

Bulletin de la Société belge de Géologie	T. 97	fasc. 2	pp. 153-172	Bruxelles 1988
Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	V. 97	deel 2	blz. 153-172	Brussel 1988

SIGNIFICATION DE LINEAMENTS SUR UNE IMAGE SPOT DANS LA REGION LIEGEOISE

par

A. OZER* , J.M. MARION* , C. ROLAND* et Ph. TREFOIS**

RESUME - Dans le cadre d'un projet P.E.P.S. et avec l'appui du Service de Programmation de la Politique Scientifique (S.P.P.S.) et du Centre National de Recherches Géomorphologiques (C.N.R.G.), nous avons mené des recherches en télédétection sur des images satellitaires SPOT (1 mai 1986).

Grâce à l'usage de filtres directionnels, plusieurs familles de linéaments ont été mises en évidence sur le territoire de la feuille I.G.N. n° 49 (Spa). Il s'agit principalement de linéaments NE-SW correspondant aux structures condrusiennes mais aussi de linéaments orientés NW-SE, N-S et NNE-SSW dont la plupart ne correspondent à aucun tracé géologique connu.

ABSTRACT - Within the framework of a P.E.P.S. project (*SPOT preliminary evaluation program) and with the aid of the S.P.P.S. (Service de Programmation de la Politique Scientifique) and the C.N.R.G. (National Center for Geomorphological Research) we have chosen a test-site to exploit the SPOT remote-sensed data.

Following the application of numeric directional filters on these data some lineaments or groups of lineaments have been enhanced in the area covered by the IGN n°49 topographic plate (SPA). These are especially NE-SW orientated features corresponding with the geological structure of this part of the Dinant Synclinorium. Meanwhile, we have found lineaments with NW-SE and NNE-SSW orientations which can't actually receive a geological explanation.

MOTS-CLES : Télédétection, vérité-terrain, SPOT, linéaments, filtre directionnel, géologie, cartographie, prospection.

KEY-WORDS : Remote-sensing, SPOT, lineament, directional filter, geology, mapping, prospection.

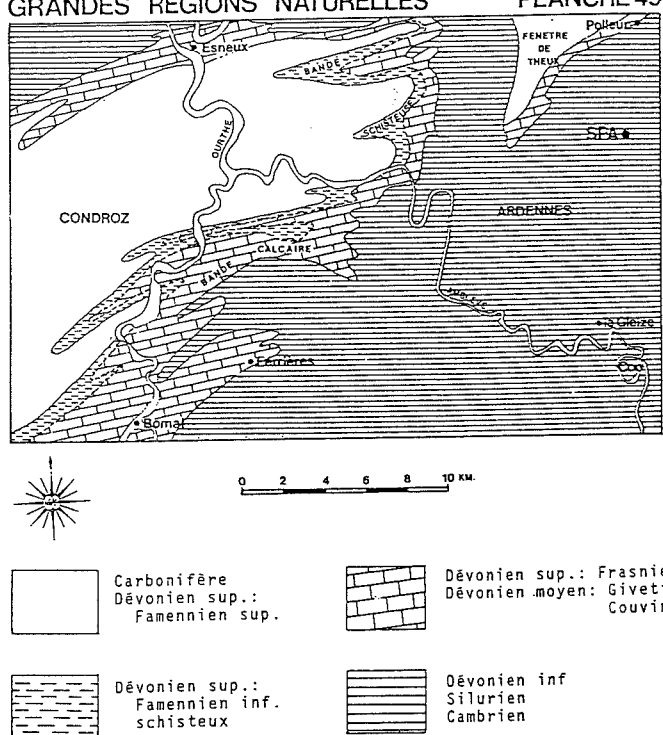
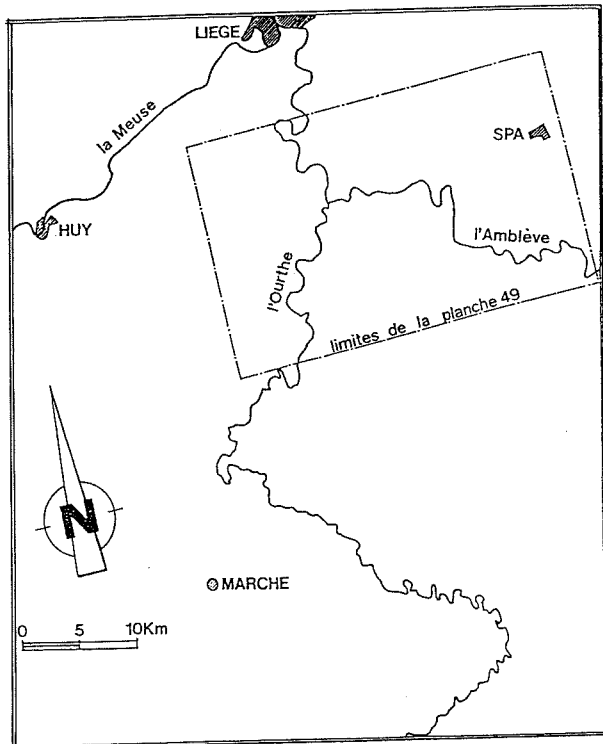
I. INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet P.E.P.S. et avec l'appui du Service de Programmation de la Politique Scientifique (S.P.P.S.) et du Centre National de Recherches Géomorphologiques (C.N.R.G.), nous avons d'abord tenté de développer les méthodologies afin de délimiter, sur la base des données de télédétection fournies par le satellite SPOT, les unités lithologiques en relation avec les caractéristiques structurales et la géomorphologie. Nous avons essayé également de mettre au point la détection de linéaments (failles et diaclases) en pensant à la prospection des minéraux

mais aussi aux avis des rapports de sécurité relatifs à l'implantation de grandes infrastructures telles que barrages, centrales nucléaires...

La scène SPOT que nous avons acquise dans le cadre de ce projet P.E.P.S. couvre le sud de Liège et date du 1 mai 1986. Au sein de ce territoire, nous avons choisi une *zone-test*: la planche I.G.N. n°49 de SPA pour évaluer les possibilités de télédétection en géomorphologie et en géologie, suivant en cela les recommandations du symposium d'Orléans tenu en février 84. Rappelons que TELEKI et WEBER (1984) étaient convaincus qu'en raison du progrès technologique extrêmement rapide,

* Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, Belgique.
** Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique.



Croquis de situation de la planche 49 et schéma des grandes régions naturelles relatives à la même planchette.

le goulot d'étranglement que rencontrent les travaux en télédétection se trouverait dans la recherche de *vérité-terrain*. C'est la raison pour laquelle ils ont recommandé de travailler dans les secteurs dont la géologie est particulièrement bien connue. Le choix de la région de Spa a été fixé à cause de la grande variété de paysages naturels liés à des lithologies différentes. D'autre part, sur le territoire de la commune de Theux, plusieurs failles minéralisées ont déjà été exploitées ainsi qu'à proximité de Ferrières.

Aussi, dans une première étape, avant l'obtention de documents SPOT, avons-nous élaboré une série de cartes synthétiques, de compilation ou originales qui devaient nous aider à faciliter l'interprétation des données satellitaires.

II. ETAT SUCCINCT DES CONNAISSANCES GEOLOGIQUES DANS LE DOMAINE DE LA TELEDETECTION SATELLITAIRE EN BELGIQUE

1. MESURE SPECTRALE DES ROCHES

La mesure spectrale des roches est un outil de travail précieux qui permet de cartographier directement les unités lithologiques indépendamment de toute considération géomorphologique. Cette technique ne trouve sa pleine utilisation que dans les régions où la roche est dénudée, c'est-à-dire où elle n'est pas masquée par des dépôts ou par une couverture végétale.

En Belgique, cette façon de procéder ne pourra guère servir car, non seulement la couverture est continue et importante (sauf périodiquement dans les champs cultivés) mais, en outre, une couverture de limons ou de sables éoliens mélangés à des produits d'altération du substrat et remaniés par solifluxion masque pratiquement partout le bed-rock. De ce fait, nous ne pouvons réaliser directement des mesures spectrales de réflectance des roches mais seulement chercher à connaître l'effet indirect du substratum au travers des variations de la couverture végétale.

2. LA GEOBOTANIQUE

Les travaux géobotaniques comprennent des aspects très divers, allant de l'étude de la répartition de la couverture végétale, jusqu'à l'examen des variations les plus subtiles de réflectance au sein de la même association végétale. De ce fait, nous distinguerons ci-dessous cette question sous différents angles :

a) La distribution des associations végétales naturelles fait apparaître parfois nettement des différences lithologiques. Dans notre pays toutefois, la couverture végétale est entièrement contrôlée par l'homme aussi bien dans les forêts que, d'une manière plus évidente, dans les champs. De ce fait, il est souvent malaisé de déceler cette influence directe.

Par contre, la répartition des champs et des forêts correspond souvent

à des limites lithologiques qui, de ce fait, apparaissent remarquablement sur les images satellites. Il en va ainsi de la bordure septentrionale de l'Ardenne, dont la couverture forestière continue se différencie nettement des champs et des prairies de la bande calcaire du Dévonien moyen qui lui fait suite directement au nord.

De même, d'autres abrupts lithologiques comme la bordure septentrionale de la bande calcaire sont, par leur végétation, mis en évidence. Leur tracé permet ainsi de dessiner des influences structurales comme les nez anticlinaux et synclinaux de la région de Han-Rochefort.

D'autres abrupts, impropres à l'agriculture en raison de leur pente, sont recouverts de forêts; par exemple, ceux développés dans les roches du Gedinnien, sur la bordure orientale du massif de Stavelot ou bien encore, le front des cuestas en Lorraine.

b) Sous une couverture végétale, à première vue homogène et entièrement artificielle, des différences lithologiques peuvent toutefois apparaître. Ainsi, sur des photos aériennes, de subtiles variations de teinte peuvent être décelées en des moments privilégiés comme, par exemple, lors d'une période de sécheresse prolongée, ou lors de la croissance printanière, ou bien encore à l'automne,.. Ces variations peuvent être amplifiées par des traitements de données numériques adéquats et faire apparaître alors des différences qui n'étaient même pas perceptibles à l'oeil nu. Dans ce type de recherche, le moment de la prise de vue joue un rôle tout à fait fondamental. C'est au printemps ou à l'automne que se produisent le plus nettement des déplacements variables de longueur d'onde de réflectance des plantes, en relation avec la lithologie. Des exemples intéressants ont été relevés lors de recherches précédentes (DONNAY *et al.*, 1976; OZER et JACQUES, 1985) sur le plateau des Ardennes, dans le Namurois ainsi qu'au nord de la Vesdre où, chaque fois, sur photos aériennes, des différences lithologiques transparaisent grâce à une croissance différentielle de végétation.

En Belgique, les résultats doivent être considérés à la lumière des données géomorphologiques étant donné l'importance, sur les pentes, des transports par solifluxion de la couverture meuble du sol.

c) De nombreux essais ont été réalisés pour reconnaître l'influence des minerais sur les plantes. Le but est de distinguer les effets de "stress" que subissent les végétaux en présence, par exemple, de concentrations de métaux lourds ou de venues de gaz dans le sol. Cette voie de recherche n'a pas encore apporté de résultats significatifs en Belgique.

3. LES LINEAMENTS

La signification des mots "linéaments", "linéaire" ou encore "linéations" a pris une

ampleur considérable depuis le développement de la télédétection spatiale. Cependant, en 1911 déjà, HOBBS proposait une définition des linéaments qui est toujours valable aujourd'hui. Est dénommée "linéament" toute trace linéaire, topographique ou de tonalité, simple ou composite, et dont les différentes parties sont en relation rectilinéaire ou légèrement curvilinéaire. Les linéaments diffèrent distinctement des autres ensembles de traits et sont supposés refléter un phénomène sous-jacent.

Dans l'état actuel des connaissances, il est admis que :

1. des relations étroites existent entre les linéaments et des fractures profondes et anciennes (celles-ci ayant pu influencer la surface tout au long des temps géologiques) le long de quelques directions préférentielles,
2. des linéaments sont associés à des failles, fractures, zones de "strike-slip", c'est-à-dire qu'ils se présentent sous forme d'un réseau de fissures parallèles à une structure majeure,
3. les linéaments déterminent dans de nombreux cas les systèmes de drainage (subaérien et souterrain), la végétation et les changements de sol (différences de tonalité),

Un pôle d'intérêt important concerne également l'utilisation des images satellitaires pour la prospection des minerais. Certains linéaments (failles, joints) dirigent ou localisent des dykes, ou fournissent des voies idéales pour la circulation de fluides qui altèrent et minéralisent les roches encaissantes. Pour certaines régions, la confrontation de la géochimie avec la télédétection privilégie certains linéaments qui, quoique non connus en tant que failles sur le terrain, ont une spécialisation géochimique particulière.

On peut déjà affirmer que les implications d'ordre sédimentaire ou structural de ces linéaments peuvent être importantes, tant sur un plan général (limites de plaques, explication génétique de la formation de bassins profonds ...) que plus appliqué (développement de variations sédimentaires liées au fonctionnement d'un accident au cours de la sédimentation, minéralisations, ...).

Dans notre pays, les interprétations analogiques d'images satellites n'ont fait l'objet que de quelques publications (CAZABAT, SESOEREN, VANDENVEN) et de plusieurs travaux de fin d'études. Ils ont ainsi fait apparaître plusieurs linéaments importants qui, souvent, ne correspondent à rien de connu dans la géologie du territoire belge. Ils ont été regroupés suivant leurs orientations principales.

1. *Linéaments N-S et NNW-SSE*, pour lesquels G. VANDENVEN (1977) émet plusieurs hypothèses :

- les linéaments méridiens de l'est de la Belgique correspondraient à des fractures rhénanes,

- dans le Synclinorium de Dinant, ils seraient localisés dans des zones intensément fissurées par des diaclases perpendiculaires aux axes de plis,
- enfin, certains linéaments se situeraient dans les anticlinaux et synclinaux transversaux.

2. Linéaments NE-SW

VANDENVEN (1977) note deux importants linéaments dans cette direction: le premier, parallèle à la Sambre, correspondrait à la limite orientale des sables tertiaires; quant au second, développé dans l'Entre-Sambre et-Meuse, il aurait une origine structurale et limiterait vers l'ouest les synclinaux carbonifères du Synclinorium de Dinant.

3. Linéaments longitudinaux

Dans le Synclinorium de Dinant, de nombreux linéaments sont orientés parallèlement à l'axe des plis. Dans la partie occidentale du Condroz, ils s'étirent d'est en ouest, alors qu'à l'est leur orientation est ENE-WSW. Ces directions représenteraient surtout l'allongement des couches géologiques soulignées par des différences lithologiques.

En Lorraine belge, un linéament montre clairement une correspondance avec la limite du Bajocien.

4. Relations des linéaments avec les gîtes minéraux

Selon VANDENVEN (1977), un linéament orienté NNO-SSE qui part de Huy, passe près de Durbuy, Laroche et Longvilly correspond à la localisation de plusieurs gisements métallifères : plomb (Couthuin, Durbuy, Heure, Laroche et Longvilly) et Antimoine (Goesdorf - Luxembourg).

Il note aussi que l'importance des gisements est nettement accrue lorsque le linéament recoupe des roches calcaires et plus spécialement les calcaires carbonifères.

4. CONCLUSION

Il est aujourd'hui admis (CHOROWICZ, 1984) que même dans des régions géologiquement bien connues, comme la France, les images satellites apportent des données nouvelles, non seulement en faisant apparaître de grandes unités lithologiques, mais aussi en montrant des failles et des linéaments qui ne sont pas connus.

Enfin, l'image satellite constitue un bon document qui permet la vision synoptique d'un vaste territoire et de ses structures géologiques majeures, conduisant parfois à une étude plus détaillée, voire ciblée sur le terrain.

III. ETUDES DE VERITE-TERRAIN

Après ce bref état des connaissances, plusieurs cartes de synthèse ont été réalisées, soit par compilation de documents existants (cartes géologiques, pédologiques, archives diverses, mémoires, ...), soit par interprétation de photographies aériennes, soit encore par levés de terrains.

Sept cartes ont ainsi été levées au 1:25.000 et dessinées au 1:50.000.

1. Carte des linéaments photo-interprétés;
2. Carte de diaclases (observations de terrain);
3. Carte géologique synthétique;
4. Carte de répartition des exploitations des matières premières non renouvelables;
5. Carte des accidents tectoniques;
6. Carte litho-pédologique;
7. Carte géomorphologique.

Toutes ces cartes nous ont servi comme documents de base pour la comparaison avec les images obtenues par traitement des données SPOT du 1er mai 1986.

1. CARTE DES LINEAMENTS PHOTO-INTERPRETES

Les linéaments relevés sur cette carte proviennent de l'interprétation de photos aériennes des trois vols suivants:

- a) I.G.N. - N/B - 1/21.000 du 27.04.84.
- b) Travaux Publics N/B - 1:15.000 du 03.06 et 27.09.70.
- c) WALPHOT - I.R. Couleur - 1:30.000 du 29.07.84 et 0.4.06.85.

Les informations fournies constituent un document de base utile pour la comparaison avec les données des autres cartes de synthèse et celles des images satellites.

2. CARTE DE DIACLASES (OBSERVATIONS DE TERRAIN)

Une bonne partie du travail nécessaire à la réalisation de cette carte a consisté en une recherche quasi systématique des affleurements situés au voisinage ou dans le prolongement de linéaments géomorphologiques et de tonalité (tronçons de rivières rectilignes, vallons, différences dans le couvert végétal, repérés à l'examen de photo aériennes sur vols IR, N/B, ...). Les affleurements visités nous ont permis d'observer des réseaux de diaclases, ainsi que quelques failles qui présentent généralement un faible rejet difficilement cartographiable. Des mesures de directions de plans de diaclases, effectuées aux points les plus intéressants, nous ont donné la possibilité de réaliser des roses d'orientation tenant compte de la fréquence des diaclases observées dans diverses directions représentées à l'affleurement (voir carte 2). Ces diagrammes, faisant souvent ressortir une orientation préférentielle des plans de diaclase (fréquence plus importante des diaclases dans l'une ou l'autre direction particulière), ont été reportés sur une carte topographique et comparés aux linéaments déjà cartographiés, après examen des photos aériennes. Dans de nombreux cas, nous avons pu observer une similitude

entre les directions relevées sur les photos aériennes et celles qui apparaissent sur nos roses d'orientation; une certaine fréquence élevée de diaclases dans une direction correspondait, par exemple, parfaitement à tel linéament figurant un tronçon de rivière ou un vallon rectiligne. D'autre part, à proximité de certaines rivières (HOEGNE, NEBLON) qui recoupent des unités lithologiques résistantes, en effectuant un coude à 90° par rapport à leur sens d'écoulement normal, nous avons observé un ensemble de petites failles parallèles au tronçon de la rivière à cet endroit. Celles-ci présentent parfois des rejets décimétriques à métriques, et l'espacement de leur lèvres est de l'ordre de 10 à 20 cm; leur nombre est appréciable à l'endroit où la rivière recoupe les roches dures. D'autres affleurements, localisés dans le prolongement immédiat de ce type de tronçon, montrent une roche intensément fracturée et débitée en petits parallépipèdes décimétriques, entre lesquels il n'y a pas ou peu de joints ouverts (NEBLON).

La recherche de la trace du passage de linéaments photo-interprétés nous a permis d'effectuer quelques observations intéressantes :

- Ainsi, dans les carrières de Poulseur (une exploitation des grès de Montfort), nous avons observé un nombre très important de diaclases, souvent dispersées à intervalles réguliers sur l'affleurement. Cependant, en se rapprochant de l'endroit où un linéament photo-interprété recoupait le front de taille, nous avons parfois pu observer une concentration importante de clâses verticales, attirant le regard par la striation intense qu'elles provoquent sur le front de taille.
- Dans une autre carrière (Comblain-la-Tour), nous avons observé un front de taille découpé par les diaclases (les parois sont presque lisses à certains endroits), dont les plans étaient parfaitement parallèles à la direction du tronçon de l'Ourthe, rectiligne sur 2 kilomètres à cet endroit.
- A l'est du village d'Oneux, entre Aywaille et Comblain, sur le versant sud de la vallée de l'Amblève, nous avons repéré la trace d'un linéament photo-interprété, à un endroit où le front de taille d'une ancienne carrière présente un rentrant de 50 m de long sur 10 m de profondeur. On y distingue aussi une faille dont le rejet, inconnu mais visiblement faible, a mis en contact deux niveaux de grès légèrement différents de la Formation de Montfort.
- Dans la région d'Anthisnes, Hody, Xhos, on observe une très bonne concordance entre les directions photo-interprétées et les directions illustrées par les roses d'orientation construites sur base des données de terrain; les linéaments et diaclases sont générale-

ment orientés NW-SE, presque perpendiculairement à la direction des bancs dans cette région.

Ils semblent influencer très fortement le réseau hydrographique, généralement développé parallèlement à la direction géologique du Condroz, notamment lors du recoupement transversal (NW-SE) des "tiges" condrusiens.

- Dans les schistes frasnien situés derrière l'hôpital d'Esneux, nous avons relevé un grand nombre de diaclases dont les plans sont orientés NNW-SSE c'est-à-dire une direction parallèle à celle reflétée par les linéaments photo-interprétés, relevés à cet endroit, l'intérêt de l'affleurement réside dans la présence de minces zones pour lesquelles la concentration en diaclases est très importante (une quinzaine sur 50 cm), et produit une striation intense de la roche, accompagnée d'une altération locale (jaunissement) et de l'apparition de joints argileux discontinus de 4 ou 5 centimètres de largeur. La nature de la roche, et l'absence de contact avec une autre lithologie ne permet pas de dire si l'on est en présence d'une faille ou dans le prolongement d'une diaclase affectant un banc plus dur sous-jacent.
- Dans la "Fenêtre de Theux", et plus précisément 500 mètres au SSW de l'ancienne exploitation minière du Rocheux-Oneux, nous avons relevé dans une ancienne carrière le passage d'une faille orientée NNW-SSE; celle-ci est donc parallèle au réseau de failles qui ont piloté la minéralisation du site du Rocheux. D'autre part, on peut aussi visualiser son passage en surface par le biais d'un linéament géomorphologique; celui-ci correspond à un petit vallon qui se localise dans le prolongement de la faille, 200 m au SW de l'exploitation. En fait, une série de failles sont développées dans cette région (SASSOR, FRANCHIMONT, SASSEROTTE), à proximité de l'ancienne mine; FOURMARIER (1950) en a seulement cartographié quelques-unes, les principales.

En conséquence, on peut dire que les diaclases semblent influencer très fortement le réseau hydrographique, généralement orienté SW-NE dans le Synclinorium de Dinant, où il est parallèle à la direction des plis; cela se traduit par des recoupements transversaux des roches résistantes tels que les "tiges" condrusiens, qui donnent souvent lieu à l'apparition de tronçons rectilignes qui sont repris et cartographiés comme linéaments. Mais cette direction transversale NW-SE n'est pas la seule importante, car on retrouve aussi une direction N 10° à N 40° E qui semble être aussi responsable de quelques grands linéaments tels le tronçon de l'Ourthe entre Clombain-au-Pont et Chanxhe, ou le tracé du ruisseau "le Vieux Spa" à Spa.

jusqu'à présent porte sur les similitudes qui apparaissent entre :

- 1) les données récoltées et les tracés effectués grâce à la photo-interprétation et,

CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE

(Planche 49/4)



Fig. 1. - Carte géologique simplifiée (d'après FOURMARIER, 1958)

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| All. : Alluvions | Fm1 : Famennien inférieur | S : Siegenien |
| N : Namurien | F : Frasnien | G2 : Gedinnien supérieur |
| V : Viséen | Gv : Givetien | Sm1 : Salmien inférieur |
| T : Tournaisien | Co : Couvinien | Rn : Revinien |
| Fm2 : Famennien supérieur | E : Emsien | — : Failles |

Fig.

CARTE GEOMORPHOLOGIQUE SIMPLIFIEE (Planche 49/4)

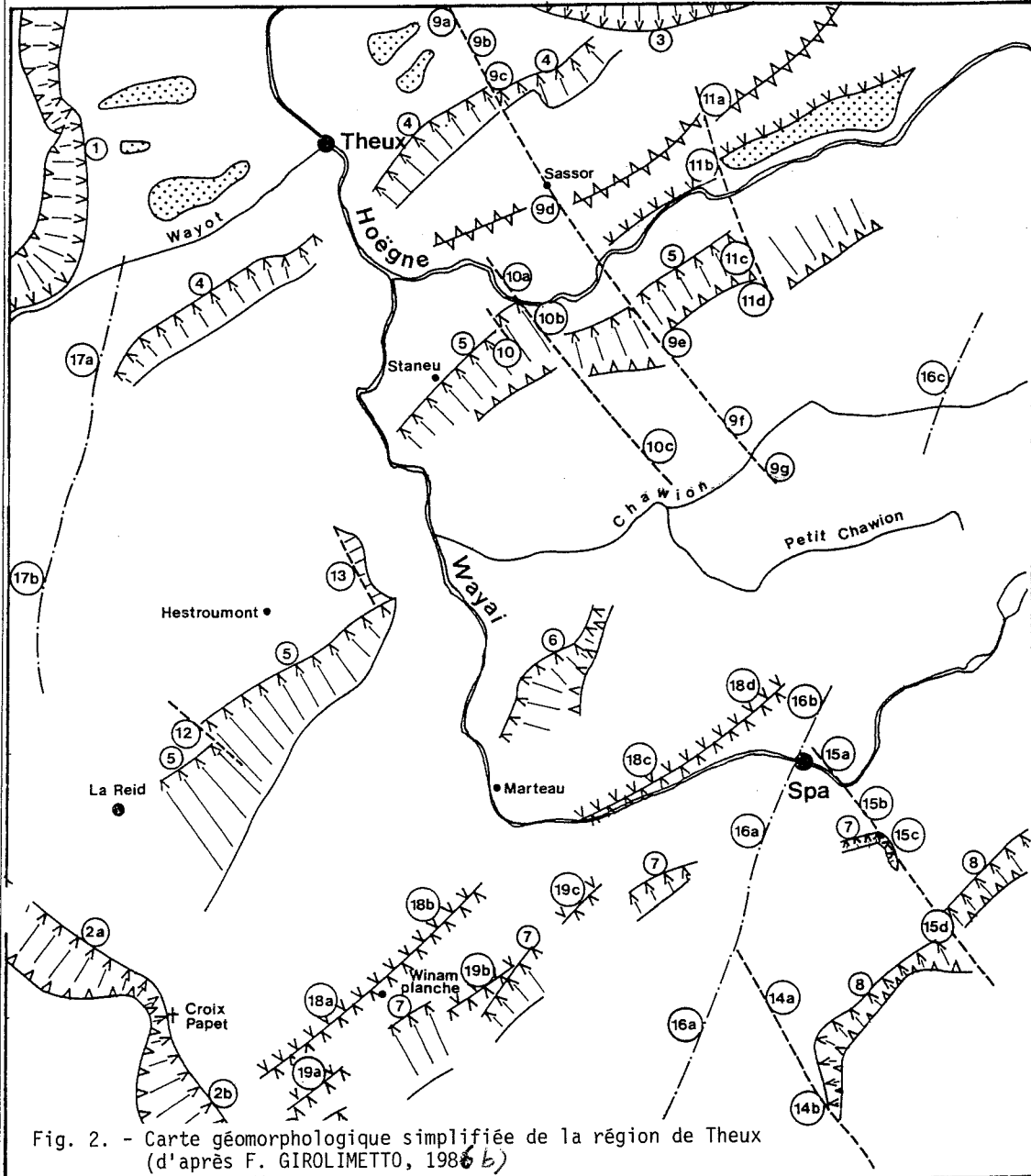


Fig. 2. - Carte géomorphologique simplifiée de la région de Theux (d'après F. GIROLIMETTO, 1986 b)









- | | |
|--|---|
|  Versant lithologique |  Dépression |
|  Concavité basale |  Faille proposée |
|  Convexité sommitale |  Linéament |
|  Crête |  Aplanissement quaternaire |

Fig.

2) les tracés effectués grâce aux levés de terrain. En effet, il apparaît pour certains secteurs de la planche étudiée, que les linéaments géomorphologiques et de tonalité sont directement liés à la présence de zones fortement diaclasées sous-jacentes; à la faveur desquelles ils se sont développés.

D'autre part, la superposition aux photos aériennes de transparents reprenant les caractéristiques géologiques et tectoniques, ainsi que la vision stéréoscopique ont déjà permis de mieux comprendre la présence et le développement de certaines parties du relief. Il en est ainsi de certains vallons, témoins du passage d'une faille en profondeur ou de certaines taches dans la végétation... témoins d'une ancienne zone d'extraction ou d'une pollution minérale, d'une variation de la lithologie sous-jacente ou encore d'une zone d'humidité différente.

3. LA GEOLOGIE

Cette carte montre l'agencement et la structure des diverses successions lithologiques, du Cambrien jusqu'au Viséen, ainsi que les sables tertiaires qui colmatent des poches de dissolution dans les calcaires paléozoïques. Elle est obtenue par compilation des cartes officielles existantes et de documents inédits. Toutes les limites sont dessinées. Seul, le tracé des failles a été gommé et fait l'objet de la carte n°5.

4. LES MATIERES PREMIERS NON RENOUEVABLES

Cette planche présente la répartition des exploitations (généralement anciennes et abandonnées) des ressources du sous-sol de cette région; elle a été réalisée à l'aide de documents et publications de géologues et géographes, mais également en utilisant des études d'archéologues et d'historiens, qui fournissent nombre de renseignements précieux quant à l'origine et la localisation de certains lieux-dits (vieilles mines ou carrières, zones de "grattage").

Nous voudrions cependant signaler que la localisation des gisements miniers recensés, loin d'être ponctuelle, représente souvent une zone de contamination ou d'extension estimée, ou un chapeau de fer supposé. Le même procédé a été utilisé pour la répartition des carrières (grès, calcaire, phyllades); le figuré représente la carrière, ainsi que la zone de remblais. Cette extension à la zone de "contamination" a pour but l'identification plus aisée de certaines taches qui témoignent d'une réflectance toute particulière et qui pourraient apparaître sur les images satellitaires traitées.

Le levé de terrain nous a montré l'utilité d'un tel travail car, en de

nombreux endroits proches d'anciens sites d'exploitation (labourés par exemple), nous avons retrouvé, dispersés à des degrés divers, des morceaux de minerais brut et/ou grossièrement traités. Cela nous a en outre permis, d'avoir une idée de l'importance de l'industrie du fer dans ces contrées (à une époque relativement ancienne), et de la localisation de certains sites souvent oubliés.

5. CARTE DES FAILLES CONNUES - TECTONIQUE

Cette autre planche donne la répartition des principales failles, à la lumière des cartes géologiques officielles, de cartes inédites anciennes ou récentes, de mémoires de fin d'études en géologie ou géomorphologie. Elle a été réalisée afin de faciliter la superposition des interprétations photo-géologiques ou satellitaires aux tracés de failles connues.

On peut remarquer, en visionnant les documents "tectonique" et "matières premières", une répartition non généralisée, des gisements de fer au voisinage d'accidents (failles) généralement longitudinaux, mais aussi transversaux, voir spécialement près de Ferrières, Louveigné-Remouchamps, Theux, La Reid, Hodbômont, Bomal, Limont, ...

6. CARTE LITHO-PEDOLOGIQUE

La carte des unités lithologiques de la planche 49 au 1/50.000 a été réalisée à partir des cartes pédologiques au 1/20.000. Ces dernières fournissent la nature de la charge caillouteuse des sols, charge qui résulte de l'altération du substrat géologique.

Cette carte donne une représentation fidèle de la structure géologique et constitue un outil appréciable pour une meilleure connaissance du sous-sol d'une région. Seule, manque l'interprétation de la carte 49/6 non encore publiée.

7. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

Toute la géomorphologie de la planche 49 a été levée au 1/25.000. A titre d'exemple, les deux figures ci-après (GIROLIMETTO, 1986a) montrent les corrélations possibles entre structure géologique, géomorphologie et linéaments (fig. 1 et 2).

8. INTERPRETATION DU VOL IR COULEUR

Pendant l'étape de préparation à l'étude de vérité-terrain, nous avons acquis la couverture aérienne en I.R. couleur de la planche 49, à l'échelle de 1/30.000 (documents Walphot '84 et '85).

La comparaison des deux types d'images, ne montre pas une supériorité écrasante de l'I.R. aux dépens du noir et blanc, car les informations concernant le relief sont identiques et celles se rapportant directement à la géologie ne sont pas très différentes. Cependant l'I.R.

devient intéressant si l'on examine la végétation et plus précisément des parcelles situées au voisinage ou à l'aplomb de zones exploitées, telles mines et carrières, ou d'ensembles lithologiques connus et bien cartographiés. Il importe cependant de sélectionner la meilleure saison où transparaisent dans le comportement de la végétation, les particularités du sol et du sous-sol.

Dans la région de Xhoris, nous avons pu mettre en concordance sur le vol I.R., des taches vert-brun apparaissant dans les prairies et les champs (rouge), avec d'anciennes exploitations de fer (XVIII-XIX siècle). Nous avons observé des traces similaires près de Ferrières, d'Izier et dans la région de Theux, où d'importants mines de Zn, Pb et Fe ont été longtemps exploitées jusqu'au XIX^{ème} siècle. A Hodbomont (ouest de Theux) près d'un site bien connu d'exploitation métallique (Pb, Zn, Fe), nous observons dans les prairies quelques structures circulaires qui ne sont pas recensées; elles se localisent par ailleurs dans une aire prospectée par I. HALLEUX (1982) qui, ayant utilisé les prospections magnétiques (VLF) et géochimiques, y avait mis en évidence une anomalie non-connue.

A quelque 500 mètres à l'ESE de Xhignesse (Hamoir), sur la rive droite de l'Ourthe, nous avons relevé des structures particulières dans les labourés et les cultures; les documents sur lesquels elles apparaissent le mieux sont ceux de la couverture IR, entre autre parce que l'oeil discerne plus de nuances dans les couleurs que dans les gris et aussi probablement, parce que les conditions d'humidité étaient plus favorables à une bonne observation.

Sur la photo (voir agrandissement N/B et transparent ci-contre), on distingue une série de bandes (fig. 3) de couleur différente (grisé), allongées et fortement plissotées au sein même d'un pli majeur. Les couleurs alternent entre les tons rouges et les verts.

Sur le terrain, il apparaîait que ces alternances colorées sont en relation avec la lithologie même; nous avons en effet constaté le passage des schistes aux calcaires noduleux, puis au calcaire franc, correspondant à la limite rouge/vert repérées sur les photos.

Par ailleurs, dans un champs de maïs proche, nous avons aussi observé un changement brusque de la teinte des feuilles (de vert à jaune), sur une vingtaine de mètres de longueur. Ce changement a pu également être mis en parallèle avec une variation nette de tonalité sur les documents IR.

Dans plusieurs secteurs de la couverture IR, il est facile de distinguer rapidement les zones de végétation développées sur substrat calcaire (principalement, voire uniquement, les calcaires dévoniens); c'est le cas notamment à Xhoris, Verlaine, My, Pilot, Awans, ... où les tons rouges de la végétation sont nettement plus clairs qu'alentours, traduisant le développement particulier lié aux conditions inhérentes au substrat calcaire.

IV. TRAITEMENT DES DONNEES

1. ACQUISITION

Après l'étape de vérification terrain et l'acquisition des bandes SPOT

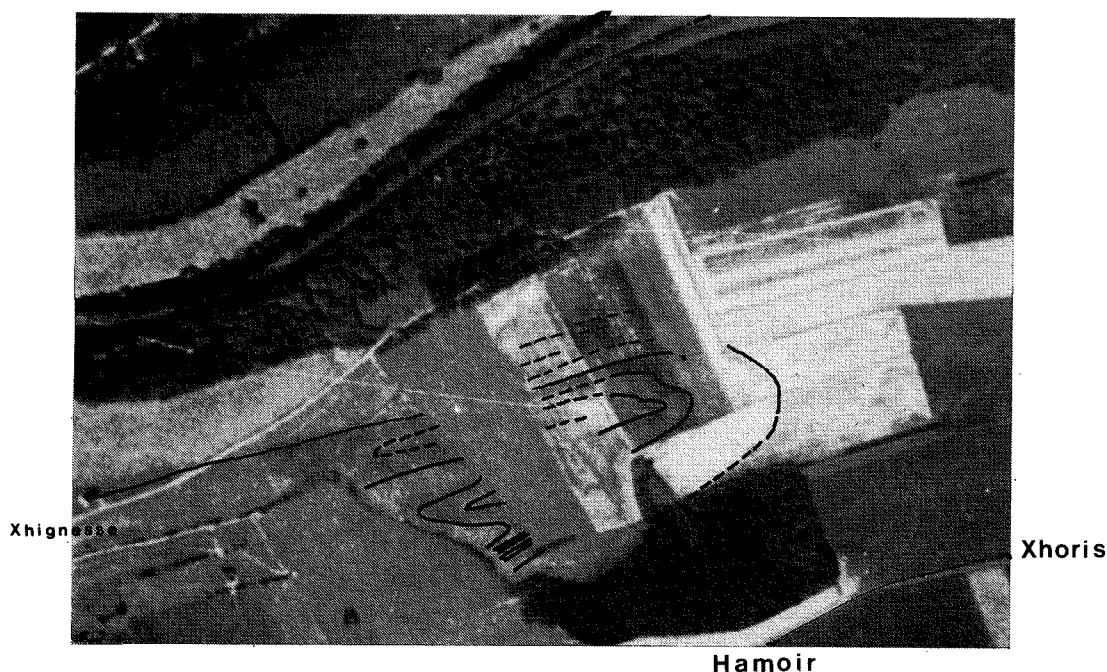


Fig. 3. - Structures géologiques apparaissant sur photo aérienne infrarouge, à l'Est de Xhignesse (Hamoir).

magnétiques, celles-ci ont été lues via l'installation du Centre de Traitement de l'information du Ministère de l'Education Nationale (I.B.M. 3083). Les scènes sélectionnées ont été transmises par ligne téléphonique permanente et modems aux terminaux du Département de Géologie du M.R.A.C. puis transférées par ligne série dans un système de traitement d'images numériques.

Quatre sous-scènes de 512x512 pixels (10x10 km) de l'image SPOT ont été sélectionnées : Theux, Xhoris, Ouffet et Dolembreux.

2. TRAITEMENTS

Des compositions en fausses couleurs ont été réalisées qui, dans ce cas précis, ne s'avèrent pas directement exploitables par le géologue, étant donné l'abondance de cultures, de forêts et les nombreux autres aspects du paysage dus à l'activité humaine.

Par contre, pour la recherche de linéaments, nous avons appliqué des traitements texturaux destinés à mettre en évidence des différences de tonalité de l'image dans des directions déterminées.

Les images de la bande spectrale X3 de SPOT (proche infra-rouge) ont été choisies pour ces traitements, en raison de leur excellent contraste et de l'absence de voile atmosphérique. Des essais ont également été effectués sur le canal X2 (rouge). Préalablement aux traitements structuraux, un étirement de la dynamique s-r toute la gamme des 256 niveaux de gris a été réalisé.

Les filtres appliqués, du type "valorisation bidimensionnelle orientée", présentent la structure suivante :

- dans une fenêtre de 3x3 pixels, se déplaçant sur toute l'image, la valeur du point central est remplacée par une nouvelle valeur en fonction d'un opérateur matriciel de la forme :

$$\begin{matrix} A(1,1) & A(1,2) & A(1,3) \\ A(2,1) & A(2,2) & A(2,3) \\ A(3,1) & A(3,2) & A(3,3) \end{matrix}$$

Les valeurs respectives des coefficients A déterminent le type de filtre et la direction à mettre en évidence.

Exemples

Soit les valeurs de gris de l'image de départ :

61	91	101	88	81	94	88	68
71	81	94	88	84	81	58	34
105	101	105	91	84	71	24	21
111	115	94	<u>64</u>	44	44	41	58
105	108	68	34	34	44	84	94
115	91	47	54	84	88	101	105
128	<u>74</u>	44	94	<u>118</u>	115	118	121
105	68	68	98	111	131	121	115

En appliquant à cette image un filtre vers le nord, correspondant à l'opérateur

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix}$$

on obtient une nouvelle image :

0	0	0	18	64	133
0	0	71	95	60	74
5	78	<u>154</u>	154	14	0
24	87	51	0	0	0
15	49	0	0	0	0
36	38	0	0	0	0

La valeur 154 correspond au calcul

$$\begin{matrix} +105 & +91 & +84 \\ +94 & -128 & +44 \\ -68 & -34 & -34 \end{matrix}$$

Les valeurs nulles correspondent à un résultat du filtre inférieur ou égal à 0.

Le calcul attribue des valeurs élevées quand des contrastes importants sont rencontrés en se déplaçant du sud vers le nord dans l'image et révèle les alignements est-ouest.

En appliquant à l'image initiale un filtre orienté vers l'ouest, correspondant à l'opérateur

$$\begin{matrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{matrix}$$

le résultat devient par contre :

0	24	54	18	82	119
0	32	51	7	72	134
33	120	102	60	40	12
112	167	97	36	0	0
189	109	0	0	0	0
<u>200</u>	14	0	0	0	0

La valeur 200 correspond au calcul

$$\begin{matrix} +115 & +91 & -47 \\ +128 & -148 & -44 \\ +105 & +68 & -68 \end{matrix}$$

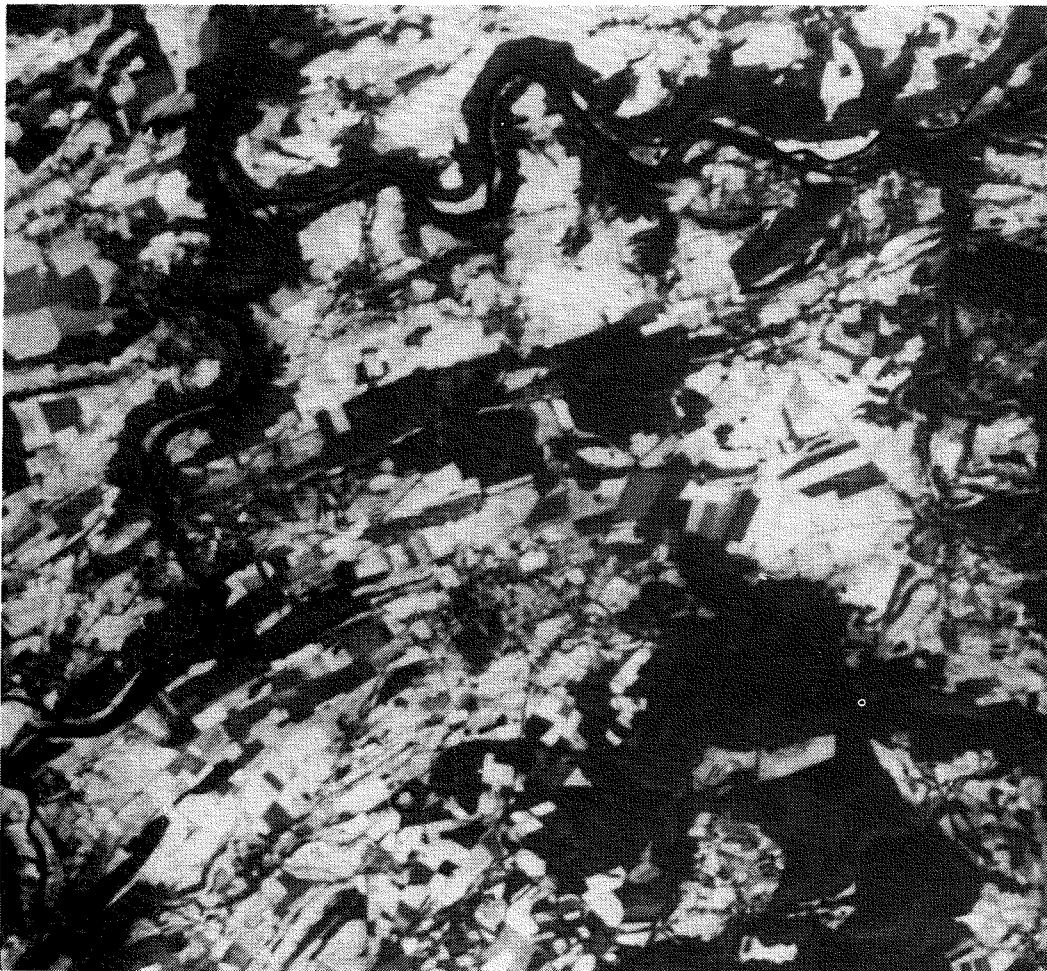


Fig. 4. - Vue SPOT (1er mai 1986) de la sous-scène de Combain-Hamoir-Xhoris - bande 3.

Ce filtre met donc en évidence les contrastes entre les valeurs de pixels dans la direction est-ouest, révélant cette fois les portions alignées nord-sud.

Les transformations de l'image par les filtres peuvent être modulées, soit par définition d'un seuil de filtrage (valeur de pixel originel sous laquelle le filtre ne s'applique pas), soit par intervention de coefficients de correction (division et translation des valeurs résultant du filtrage).

3. METHODE D'INTERPRETATION

Le procédé objectif de détection mis en oeuvre par l'utilisation de filtres automatiques conduit à un résultat où toutes les variations de contraste sont prises en compte, y compris celles dues à des limites sans relation directe avec l'objet de l'étude. Dans le cas concerné, les routes importantes, les limites de parcelles cultivées ou boisées sont mises en évidence aussi bien que les alignements de nature géomorphologique. Ensuite, on superpose par combinaison linéaire l'image filtrée à l'image originelle pour obtenir un document montrant à la fois les lignes résultant du filtrage et le

paysage. L'analyse de ce document facilite le choix des lignes à éliminer.

V. INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITES

A titre exemplatif, nous nous limiterons ici à une partie de scène (10x10 km), celle de Xhoris, limitée au nord par l'Amblève (d'Aywaille à Rivage) et à l'ouest par l'Ourthe (de Hamoir à Rivage).

1. INTERPRETATION DU FILTRE DIRECTIONNEL NORD

Il apparaît immédiatement que, sur ce document, les linéaments orientés SW-NE à WSW-ENE sont les plus nombreux et peuvent se suivre sur plusieurs kilomètres. La comparaison avec la carte géologique de synthèse montre que la plupart des traits liés à cette orientation sont à paralléliser ou à assimiler aux limites géologiques classiques du Condroz ou aux traits structuraux et lithologiques qui influencent le paysage et le modelé morphologique de cette région.

D'autre part, la comparaison avec la carte des failles fait apparaître une bonne superposition entre certains linéaments et des tracés de failles. Par exemple, à l'est de Hamoir, le tracé de la "faille de Xhoris" correspond au linéament relevé à cet endroit. Il faut noter que cette observation est facilitée car la faille,

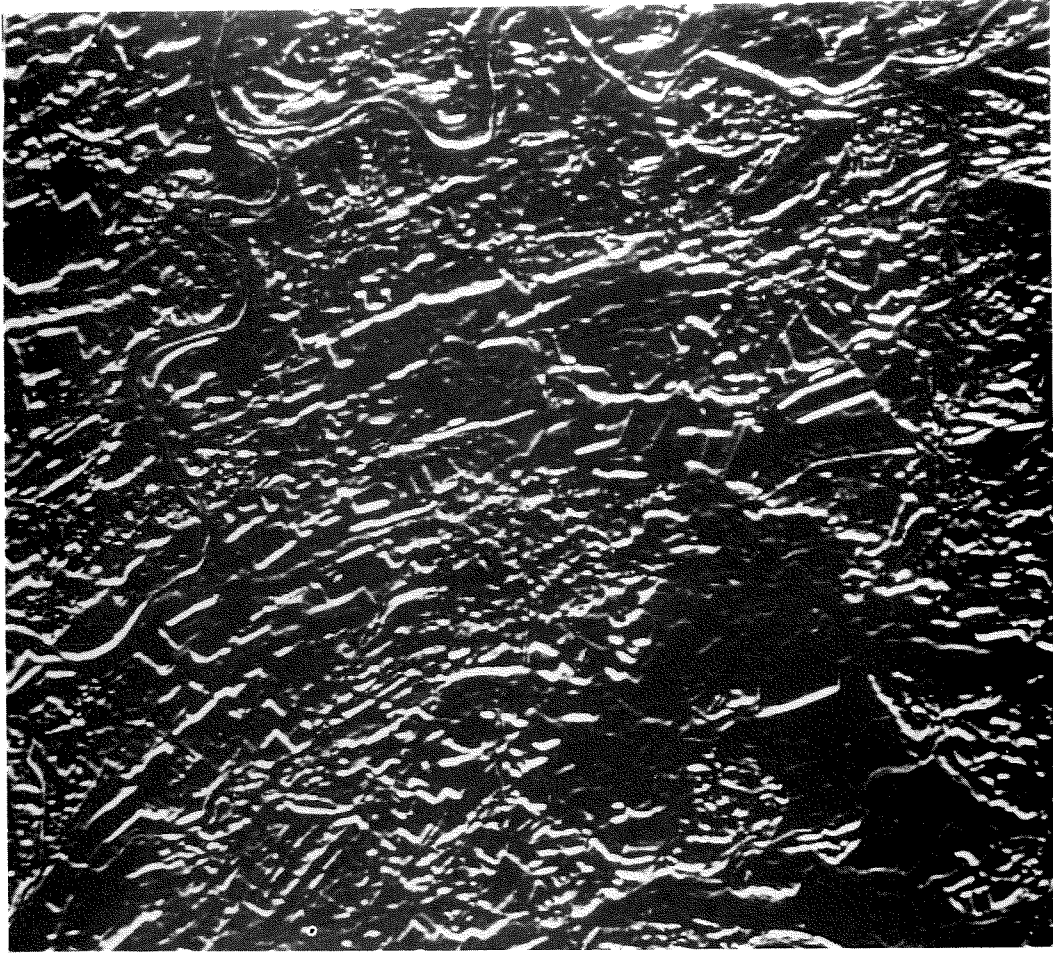


Fig. 5a. - Image SPOT de la sous-scène de Comblain-Hamoir-Xhoris.
Filtre directionnel N, bande 3.

Fig. 5b. - Calque d'interprétation de l'image SPOT (5a).





Fig. 6a. - Image SPOT de la sous-scène de Comblain-Hamoir-Xhoris.
Filtre directionnel W, bande 3.

Fig. 6b. - Calque d'interprétation de l'image SPOT (6a).



en cet endroit, met en contact deux lithologies différentes (schistes et calcaires). En outre, l'érosion développée au départ de l'Ourthe toute proche (niveau de base local) a entraîné la formation d'un abrupt au contact de ces roches, abrupt qui est souligné par la végétation et qui est, par conséquent, d'autant plus visible sur une image SPOT filtrée. Dans la plupart des cas, c'est de cette manière qu'apparaissent les couples "linéaments-faille" et "linéament-contact lithologique".

Dans le sud de la sous-scène apparaît très nettement un linéament associé à la vallée de la Limbrée (affluent de l'Ourthe à Logne) dont l'orientation est ENE-OSO. Une faille y est associée dont le tracé ne correspond pas parfaitement à celui de la vallée; celle-ci présente cependant un cours linéaire, malgré le développement de méandres, qui est parfaitement parallèle au linéament observé.

Par contre, des linéaments NNE-SSW, N-S et NW-SE remarquables sur cette image filtrée ne correspondent à rien de connu actuellement dans la cartographie géologique de cette région. Il semblerait cependant, au vu du nombre croissant de travaux qui y font allusion que certains changements se dessinent dans les conceptions de la structure géologique de cette partie du Synclinal de Dinant.

2. INTERPRETATION DU FILTRE DIRECTIONNEL OUEST

L'image qui apparaît grâce au filtre ouest semble fort différente de la précédente. Si certains alignements WSW-ENE (direction condrusienne) se notent encore clairement, ce sont cependant les directions méridiennes qui dominent. La comparaison avec la carte géologique n'apporte rien de neuf par rapport au filtre précédent. Par contre, la superposition de la carte des failles souligne plusieurs accidents N-S dont certains ont été décrits et cartographiés par P. NAA (1977) de part et d'autre de l'Amblève et par L. HALLEUX (1979) dans la région de Ferrières. Cependant, tous les linéaments N-S n'ont pas nécessairement un équivalent cartographié sur les planchettes géologiques. Il en est de même pour un remarquable linéament SE-NE qui recoupe pratiquement toute la sous-scène.

Ces nouvelles observations mettent en évidence des structures inconnues et inexplicables à ce jour, même dans une région parcourue et étudiée par de nombreux géologues. La signification de la présence de ces linéaments nécessiterait des études approfondies sur le terrain et une nouvelle approche en utilisant la prospection multi-technique faisant appel à la géophysique, la géochimie, la télédétection ainsi que des levés géologiques et géomorphologiques.

V. CONCLUSIONS

En conclusion, les images SPOT, traitées par filtres directionnels, nous ont permis sur la bande 3, de mettre en évidence des réseaux de linéaments dont certains correspondent à des tracés géologiques connus. Par contre, la reconnaissance de linéaments énigmatiques devrait permettre l'ouverture de nouvelles voies dans la conception de la géologie structurale de cette région.

Cependant, la limitation spectrale de SPOT rend malaisées les recherches de tonalité qui pouvaient être utiles dans la cartographie lithologique et la prospection de ressources non renouvelables.

Enfin, il serait intéressant d'obtenir la vision stéréoscopique par satellite de ce secteur en vue de déceler les possibilités de cette technique tant en cartographie géomorphologique que dans la prospection des linéaments.

REFERENCES

- CAZABAT, C. (1975) - Topologie ertsiennne de la France, premiers résultats. - *Société française de Photogrammétrie*, 60, 21-36.
- CHOROWICZ, J. (1984) - Importance of pattern recognition for geological remote sensing applications and new look at geological maps. - In: Remote sensing for geological Mapping. Téléki & Weber eds., documents BRGM, 82, 29-56.
- DONNAY, J., MACAR, P., OZER, A. & PISSART, A. (1976) - Observations sur photos aériennes de structures périglaciaires en Ardenne Centrale. - *Biuletyn Peryglacjalny*, 26, 205-209.
- HALLEUX, L. (1979) - Géologie et Hydrogéologie de la région de Ferrières. - Mémoire pour l'obtention du grade d'ingénieur civil géologue. Fac. des Sc. appl., ULg.
- NAA, P. (1977) - Etude de l'aquifère famennien au sud-ouest d'Aywaille. - Mémoire pour l'obtention du grade d'ingénieur civil géologue, Fac. des Sc. appl., ULg.
- OZER, A. & JACQUES, C. (1985) - L'importance des conditions climatiques dans l'apparition des structures géologiques sur photos aériennes. - *Bull. Soc. Géogr., Liège*, 21, 83-88.
- SESOEREN, A. (1976) - Linéaments analysis from ERTS images of the Netherlands. - *Geologie en Mijnbouw*, 55, 1-2, 61-67.
- TELEKI, P. & WEBER, C. (1984) - Remote sensing for geological Mapping (Télédétection appliquée à la cartographie géologique). Actes du Séminaire tenu à Orléans les 2, 3 et 4 février 1984. Téléki et Weber, eds., Documents BRGM, 82, 309 p.
- VANDENVEN, G. (1977) - Les Ardennes belges vues par le satellite ERTS 1 (Landsat 1). - *Bull. Soc. belge Géol.*, 86, 1-2, 51-56.

Erratum: références oubliées:

FOURMARIER, P. (1950). Compte-rendu de la session extraordinaire de la Société géologique de Belgique et de la Société belge de Géologie, tenue à Liege, Theux et Spa, du 15 au 18/09/1950. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 73: 151-218.

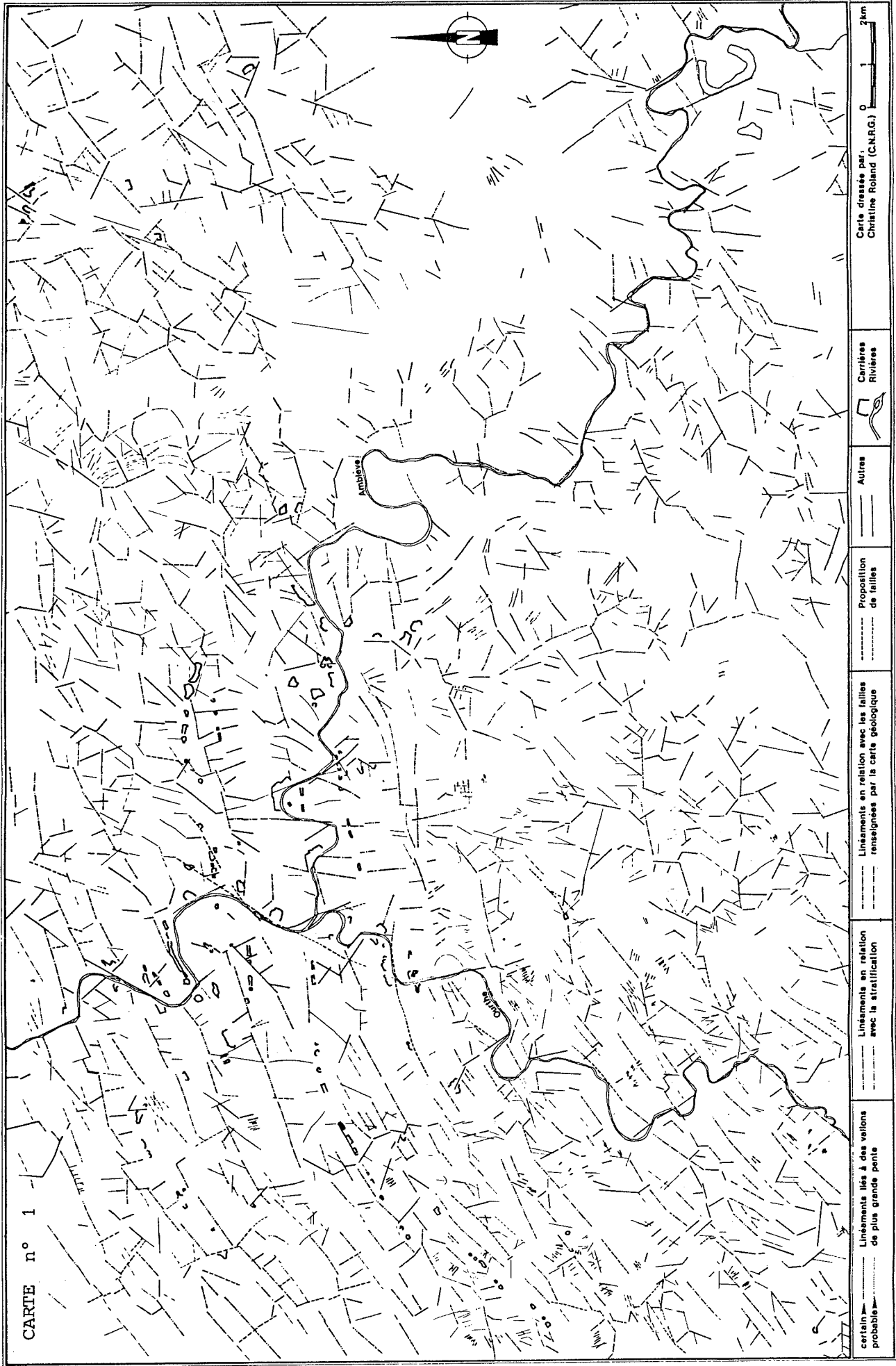
FOURMARIER, P. (1958). Carte géologique de la Belgique à l'échelle de 1: 25.000. Louveigné-Spa 59/3-4. *Service géologique de Belgique*.

GIROLIMETTO, F. (1986a). Cartographie géomorphologique de la planche 49 au 1/50.000. *Centre national de Recherches géomorphologiques, Documents de travail*, 26: 7-26.

GIROLIMETTO, F. (1986b). Les indices géomorphologiques de grands trait structuraux dans la Fenêtre de Theux. *Centre national de Recherches géomorphologiques, Documents de travail*, 26: 27-36.

HOBBS, W.H. (1911). Repeating patterns in the relief and structure of the land. *Geological Society of America Bulletin*, 22: 123-176.

Carte des linéaments de la planche 49



CARTE n° 1

Carte dressée par:
Christine Roland (C.N.R.G.)

Carières
Rivières

Autres

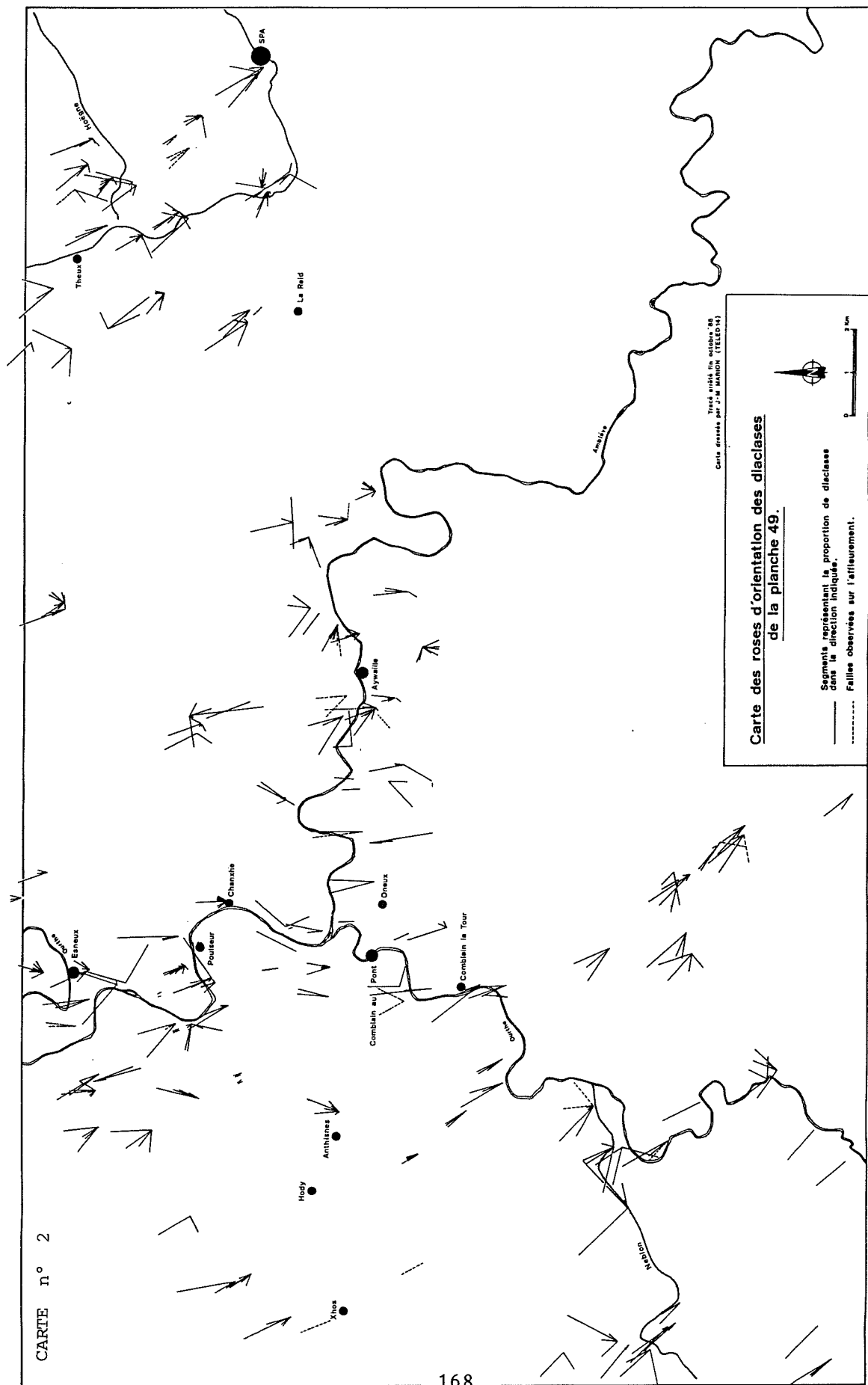
Proposition
de failles

Linéaments en relation avec les failles
renseignées par la carte géologique

Linéaments en relation
avec la stratification

Linéaments liés à des vallons
de plus grande pente

certains
probables



CARTE n° 2

Carte des roses d'orientation des diachases de la planche 49.

Cet ouvrage a été édité par le Service Géologique de la Région Bretonne

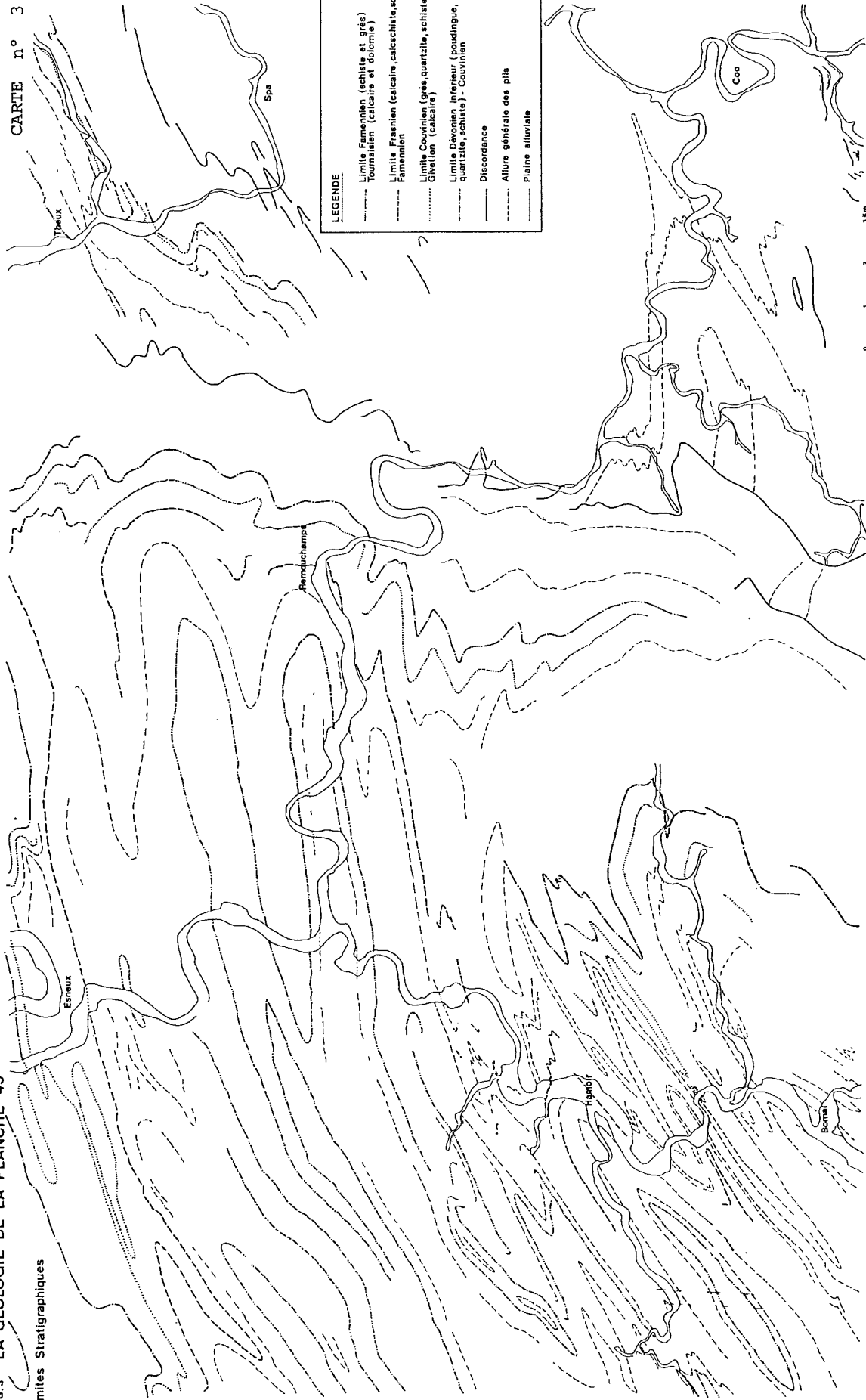
— Segments représentant la proportion de diachases dans la direction indiquée.
 - - - - - Failles observées sur l'affleurement.



FIG. 3 LA GEOLOGIE DE LA PLANCHE 49

Limites Stratigraphiques

CARTE n° 3

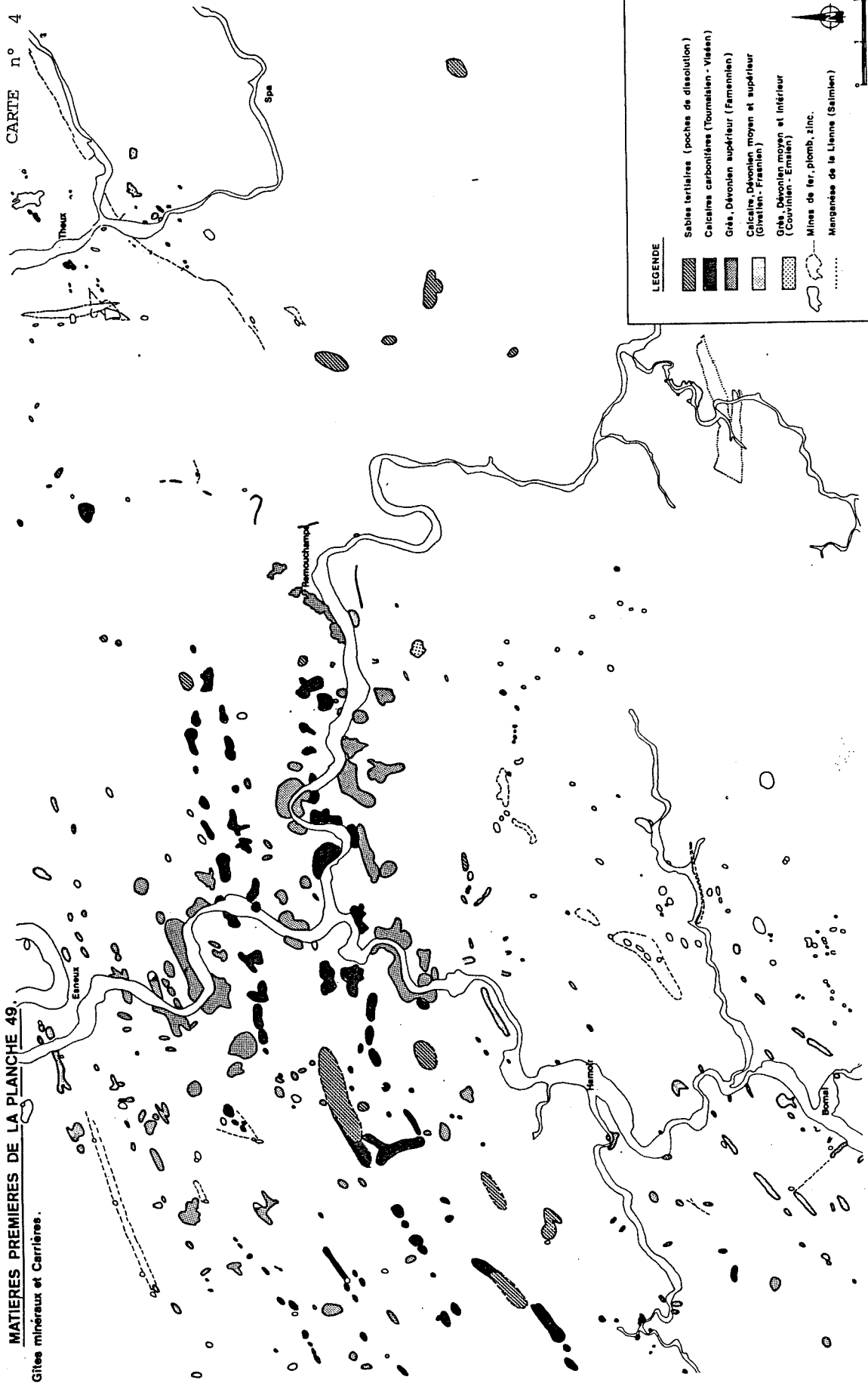


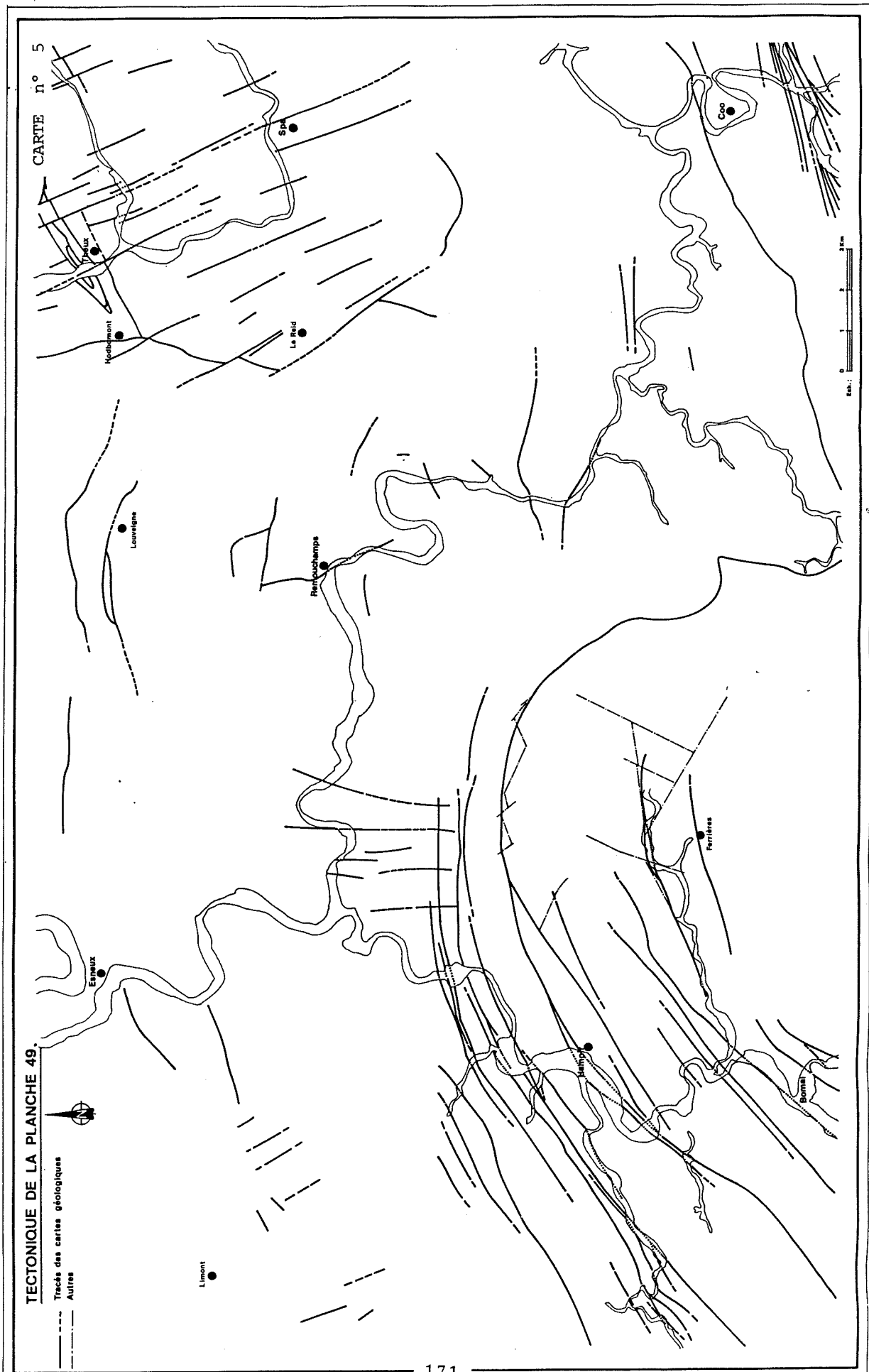
CARTE GEOLOGIQUE 4975-S N. OUBAR. INEDITE

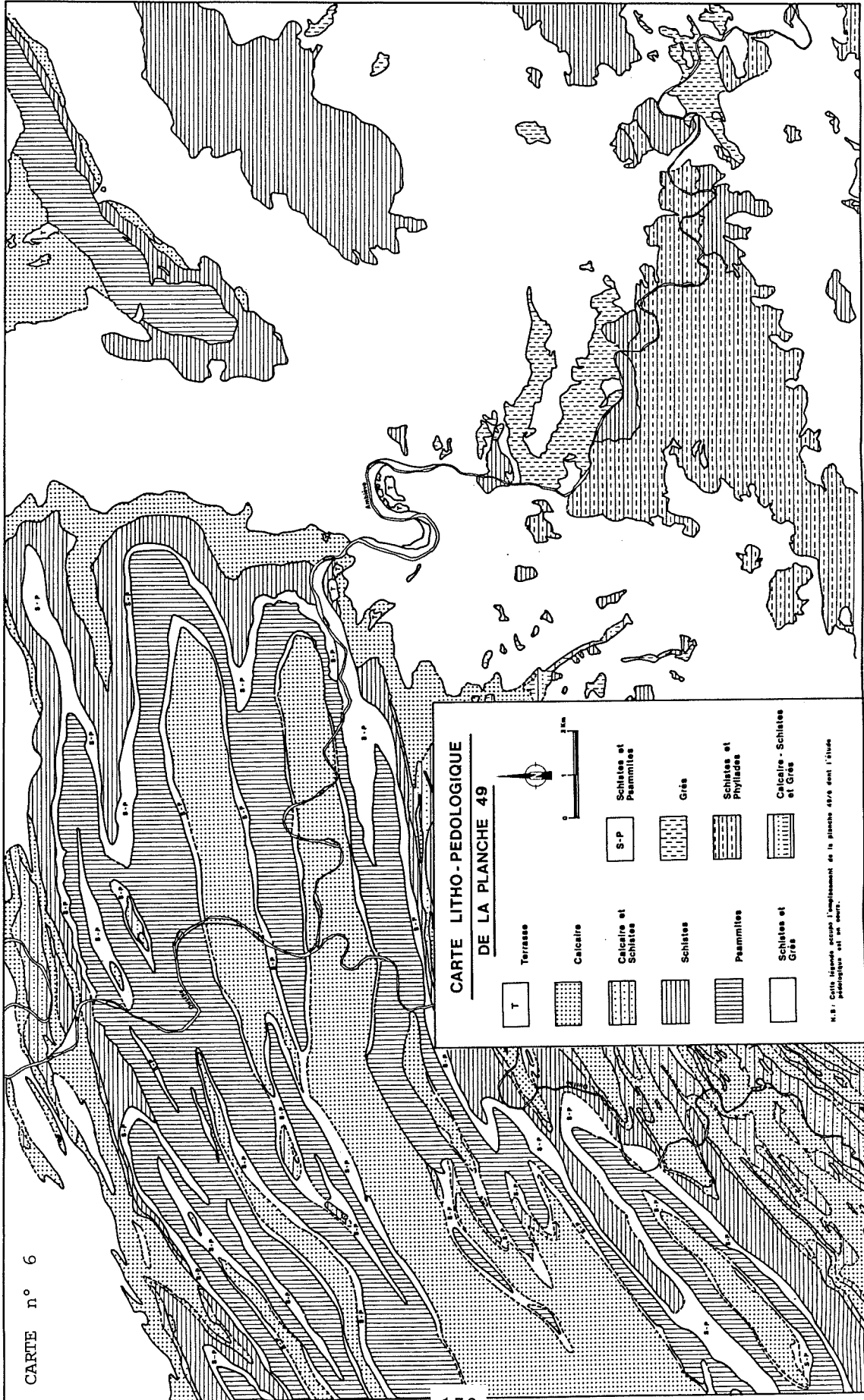
CARTE n° 4

MATIERES PREMIERES DE LA PLANCHE 49.

Gîtes minéraux et Carrrières.







CARTE LITHO - PEDOLOGIQUE
DE LA PLANCHE 49

T Terrasse
 Calcaire
 Calcaire et Schistes
 Schistes
 Psammites
 Schistes et Grès
 S-P
 Schistes et Psammites
 Grès
 Schistes et Phyllades
 Calcaire - Schistes et Grès

N.B. Cette légende occupe l'emplacement de la planche 49/A sur l'issue pédologique et en cours.