrimination des classes quant à celles ci présentent une même plage de niveau de gris. Cependant, pour ce qui est de l'exactitude des contours, celui ci reste ou est plus ou moins aléatoire.

Nous finirons par constater que l'adéquation de la télédétection à notre étude géologique dépend des caractéristiques spectrales, spatiales et texturales du faciès recherché. La cartographie des formations lithologiques des formations géologiques n'étant pas aussi perceptible ; une approche ou confrontation multitemporelle de nos données images serait souhaitable où les paramètres d'humidité, de l'élévation solaire et son azimut de direction sont à prendre en compte.

Quant à l'humidité, ceci s'explique d'une part par l'influence de la teneur en eau des roches

(brèches ou alluvions au niveau de la faille) observée par exemple au printemps et inversement en été pouvant ainsi offrir un brusque contraste de réflectance.

D'autre part, l'élévation solaire et son azimut de direction pourraient influencer la réponse spectrale des affleurements et ceci par l'éclaircissement qu'ils offrent sachant que ce dernier leur est étroitement lié.

Ainsi l'efficacité de la télédétection est fonction non seulement du choix des canaux des objets à définir mais aussi de la qualité des affleurements, de leur environnement et des paramètres de prise de vue.

Références Bibliographiques :

BENHAMOUDA, F. (1989): Contribution de la télédétection à la prospection minière. Cas d'In-Azaoua (Hoggar central, partie méridionale ; Algérie - Th. Magister, C.N.T.S/H.C.R.

BIROT, P. ; CAPOT-REY, R. et DRESCH, J. (1955): Recherches morphologiques dans le Sahara central. Travaux de l'Institut des Recherches Sahariennes, Alger, t.XIII, pp.13-75 : In HALLALOUCHE D.(1995). Etude de l'altération du socle précambrien à la périphérie du bassin de Tin-Séririne (Hoggar-sud, Algérie) et minéralisation uranifères et thorifères associées. Thèse pour le grade de docteur de l'université de Rennes I, mention sciences de la terre, n° d'ordre 1329; université de Rennes I, France.

GARIEL, O. ; DE CHARPAL, O. et BENNACEF, A. (1968): Sur la sédimentation des grès du Cambro-Ordovicien (Unité II) dans l'Ahnet et le Mouydir (Sahara Central). Publ. Serv. Géol. Algérie, (Nlle série), Bull. n°38, p.7-37: In HALLALOUCHE, D. (1995). Etude de l'altération du socle précambrien à la périphérie du bassin de Tin-Séririne (Hoggar-sud, Algérie) et minéralisation uranifères et thorifères associées. Thèse pour le grade de docteur de l'université de Rennes I, mention sciences de la terre, n° d'ordre 1329; université de Rennes I, France.

HALLALOUCHE, D. (1995):

Etude de l'altération du socle précambrien à la périphérie du bassin de Tin-Séririne (Hoggar-sud, Algérie) et minéralisations uranifères et thorifères associées. Thèse pour le grade de docteur de l'université de Rennes I, mention sciences de la terre, n° d'ordre 1329; université de Rennes I, France.

HENRY.C (1985): Cartographie géologique et géomorphologique par télédétection- Application à l'étude structurale du SINAI et des abords des GOLFES DE SUEZ et D'AQABA. Thèse pour le grade de docteur de 3ème cycle. Université Pierre et Marie Curie, n° d'ordre 85-17, mention géologie structurale, pp, 1-197, Paris 6, France.

MOKADDEM, M. (1980): Le bassin sédimentaire de Tin-Séririne et ses minéralisations uranifères (Hoggar-ALGERIE). Thèse Doct. 3ème cycle, Paris-Orsay, 110p: In HALLALOUCHE D. (1995). Etude de l'altération du socle précambrien à la périphérie du bassin de Tin-Séririne (Hoggar-sud, Algérie) et minéralisations uranifères et thorifères associées. Thèse pour le grade de docteur de l'université de Rennes I, mention sciences de la terre, n° d'ordre 1329; université de Rennes I, France.

SCANVIC, J. Y. et PION, J. C. (1993): Applications en géologie de la télédétection. B.R.G.M. , 36 p, France.