

Bulletin de la Société belge de Géologie	T. 93	fasc. 1-2	pp. 161-171	Bruxelles 1984
Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	V. 93	deel 1-2	blz. 161-171	Brussel 1984

ESSAI D'INTERPRETATION DE LINEAMENTS SUR IMAGES RADAR (SAR-580) DANS LA REGION DE DINANT

par H. LADMIRANT (1), Ph. TREFOIS (2) et G. VANDENVEN (3)

RESUME. - Un relevé de quelque 3.000 linéaments a été effectué sur images radar (bande X; $\lambda = 3,2$ cm) du SAR-580 dans la région de Dinant, à style géologique synantyclinorial. Leur numérisation et leurs traitements statistiques ont montré une forte similitude entre les roses de directions construites sur l'ensemble des linéaments géographiques et celles construites après une sélection des lignes visant à ne conserver que des linéaments liés à la géologie. La comparaison avec la carte géologique et des mesures de terrain ont montré que les pics mis en évidences par traitements statistiques coïncidaient avec des données structurales (stratification, fractures perpendiculaires aux axes de plis, fractures méridiennes postérieures au plissement).

I. INTRODUCTION.

La campagne SAR-580 a été organisée, en 1981, conjointement par l'Agence Spatiale Européenne (ASE) et le Centre Commun de Recherches (CCR) de la Commission des Communautés Européennes. Il s'agit d'une expérience destinée à réaliser des images radar sur une quarantaine de sites test répartis dans des pays européens : Royaume-Uni, République Fédérale Allemande, Suisse, Italie, Hollande, Belgique, Espagne, Autriche, France et Groenland.

Les données, tant analogiques que numériques, de l'imagerie radar intéressent de nombreux thèmes tels que l'agriculture, la pédologie, la sylviculture, la morphologie, l'hydrologie, l'océanographie, la glaciologie, l'occupation du territoire, la pollution, le génie civil, la géologie, etc., mais aussi des aspects technologiques très variés.

Ces données peuvent être analysées selon les différentes techniques de traitements d'images et d'interprétations qui sont déjà d'application généralisée pour les longueurs d'onde plus courtes des domaines du visible et de l'infrarouge.

L'aspect le plus séduisant de l'imagerie radar réside dans son emploi tous temps, l'image obtenue étant en effet totalement indépendante de l'éclairage solaire, de la brume et de la couverture nuageuse.

Dès janvier 1980, de nombreux Laboratoires de télédétection reçurent un appel d'offre d'expérience en vue de participer à cette Campagne. Pour la Belgique, deux propositions ont été retenues (fig. 1) : le site B1 principalement dévolu à des études agronomiques et géographiques s'étend de Namur à Anvers,

(1) Chef de la Section de Cartographie et de Photo-interprétation, Département de Géologie et de Minéralogie, Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique.

(2) Ingénieur-géologue attaché à la Section de Cartographie et de Photo-interprétation.

(3) Géologue-principal au Service géologique de Belgique.

II. REALISATION DES IMAGES.

Les images ont été réalisées par un avion Convair 580 appartenant au Centre Canadien de Télédétection et loué pour environ soixante heures de vol en Europe. L'avion, basé en Grande-Bretagne, a séjourné durant plusieurs semaines en Europe et les images de Belgique ont été réalisées le 24 juin 1981 vers 13 heures.

Ce Convair 580 possède un équipement particulièrement sophistiqué comportant notamment un système de détection à imagerie radar fonctionnant sur trois fréquences avec une haute résolution grâce au procédé d'antenne "à ouverture synthétique" (SAR).

Les trois bandes correspondent aux longueurs d'ondes :

bande X	$\lambda = 3,2$ cm
bande C	$\lambda = 5,7$ cm
bande L	$\lambda = 23,5$ cm

L'installation en bande X est permanente tandis que les bandes C et L ne peuvent être utilisées simultanément, leur permutation nécessitant une immobilisation de 2 à 3 heures.

Bien que les investigateurs de la ligne de vol B2 eussent préféré la bande L, qui est la bande favorite des géologues en raison de sa plus forte pénétration, les images ont dû, pour raison d'économie, être réalisées seulement en bandes X et C. Les documents qui nous ont été fournis ont été pris en double polarisation horizontale (HH), ce qui signifie une direction horizontale du vecteur électrique tant à l'émission qu'à la réception.

Les images, traitées optiquement par l'Institut ERIM (USA) ont une échelle non homogène moyenne de 1/150.000, soit 1/157.000 dans la direction du balayage, c'est à dire perpendiculairement à l'axe de vol, et 1/145.000 dans la direction du vol. La résolution au sol est de 1,5 m dans la direction du balayage

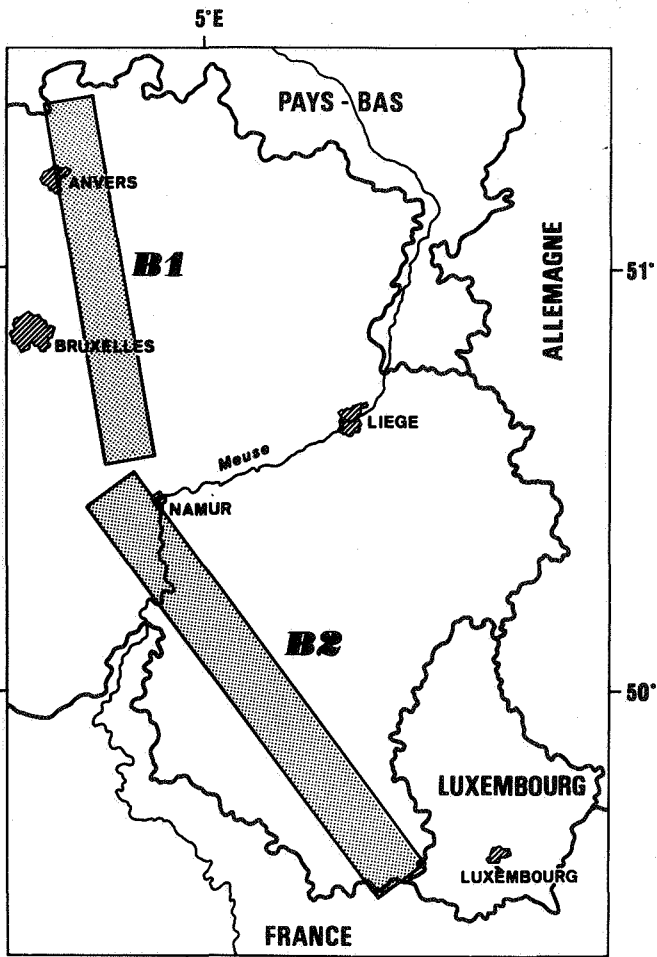


Fig. 1 - Situation des deux sites test belges pour le vol radar SAR-580.

et le site B2 destiné à des études géologiques s'étend d'Arlon à Namur. Les deux images analysées sont situées le long de la Meuse, dans la région de Dinant.

Le propos de cette note est de présenter les premiers résultats d'une analyse statistique de linéaments.

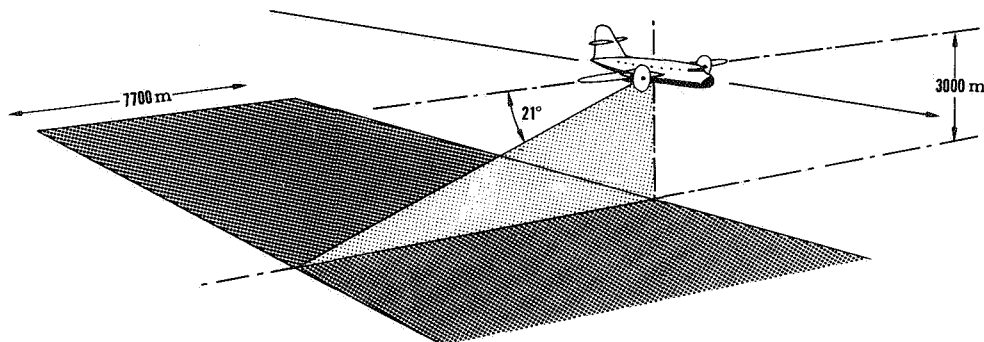


Fig. 2 - Paramètres géométriques du vol SAR-580.

et de 2,1 m selon l'axe de vol.

L'avion vole à quelque 3.000 m au-dessus du sol et l'antenne est disposée de façon à avoir une perception latérale à tribord (fig. 2). Le faisceau fait un angle de dépression de 21° et couvre une bande au sol d'une largeur de 7.700 m.

Lors de la prise d'image de la bande B2, l'avion a fait l'aller et retour (en X et C), avec décalage de l'axe de vol de façon à "imager" la même bande de terrain.

Les images étudiées ici portent les numéros 0525 et 0526 bande X et, ainsi qu'on peut le constater sur la fig. 3A, la largeur utilisable ne dépasse pas 50 % (partie centrale).

Des difficultés techniques dans le traitement des images et dans leur distribution ne nous ont pas permis de disposer des premiers documents analogiques avant le printemps 1983.

III. METHODE D'ANALYSE.

En bref, la méthode d'analyse consiste à comparer trois types de données, à savoir :

- des renseignements bibliographiques et principalement les cartes géologiques 166-Bioul-Yvoir et 175-Hastière-Vaux-Dinant,
- des observations de terrain avec mesures microstructurales,
- les résultats de traitements statistiques de linéaments relevés sur images radar.

III.1. TRAVAUX DE TERRAIN.

Durant près de trois semaines, deux géologues accompagnés de 7 étudiants ont effectué des observations de terrain avec mesures de microtectonique sur huit sites choisis en fonction de leur situation géographique et de leurs contextes lithologique et structural.

Du nord au sud, on a (fig. 4) :

- Sites 1 et 2 : (132 mesures) - Synclinal de Rivière (calcaires frasniens) et flanc nord de l'Anticlinal de Godinne (grès couviniens).
- Sites 3 et 5 : (166 mesures) - Ancienne carrière de Bonne Garde à Yvoir (grès et psammites famenniens) et ancienne carrière de Redau à Yvoir (calcaires et calcschistes tournaisiens). Ces deux sites se trouvent un peu au nord de la faille d'Yvoir.
- Site 4 : (67 mesures) - Rive gauche de la Meuse, au Nord du pont d'Yvoir (calcaires viséens et tournaisiens); un peu au Sud de la faille d'Yvoir.
- Site 6 : (98 mesures) - Carrière Sainte Anne (calcaires tournaisiens).
- Site 7 : (68 mesures) - Vallée de la Leffe, à l'ancien moulin (calcaires viséens).

- Site 8 : (26 mesures) - Lieu dit Pont d'Amour à Dinant (calcschistes tournaisiens).

Après vérifications et corrections, ces informations de terrain ont été constituées en fichiers de données qui a permis le tracer automatique des diagrammes stéréographiques (fig. 6).

III.2. RELEVÉ ET TRAITEMENT DES LINEAMENTS.

III.2.1. Relevé.

Les linéaments ont été dessinés directement sur les épreuves photographiques sur papier, amenées à l'échelle de 1/25.000 selon la direction de l'axe de vol. Dans un premier temps on a relevé toutes les lignes, alignements de points, limites de teintes qui présentaient une allure rectiligne et pour lesquels il était malaisé de reconnaître un lien certain avec l'activité humaine. Des lignes correspondant avec évidence à des routes, ponts, berges, constructions, etc..., ont été éliminées au départ. Il faut donc bien noter qu'il s'agit ici de lignes ou "linéaments géographiques" et qu'une grande proportion d'entre eux n'ont aucun lien avec la géologie. D'autre part, il est probable que des linéaments, essentiellement à base morphologique, n'ont pu être mis en évidence en raison même du procédé de vue latérale inhérent à l'imagerie radar.

III.2.2. Numérisation.

Les 2.985 linéaments géographiques ont ensuite été numérisés (par relevé des coordonnées rectangulaires des extrémités) et mis en fichiers de données sur ordinateur IBM 3031 qui a permis leur traitement statistique ultérieur.

III.2.3. Classements.

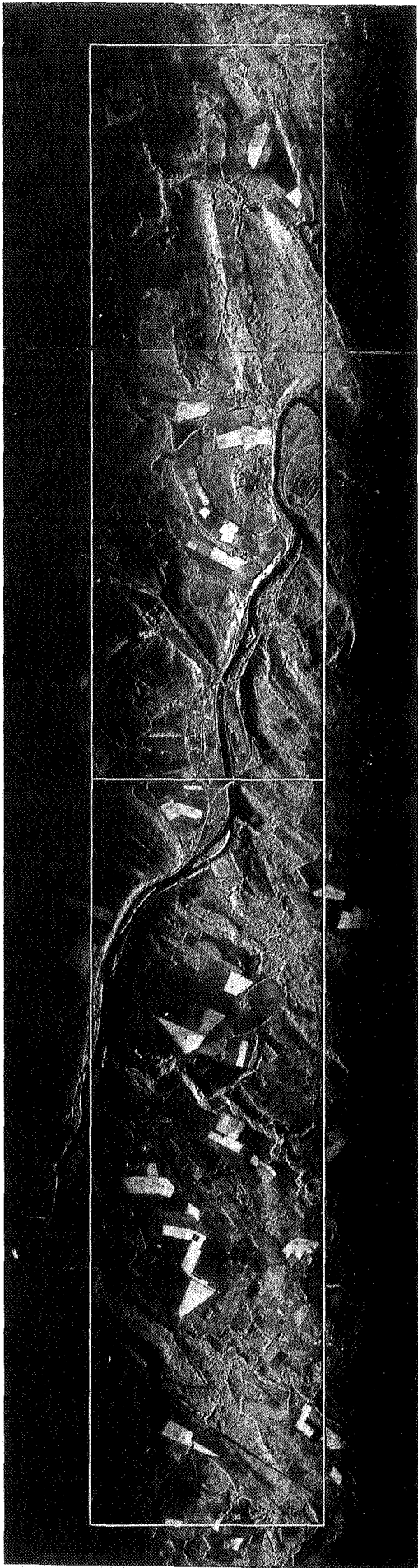
Le couloir étudié a été divisé en cinq zones (I à V, fig. 4) selon des différences dans la densité et dans l'aspect de la répartition des lignes qui apparaissaient à la première interprétation visuelle de la carte. Chacun des groupes a fait l'objet d'un tri par classes d'azimut au pas de 10°. Parmi les différents classements, nous n'avons retenu que les histogrammes de fréquences et de longueurs cumulées (en pourcentages) qui sont exprimés dans des roses de directions (fig. 4, F à O) ainsi que des histogrammes de longueurs moyennes (fig. 5).

De nouvelles cartes de lignes ont ensuite été produites (avec l'aide d'un écran graphique couleurs) en ne retenant pour chaque zone, que les lignes appartenant à un pic de fréquence choisie (fig. 7).

Classes mises en évidence :

Zone I (1483 mesures)	13	8	4	2
Zone II (458 mesures)	9	12	17	
Zone III (441 mesures)	8	10	1	
Zone IV (380 mesures)	9	1	15	
Zone V (133 mesures)	8	17	13	

Dans ces tris il a été tenu compte de l'étalement plus ou moins important



Assemblage des images SAR-580 n°0525 et 0526

Band X



Zones V, IV, III, II

Zone I



Fig. 3

Carte d'ensemble des 2985 linéaments relevés

des maxima de part et d'autre de la classe envisagée.

IV. COMMENTAIRES.

L'interprétation comparée des roses de directions des linéaments géographiques dans leur ensemble (fig. 4) permet de mettre en évidence les classes de lignes suivantes :

Classe 1 :

Les pics principaux (ν, β) varient de N70° à 80° E au sud (V) à N120° à 130° E au nord (I), en variant de façon progressive entre ces deux extrêmes dans les secteurs intermédiaires. Cette variation exprime, du sud au nord, une rotation de ces lignes vers l'est.

Classe 2 :

Un pic important est présent partout, dans une direction du méridien. Ce pic présente une tendance générale à accompagner la virgation des groupes de lignes de la classe 1, avec toutefois une répartition moins nette.

Classe 3 :

Deux pics moins importants, obliques au groupe principal, apparaissent également.

Cette interprétation des diagrammes seuls permet uniquement de suggérer des conclusions qui relèvent de considérations statistiques. En effet, plusieurs facteurs interviennent simultanément pour constituer les groupements en classes dominantes, les principaux étant la morphologie récente, l'occupation du sol, la topographie, les travaux routiers et forestiers, la structure géologique.

Les cartes de lignes appartenant aux groupes principaux des directions expriment la répartition sur le terrain des linéaments géographiques (fig. 7).

En vue d'estimer l'influence éventuelle des structures géologiques (stratifications, failles, fractures) sur l'ensemble des linéaments géographiques exprimés, nous avons opéré une sélection des lignes relevées sur photos radar.

V. SELECTION DES LIGNES.

La carte des linéaments géographiques étant superposée à la carte topographique régulière au 1/25.000 de l'IGN, tous les linéaments qui peuvent être rapportés à des lignes de la carte et qui ne paraissent pas présenter de relation avec la géologie sont éliminés (par ex. : ligne de force, coupe-feu, chemin, construction, limite champ/forêt, limite de champ unique, etc...). On obtient ainsi une carte expurgée des lignes dues à l'occupation humaine et l'on peut penser que la plupart des linéaments conservés sont le reflet de caractères géologiques.

Cette sélection n'est certainement pas parfaite en raison de la fréquente difficulté à identifier sur la carte topographique des lignes tracées sur image radar. L'anisotropie de l'échelle ne facilite pas le repérage.

Ces nouveaux documents ont été traités de la même façon que les premières

cartes de linéaments géographiques. Leur traitement a fourni cinq paires de roses de direction (fig. 4, P à Y).

Proportions des linéaments sélectionnés restant :

Zone I	40 %
Zone II	67 %
Zone III	54 %
Zone IV	46 %
Zone V	28 %

VI. COMMENTAIRES RELATIFS AUX LINEAMENTS SELECTIONNES.

- La suppression d'une partie des lignes dans le but de ne retenir seulement que les linéaments à signification géologique fait ressortir une très grande similitude entre les roses de direction construites avant et après sélection.
- La comparaison des roses de linéaments sélectionnés avec les mesures de terrain (diagrammes stéréographiques, fig. 6) montre que les pics principaux (ν, β) représentent, dans la majorité des cas, les traces des surfaces de stratification.
- Les roses des zones II et III, situés dans une région de plis envoyés, mettent en évidence les directions des deux flancs de plis (ν et β).
- Le "pic" (φ, δ) présente une tendance à accompagner la virgation des structures de stratification, mais il est moins affirmé et mal interprétable, surtout dans la zone I; il pourrait s'agir de la conjonction de deux types de structures :
 - des fractures associées au plissement, perpendiculaires à l'axe des plis, et suivant le mouvement de virgation (fig. 4, ν);
 - des fractures méridiennes (δ), postérieures au plissement, et dont la direction peut varier de N20°O à N20°E, de façon indépendante des plis.

Ces fractures sont peut être rapportables au système de linéaments méridiens relevé par G. VANDENVEN (1977) sur image Landsat, et dont un élément important par sa longueur (40 km) passe à environ 5 km à l'Ouest de la Meuse.

- Deux pics moins importants (ν', β'), obliques à la stratification représenteraient la classe des fractures "en losange" observées sur le terrain et associées au plissement. Il n'a pas été possible de distinguer des réseaux d'"intrados" et d'"extrados".

VII. CONCLUSIONS.

Cet essai d'interprétation montre que, malgré la mauvaise qualité technique des images du SAR-580, les images radar prises d'avion se prêtent bien au relevé des linéaments.

LINEAMENTS GEOGRAPHI
Longueurs cumulées

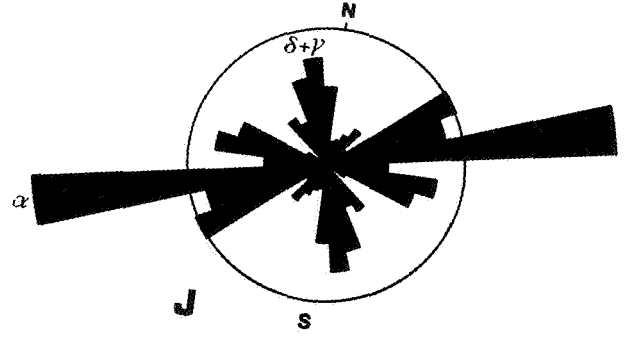
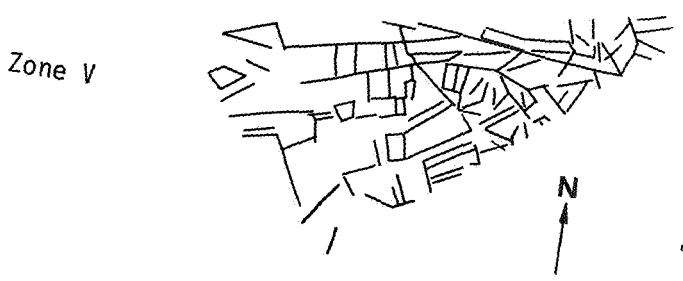
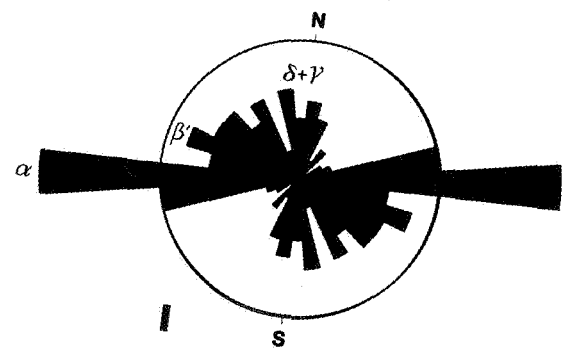
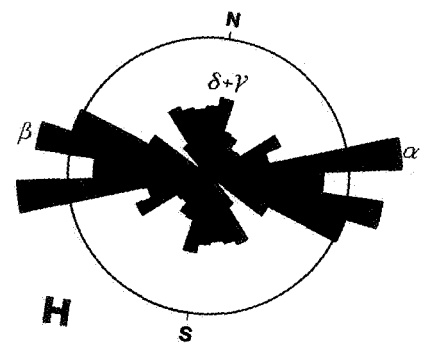
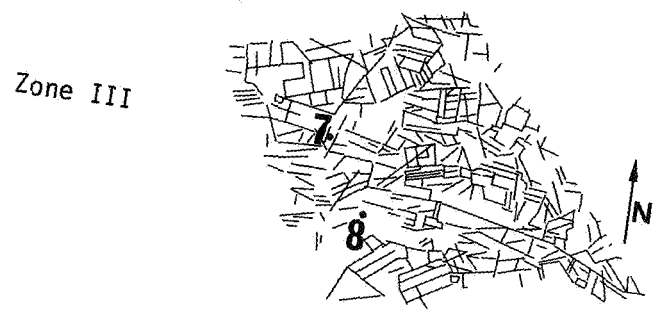
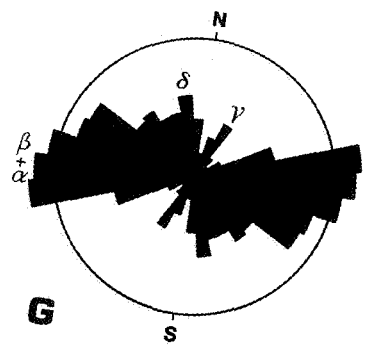
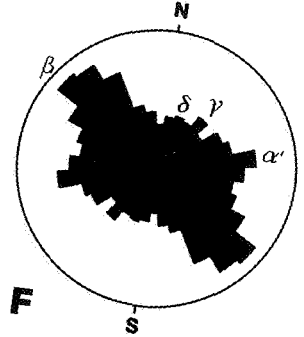


Fig. 4

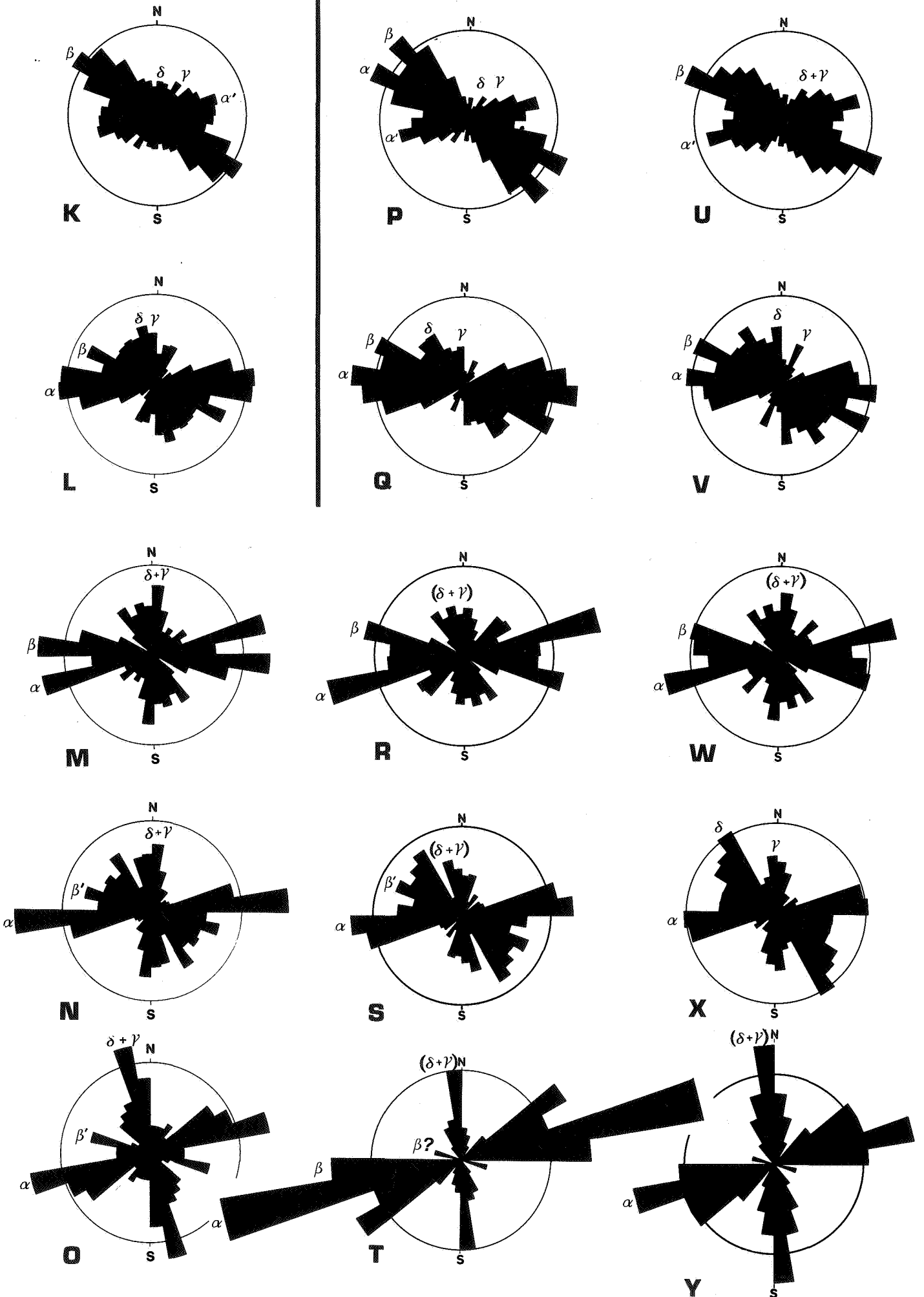
LINEAMENTS GEOGRAPHIQUES

LINEAMENTS SELECTIONNES

Fréquences

Longueurs cumulées (%)

Fréquences



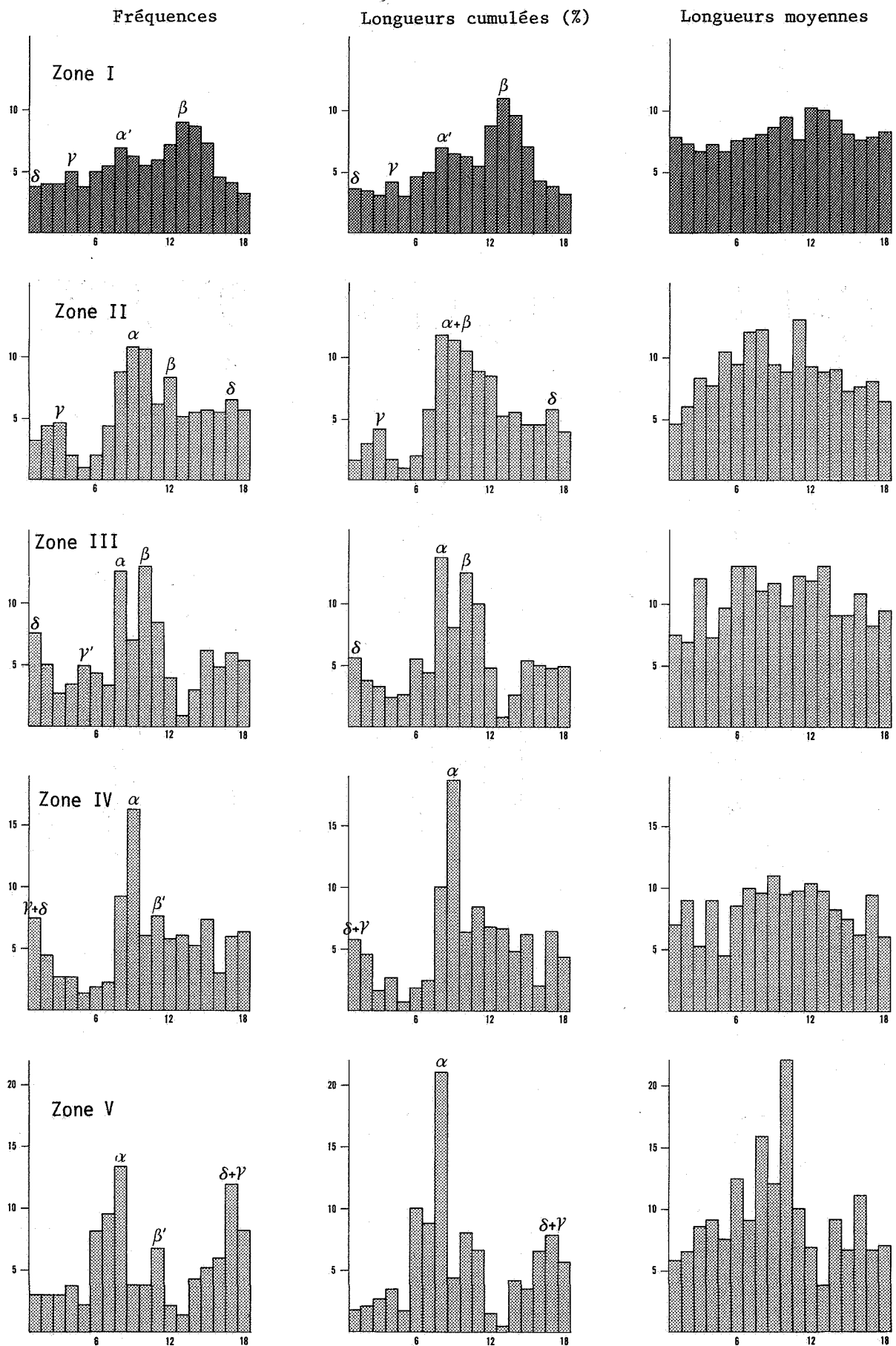


Fig. 5

Linéaments géographiques mis sous forme d'histogrammes.

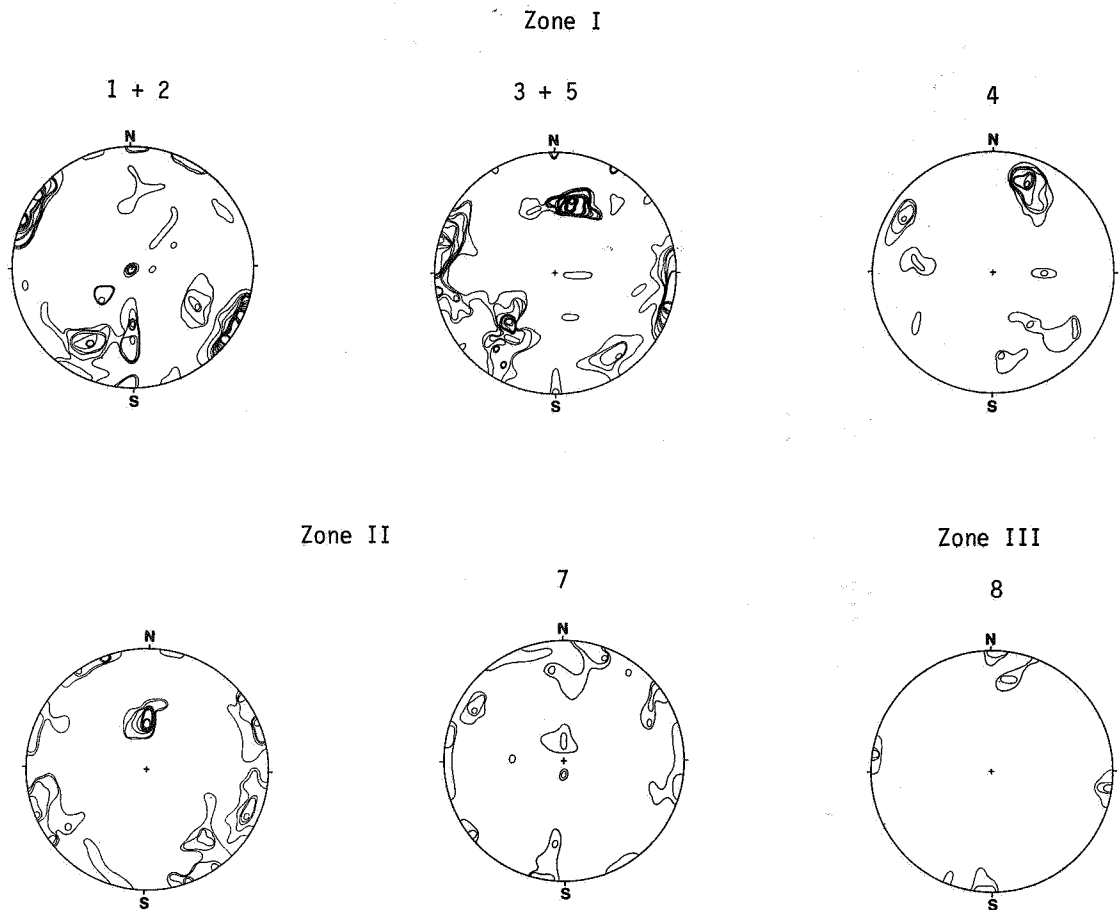


Fig.6

La suppression de lignes peu ou pas significatives dans le but de retenir seulement les linéaments ayant un lien probable avec la géologie fait ressortir une grande similitude des roses de directions construites avant et après sélection. Il semblerait donc que les traits géologiques structuraux puissent encore transparaître de façon remarquable dans un paysage qui a subi une occupation humaine aussi importante durant de nombreux siècles.

Bien que nous n'ayons pas été assez sévères dans la sélection des linéaments, la forte similitude des résultats est quelque peu rassurante en ce sens qu'elle minimise l'importance de linéaments "intrus" dans une étude géologique. Cette notion devrait être contrôlée dans d'autres régions.

La comparaison avec la carte géologique et les mesures de terrain montrent que les linéaments majeurs coïncident avec les traces de la stratification et même se dédoublent dans les aires d'ennoyage.

D'autres structures apparaissent, mais moins nettement : les fractures perpendiculaires aux axes de plis

et vraisemblablement des fractures de direction fixe, postérieures au plissement.

VIII. CARTES DE TRI.

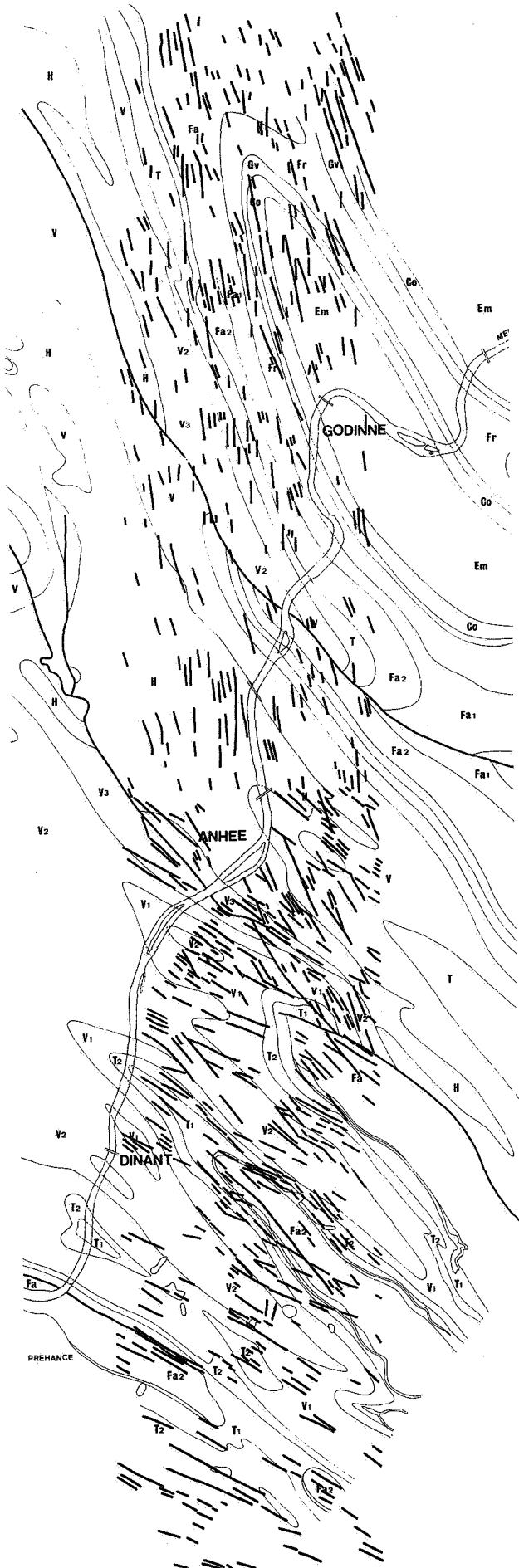
A titre d'essai de nouvelles cartes de linéaments géographiques ont été produites (avec l'aide d'un écran graphique couleurs) en ne reprenant pour différentes zones que les lignes appartenant à un pic de fréquence choisie. Il a été tenu compte de l'étalement plus ou moins important des maxima de part et d'autre de la classe envisagée.

La carte n° 1 (fig. 7) est issue d'un tri groupant les structures γ et β les mieux exprimées dans chaque zone, à savoir :

Zone I	β
Zone II	$\gamma + \beta$
Zone III	$\gamma + \beta$
Zone IV	γ
Zone V	γ

Ce choix est basé sur la forme des roses de direction et les valeurs d'histogrammes. Les pics peu exprimés (γ' et β') n'ont pas été pris en considération.

CARTE N°1 - TRI sur (α , β)



CARTE N°2 - TRI sur δ

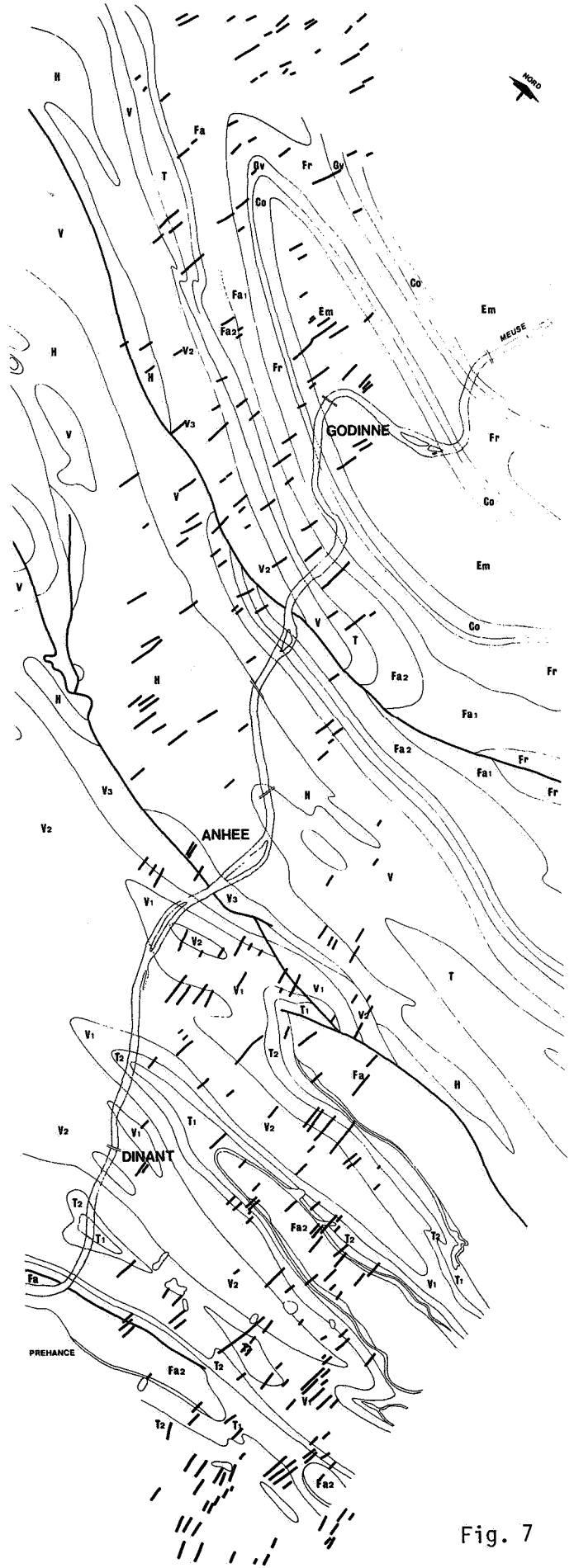


Fig. 7

Cette carte sur fond géologique fait ressortir le parallélisme des linéaments GEOGRAPHIQUES avec la direction de la stratification, y compris dans le mouvement de virgation.

La carte n° 2 (fig. 7), issue d'un tri de la classe 17 montre la constance dans la direction des lignes qui correspondraient aux directions de fracture δ .

LEGENDE LOCALE SIMPLIFIEE.

H	Houiller (schistes)
V	Viséen (calcaire massif ou bréchiqne)
T	Tournaisien (calcaire souvent en plaquettes, calcschistes)
Fa	Famennien (grès et psammites)
Fr	Frasnien (calcaire en gros bancs)
Gv	Givetien (calcaire bien stratifié)
Co	Couvinien (calcschiste, schiste, conglomérat)
Em	Emsien (grès, conglomérat, schistes)

IX. COMPOSITIONS COLOREES.

Diverses compositions colorées, réalisées par procédé Diazochrom, ont montré une sensible augmentation de la variété des teintes, particulièrement dans les zones de cultures, par la combinaison :

bande X positive en bleu
bande C positive en rouge

D'autre part la combinaison :

bande X positive en rouge
bande C positive en vert

confère à l'image une sensation de relief légèrement améliorée.

POUR VOUS Y RETROUVER :

ASE	Agence Spatiale Européenne.
CCRS	Canadian Center for Remote Sensing.
ERIM	Environmental Research Institute of Michigan (USA).
ESA	European Space Agency.
ERS-1	(European) Earth Resources Satellite (à lancer en 87)
IGN	Institut Géographique National belge.
JPL	Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, U.S.A. (dépend de NASA).
JRC	Joint Research Centre (of the Commission of the European Communities).
NASA	National Aeronautical and Space Administration.
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration.
RAE	Royal Aircraft Establishment, Bedford (U. K.)
SAR	Synthetic Aperture Radar (Radar à ouverture synthétique).

BIBLIOGRAPHIE.

- BARTHOLOME, Et. et BARISANO, E. (1983) - SAR-580 images for agricultural and forest survey, first results of Middle Belgium. *Proceedings of the Earsel/ESA Symposium on Remote Sensing Applications for Environmental Studies, Brussels, April 83*, pp. 115-122.
- DE GROOF, H. (1983) - Measuring landscape information content and distribution on a SAR-580 image. *Proceedings of the Earsel/ESA Symposium on Remote Sensing Applications for Environmental Studies. Brussels, April 83*, pp. 123-128.
- MACDONALD, H. C. (1969) - Geologic evaluation of radar imagery from Darien Province, Panama. *Modern Geology*, vol. 1, pp. 1-63.
- THE EUROPEAN SAR-580 EXPERIMENT 1981 - Experiment Plan (1980). *Documentation publiée par JRC et ESA*, 95 p.
- VANDENVEN, G. (1977) - Les Ardennes belges vues par le satellite ERTS-1 (LANDSAT-1), *Bull. Soc. belge Géol.*, T. 86, fasc. 1-2, 51-56.
- VANDENVEN, G. and WILMET, J. (1983) - (in TREVETT, J. W.) - Geology and Geomorphology in Southeastern Belgium. Preliminary Results of the SAR-580 Study. *Investigations Preliminary Report, Sept. 1983; Proceedings of the SAR-580 Investigators Workshop; Joint Research Centre Ispra Italy, April 1983, n° 3*, 27-35.

ABSTRACT

A preliminary study of the statistical repartition of lineaments observed on SAR-580 radargraphs shows a strong similarity between the complete set of observations and a set limited to those lineaments which seemed geologically determined (Dinant area, Belgium).

A structural field survey completed with the examination of the geological map shows that the peaks in the rose diagrams obtained from the direction of the lineaments are strongly correlated with the macrostructural elements (bedding, fractures perpendicular to fold axes, post-folding fractures).