

**DIRECTION NATIONALE DE LA GÉOLOGIE
ET DES MINES A BAMAKO (MALI)**

DNGM

**INSTITUT FRANÇAIS POUR LE
DÉVELOPPEMENT EN COORÉPATION**

ORSTOM

**CENTRE DE SÉDIMENTOLOGIE ET DE GÉOCHIMIE DE
LA SURFACE, STRASBOURG**

CNRS

**CUIRASSES LATÉRIQUES
ET MINÉRALISATIONS AURIFÈRES
DE LA RÉGION DE KANGABA AU MALI**

**CARTOGRAPHIE
PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE, GÉOCHIMIE
ET TÉLÉDÉTECTION**

Rapport de Première Phase

**Strasbourg - Bamako
Décembre 1986**

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	1
INTRODUCTION	3
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION DE KANGABA	7
CHAPITRE II :TELEDECTION	25
CHAPITRE III : PROFILS LATERITIQUES ET MATERIEL INDURE DE SURFACE	45
CHAPITRE IV : CARTOGRAPHIE GEOCHIMIQUE ET MINERALOGIQUE	67
CHAPITRE V : MORPHOSCOPIE ET GEOCHIMIE DE L'OR ELUVIAL DANS LES LATERITES	115
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE L'ETUDE	125
BIBLIOGRAPHIE	129
ANNEXES	

AVANT PROPOS

Ce programme est un exemple de coopération multilatérale entre un Service des Mines Africain et des Instituts de Recherche Français dans le domaine de la Géologie.

Ce programme est né du souci de la Direction Nationale de la Géologie et des Mines du Mali de résoudre le problème pratique de la prospection minière en pays latéritique.

L'objectif principal de ce programme est de mettre en place une méthodologie de cartographie thématique de la couverture latéritique du Sud et de l'Ouest-Mali, dans le but de fournir un support scientifique à la prospection des ressources minières en général et de l'or en particulier.

La région aurifère de Kangaba et plus particulièrement les secteurs de Dagadamou et de Banankoro ont été choisis comme chantiers pilotes de recherche, à cause :

- d'une importante minéralisation d'or dispersé faisant l'objet d'intenses prospections minières par des sociétés privées et de nombreuses exploitations artisanales par les paysans de la région ;
- de la grande extension de la couverture d'altération épaisse et fortement cuirassée en son sommet, qui concentre ou masque, selon les cas les minéralisations ;
- de la situation privilégiée de la zone de Kangaba, intermédiaire entre le lit du Niger et les Monts Mandingues, sur le versant Nord du Fouta Djallon, portant l'ensemble de la séquence des niveaux de cuirasses bauxitiques et ferrugineuses échelonnées dans le temps entre le Crétacé et le Quaternaire.

Une équipe pluridisciplinaire comprenant des chercheurs maliens de la DNGM (Direction Nationale de la Géologie et des Mines du Mali) et français de l'ORSTOM, du CNRS et de l'Université a débuté les recherches en 1984 par une mission exploratoire suivie par deux campagnes de terrain en 1985 et 1986, financées d'une part par le Fonds d'Aide à la Coopération Français (FAC) dans le cadre d'une convention et d'autre part par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et l'Institut Français pour le Développement (ORSTOM), dans le cadre d'une Action pluriorganisme et pluridisciplinaire Thématique Programmée (ATP). Il faut ajouter également la participation du Bureau français de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) qui a mis à disposition de nombreuses analyses ainsi qu'une aide importante aux missions de terrain.

Ce rapport préliminaire fait le point des travaux et des analyses effectuées jusqu'en fin décembre 1986. Il sera suivi d'autres rapports qui feront le point de l'avancement des travaux en cours.

Hilarion TRAORE
Directeur Général Adjoint de la DNGM

André NOVIKOFF
Directeur de Recherche à l'ORSTOM

Yves TARDY
Professeur et Directeur du CSGS (CNRS)

INTRODUCTION

1. Composition des équipes

Les personnes suivantes ont participé à ce travail : Emmanuel THERA, géologue et Hilarion TRAORE, directeur général adjoint de la DNGM du Mali ; Philippe FREYSSINET, chercheur ; Claude ROQUIN, chercheur ; Yves TARDY, directeur du CSGS (CNRS) de Strasbourg ; André NOVIKOFF, chercheur et Jean-Claude PION, chercheur de l'ORSTOM.

2. Déroulement des opérations : missions sur le terrain

Une mission de reconnaissance a eu lieu du 14 mars au 6 avril 1983 au Sud Mali, avec la participation de J.L. BOEGLIN (ORSTOM - Burkina Faso) et A. NOVIKOFF.

Du 22 mars au 20 avril 1984, mission à Kéniéba et Kangaba de J.L. BOEGLIN, A. NOVIKOFF et E. THERA, destinée au choix d'une zone test pour l'étude des cuirasses au Mali, premiers échantillonnages destinés à cette étude. Visite de Kangaba par Y. TARDY du 16 au 18 avril.

En 1985 mission de A. NOVIKOFF, J.C. PION et E. THERA, du 14 mars au 6 avril dans la région de Kangaba pour échantillonner les faciès cuirassés de la région.

En 1986 mission à Kangaba :

- de Ph. FREYSSINET et E. THERA du 17 janvier au 15 avril, de H. ZEEGERS du BRGM du 21 au 28 janvier et de J.P. AMBROSI du CNRS de Poitiers du 6 au 27 mars pour faire démarrer l'étude du cycle supergène de l'or en région latéritique ;
- de A. NOVIKOFF du 17 janvier au 12 mars, de C. ROQUIN et J.C. PION du 2 au 27 février pour finir d'échantillonner les faciès cuirassés de la région et contrôler la carte morphologique dressée au laboratoire ;
- de H. MARTIN, F. SONDAG de l'Université de Louvain et Y. TARDY du 21 au 25 janvier pour reconnaître la zone test.

Missions en France du personnel Malien :

E. THERA est venu en stage au CSGS à Strasbourg, du 10 juin au 10 septembre 1984 et du 4 septembre au 3 décembre 1986. Ces stages ont porté sur l'étude de la morphologie de la région, de la pétrologie et géochimie des faciès cuirassés ainsi que sur l'exploitation des données analytiques ; H. TRAORE a passé la première quinzaine de décembre 1985 et 1986 au CSGS pour se tenir au courant des travaux en cours et les coordonner.

3. Tâches entreprises et plan du rapport

Le travail scientifique s'est déroulé de la façon suivante :

- dans un premier temps, une carte morphologique au 1/50.000 a été dressée à partir de l'observation de photos aériennes. La morphologie de la région a été subdivisée en quelques unités, dont la réalité a été vérifiée sur le terrain par la suite. Cette étude a été menée par Ph. FREYSSINET, J.C. PION et E. THERA ;
- puis 570 échantillons de formations indurées ont été récoltés, dans des puits, mais surtout en surface, 180 d'entre eux ont été complètement analysés.

Au laboratoire, après observation sous la loupe binoculaire, les faciès indurés ont été décrits puis regroupés en 7 familles, caractérisées par leur différence d'organisation. Une partie d'entre eux ont été étudiés par microscopie optique et à balayage. Grâce à la diffraction de rayons X et à l'analyse thermique, il a été possible de connaître et quantifier les minéraux des cuirasses.

Des analyses à la microsonde électronique par dispersion de longueur d'onde, CAMEBAX, ont permis de situer avec une grande précision, les éléments majeurs et mineurs sur des lames polies d'échantillon. Cette partie du travail a été dévolue à A. NOVIKOFF.

Les analyses multiéléments faites à la torche à plasma (ICP) du CSGS ont permis l'étude des corrélations interéléments et l'établissement des cartes géochimiques, spécialité de C. ROQUIN. Les traitements statistiques et cartographiques ont été réalisés sur l'ordinateur IBM 3081 du CNRS à Strasbourg. Une partie des données utilisées par C. ROQUIN proviennent d'analyses faites par le BRGM pour le compte du syndicat or.

Le traitement des images du satellite SPOT, récemment acquises, est du ressort de J.C. PION et C. ROQUIN et se fait sur l'IBM du CNRS ainsi qu'au centre ORSTOM de Bondy.

L'étude de l'or, à laquelle le BRGM donne son appui matériel, a commencé, pour Ph. FREYSSINET, par une étude morphoscopique détaillée des grains au MEB. Actuellement, le travail en dehors de celui de terrain, porte sur la connaissance de la composition des différentes catégories morphoscopiques des grains d'or, afin d'en connaître l'évolution géochimique en milieu latéritisant.

Ce rapport comporte 5 chapitres.

- Le premier est consacré à la présentation de la région, son climat, sa végétation, sa géologie et sa morphologie.
- Le deuxième traite de la télédétection et on y présente l'apport de cette discipline dans les travaux morphologiques et les perspectives qu'elle offre dans l'étude des zones cuirassées.
- Dans le troisième chapitre sont présentés les résultats des études pétrologiques, minéralogiques et géochimiques des faciès indurés de surface avec dans une première partie la description de puits d'une toposéquence. Nous nous trouvons, ici, dans le domaine de la

formation et de l'évolution des cuirasses.

- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de la répartition régionale des éléments, des minéraux. On a ainsi une vision plus globale du phénomène de cuirassement et des phénomènes géochimiques qui l'accompagnent, tout cela traduit sous forme de cartes.

- Le cinquième et dernier chapitre traite de l'or, métal toujours présent dans la région et qui fait vivre bien du monde. Ses grains en sont décrits puis classés et analysés ce qui permet d'en déterminer, l'origine et l'évolution. On le trouve ainsi dissout, précipité et en définitive dispersé dans les profils latéritiques.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA REGION DE KANGABA

La zone intéressante est située entre le Niger, la frontière de la Guinée et les villes de Kourémalé et Kangaba au Mali, c'est-à-dire dans un quadrilatère dont les sommets se situent à :

Longitude Ouest

11°36'80"
17°39'20"
11°57'60"
11°56'50"

Latitude Nord

8°44'90"
8°51'
8°47'50"
8°24'80"

La surface est de l'ordre de 1200 km².

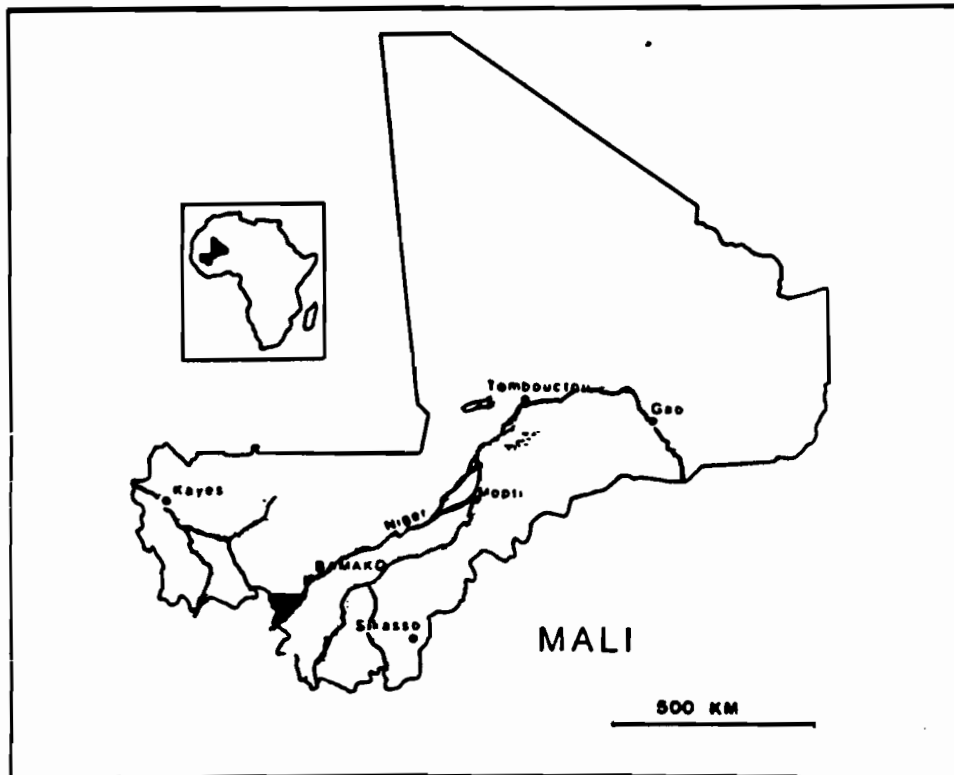


Fig. 1 - Carte de situation de la région de Kangaba.

I - LE CLIMAT

Le Sud du Mali est situé en domaine tropical à deux saisons contrastées, c'est un climat du type soudanien (AUBREVILLE, 1949). RICHARD MOLLARD (1949) a établi une classification des climats plus détaillée qui tient compte des subdivisions de la végétation et sépare le Sud du Mali en deux zones :

- zone de climat nord soudanien : $650 < P < 1000$ mm.
- zone de climat sud soudanien : $P > 1000$ mm.

La région de Kangaba est une zone de transition climatique où du Nord vers Bamako, le climat est nettement de type nord soudanien alors qu'au Sud vers Kankan ou Siguiri en Guinée les conditions climatiques sont sensiblement différentes, de type sud soudanien voire guinéen.

La température

Les variations de températures moyennes le long de l'année s'étalent entre 22° et 32° C avec deux maximum en début et fin de saison sèche et deux minimum en décembre-janvier et en août, mois le plus humide.

La pluviosité

La pluviosité est le facteur climatique le plus important à la fois par la hauteur d'eau annuelle et par l'étalement de la saison des pluies. La pluviosité annuelle moyenne est de 1000 mm à Bamako et augmente progressivement vers le Sud pour atteindre 1500 mm à Kankan. La durée de la saison des pluies tend également à s'étaler vers le Sud ; elle passe de 5 mois à Bamako à 7 mois vers Kankan à la frontière guinéenne.

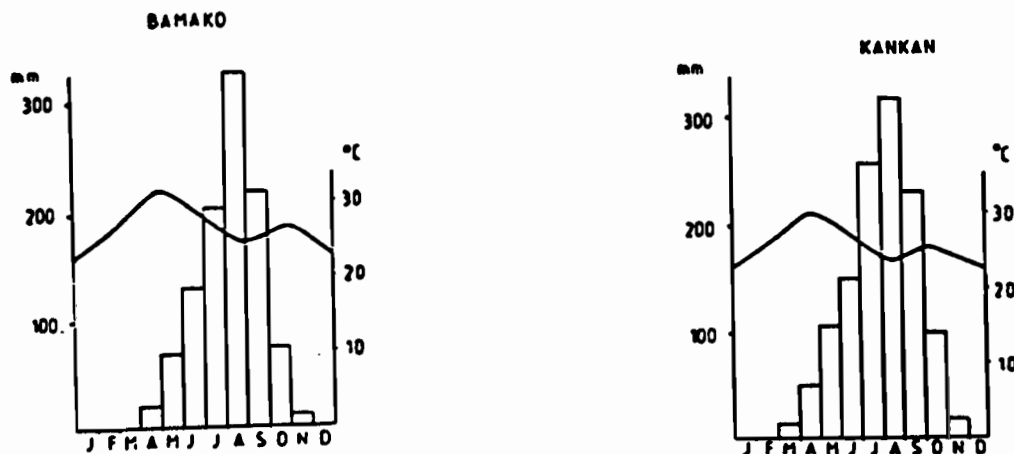


Fig. 3 - Variation de la température et histogramme de la pluviosité.

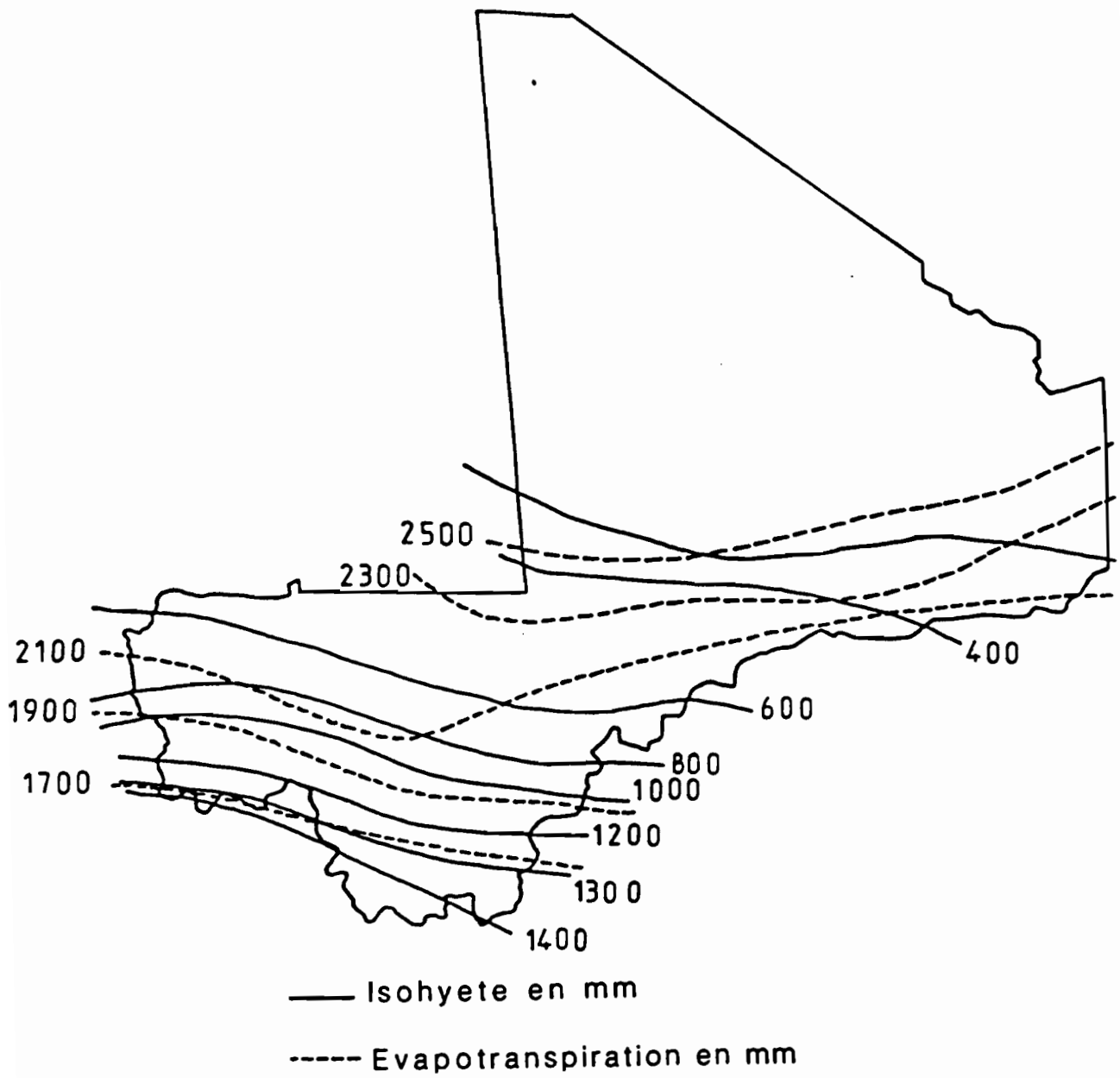


Fig. 2 - Carte de la pluviométrie et de l'évapotranspiration.

Humidité relative et pouvoir évaporant de l'air

L'humidité relative de l'air est basse pendant la saison sèche, inférieure à 35 % de novembre à avril à Bamako et de novembre à février à Kankan. L'amélioration hygrométrique précède la saison des pluies, annonçant la remontée vers le Nord des masses d'air humide. Le maximum se situe pendant le mois le plus pluvieux. Les déficits hydriques cumulés atteignent des valeurs fortes, même dans cette région où la pluviosité est de l'ordre de 900 à 1100 mm.

La distribution des précipitations, des températures et de l'humidité est régie par le déplacement du Front Inter Tropical (F.I.T.) qui oscille entre le cinquième et septième parallèle en janvier et le vingtième parallèle en août (LEROUX, 1983). Ce front correspond à la zone de contact entre deux masses d'air :

- une masse d'air continental sec au Nord-Est, donnant les vents alizés continentaux ou harmattan.
- une masse d'air maritime et humide au Sud-Ouest engendrant la mousson guinéenne.

L'évapotranspiration augmente vers le Nord, en particulier en saison sèche.

II - LA VEGETATION

Le domaine de végétation correspond à la savane arborée entre les isohyètes 700 à 900 mm, avec des grands arbres isolés et un tapis herbacé continu. Plus au Sud, c'est la savane boisée qui domine avec de la forêt claire qui apparaît en bordure des cours d'eau et dans des îlots résiduels. Elle marque l'apparition des influences guinéennes plus méridionales.

Le domaine de végétation correspond à la forêt claire et à la savane boisée.

III - LE RELIEF ET L'HYDROGRAPHIE

Le Sud-Ouest du Mali présente un modelé de pénéplaine mollement ondulée (DRESCH, 1953), drainée principalement par le Niger et son affluent, le Bani. La plaine du Niger est bordée à l'Ouest par les contre-forts du Fouta Djallon en Guinée et au Nord, par les plateaux Mandingues, couverts de grandes étendues cuirassées ferrugineuses ou bauxitiques (MICHEL, 1969). Des abrupts ont été dégagés sous l'action de l'érosion. Les

Plateaux Mandingues culminent à 810 m au Gangaran Kourou.

Le fleuve Niger prend sa source en Guinée à 800 m d'altitude. Dans son cours supérieur, il coule suivant une direction SW-NE, dans son cours moyen, sa pente devient plus faible et il constitue un véritable delta intérieur de direction E-W dans la région de Ségou.

IV - LA GEOLOGIE

Le substratum du Sud Mali est constitué en majeure partie par le système Birrimien du Précambrien. Ce socle est bordé au Nord par les formations gréseuses du Précambrien supérieur.

A. LES ZONES BIRRIMIENNES

1. Généralités

Les formations birrimiennes ouest africaines ont été étudiées par de nombreux auteurs (ROCQUES, 1948 ; BONHOMME, 1962 ; ROCCI, 1965 ; BLACK, 1967 ; BESSOLES, 1977). Elles se présentent sous la forme de "sillons" larges de quelques dizaines de kilomètres et s'allongent parfois sur quelques centaines de kilomètres. Elles sont séparées par des zones granitisées ou migmatitisées pouvant correspondre, soit à un socle antébirrimien, soit à des manifestations granitiques appartenant à l'orogénie éburnéenne (2500 à 1600 M.A.).

Les auteurs distinguent en général, deux types d'unités : le Birrimien inférieur à dominante volcanique et volcanosédimentaire et le Birrimien supérieur à dominante sédimentaire.

Les hypothèses concernant la mise en place des formations birrimiennes sont assez controversées. D'après les travaux de JUNNER (1954), le birrimien serait partagé en sillons eugéosynclinaux et miogéosynclinaux du type alpin. Le remplissage des eugéosynclinaux se faisant par un groupe de formations volcaniques et volcanosédimentaires à la base, souvent de nature ophiolitique, surmonté par un groupe de type flysch et de molasse.

Actuellement, il semble que le birrimien se comparerait beaucoup mieux avec ce que l'on observe dans les massifs du domaine hercynien ou des svecofennides (BASSOT et al., 1981). Le birrimien serait divisé en unités correspondant soit à des formations de fosses profondes où le volcanisme serait dominant, soit à des "bassins" peu profonds à dominante sédimentaire.

Il convient d'ajouter que le birrimien a été l'objet de granitisations souvent importantes, parmi lesquelles on peut distinguer :

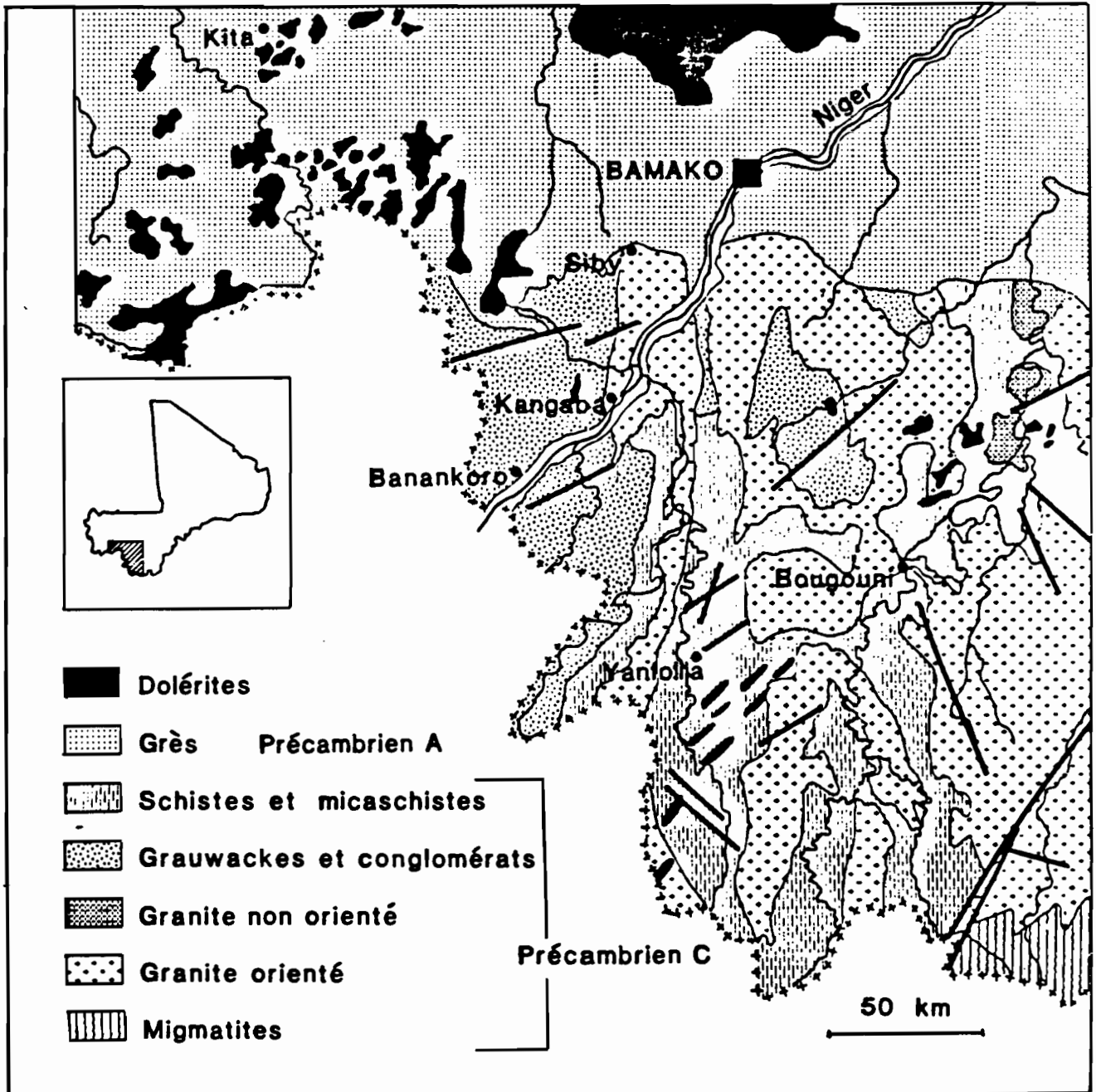


Fig. 4 - Carte géologique du Sud-Ouest du Mali.

- les granites et granitoïdes orientés (type "Baoulé") provenant de la paléogénèse du vieux socle antébirrimien.
- les granites orientés mis en place pendant l'orogénie éburnéenne.
- les granites de type "Bondoukou", en massifs discordants post tectoniques.

Une chronologie des événements géologiques du Précambrien C a pu être établie à partir des différentes datations effectuées en Afrique de l'Ouest sur des formations birrimiennes :

- 2300 MA : début de la mise en place du volcanisme basal des unités birrimiennes.
- 2100 à 1950 MA : phase tectonométamorphique majeure de l'orogénie éburnéenne avec mise en place des grands massifs syntectoniques granodioritiques ou granitiques.
- 1900 à 1650 MA : mise en place de roches magmatiques post tectoniques à tendance alcaline.

2. Les unités birrimiennes de Siguiri et Yanfolila

La région de kangaba est située dans l'unité birrimienne de Siguiri - Kankan. Elle dessine une sorte de quadrilatère de 40.000 km². La plus grande partie intéresse la Guinée, le reste se situant au Mali. Cette unité est séparée du sillon de Yanfolila qui présente des caractères analogues. GOLOUBINOW (1950), SPINDLER (1962), BUSCHSTEIN (1973) et COTTARD et al. (1981) ont étudié la lithologie et la stratigraphie de ces régions. C'est un ensemble volcanique et volcanosédimentaire, plissé et diversement métamorphisé. Les séries sont très épaisses.

Lithologie et stratigraphie

Dans l'unité de Siguiri-Kankan R. GOLOUBINOW (1950) a distingué des faciès peu métamorphiques et des roches métamorphiques.

Les roches peu métamorphiques comprennent :

Des roches vertes : gabbros, dolérites, andésites, la plupart étant profondément saussuritisées et ouralitisées. Ces transformations s'accroissent à la périphérie de l'unité.

Des grauwackes schisteuses et arkoses, de teinte gris noir ou verdâtre. Tous les intermédiaires existent entre les arkoses et les schistes. Ils sont constitués de quartz, de feldspaths enrobés dans une matrice argillo-phylliteuse, on observe parfois des galets de schistes ou de granite. P. COTTARD et al. (1981) a décrit des niveaux à grauwackes et intercalations schisteuses au nord de la localité de Faboula. Les séries schisteuses ont été interprétées par J.P. SPINDLER (1962) comme étant des flyschs. Les arkoses sont accompagnées de schistes argileux. Des tourmalinites apparaissent au milieu des schistes.

Les roches métamorphiques sont représentées par :

Des micaschistes à biotites, des cornéennes qui accompagnent parfois les micaschistes, des para-amphibolites et des quartzites, intercalés en

bancs peu importants dans les arkoses schisteuses et les micaschistes.

R. GOLOUBINOW (1950) a noté la présence d'un réseau filonien important de quartz ; Ce quartz a souvent un aspect microsaccharoïde, il est parfois aurifère.

Les relations des granites et des terrains métamorphiques

Certains granites leucocrates à biotites, ou à deux micas, sont intrusifs dans les formations métamorphiques ; L'auréole de métamorphisme de contact varie de quelques mètres à plus de deux cents mètres.

Un massif de granite affleure près de Kangaba et se prolonge au Nord vers Kéniéroba. D'après P. COTTARD et al. (1981), il s'agit d'un massif de granite à grain grossier à biotite et amphibole qui semble constituer un massif ancien, de forme allongée, concordant aux structures majeures.

Stratigraphie

La stratigraphie de l'unité est mal connue. Par comparaison avec les résultats des études de N.R. JUNNER au Ghana, R. GOLOUBINOW (1950) définit un birrimien supérieur formé essentiellement de laves et un birrimien inférieur d'origine sédimentaire.

Les roches du bassin de Siguiri ont été affectées par un métamorphisme régional d'intensité variable, le plus souvent épizonal, pouvant parfois localement atteindre la mésozone.

Les terrains birrimiens sont généralement plissés et redressés à la verticale. Les directions tectoniques sont sensiblement Nord-Sud dans la partie ouest et nord de l'unité.

B. LES FORMATIONS GRESEUSES DU PRECAMBRIEN SUPERIEUR

Des grès infracambriens affleurent au Nord de la région de Kangaba. Ils forment les plateaux Mandingues et constituent la bordure sud du bassin de Taoudénit. Ces formations sont en contact discordant avec le socle birrimien. Il s'agit d'une formation typiquement épicontinentale à sédimentation irrégulière (DARS, 1961) formée de grès glauconieux et d'arkoses.

C. LES DOLERITES PERMO-JURASSIQUES

Les corps doléritiques sont essentiellement cartographiés dans les grès des plateaux Mandingues, mais il est fort probable qu'il en existe dans la région de Kangaba, masqués par les couvertures latéritiques. On observe des filons de dolérites de faibles puissances (1 à 20 m) et des sills de grandes dimensions, concordants avec les strates dans

lesquelles, ils ont été injectés. Les dolérites du Sud Mali se rattachent à l'association calco alcaline (DARS, 1961). Il semble que la datation de leur mise en place se situe entre 260 et 180 MA.

D. LES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

Le Sud du Mali est connu pour ses minéralisations aurifères. Cette région qui connaît encore l'orpaillage a probablement contribué massivement à la richesse de l'empire du Ghana (III^e au XII^e siècle), de l'empire du Mali (XIII^e au XVI^e siècle) et des royaumes qui leur ont succédé.

La plupart des minéralisations connues sont liées à des structures hydrothermales (filons quartzeux, zones d'injections diffuses) mises en place dans les formations birrimiennes. La présence de petits corps granitiques autour de plusieurs gisements laisse penser que le phénomène de granitisation a joué un certain rôle dans la reconcentration de l'or.

Le gisement de Kalana au Nord de Yanfolila est le plus important de la région. Il est constitué de quatre structures quartzieuses superposées, faiblement pentées, recoupant une série birrimienne de type flysch. Ces structures très complexes contiennent des sulfures divers, de l'or et de l'argent. On suppose que la mise en place du gisement est liée à la présence d'une intrusion granitique sous-jacente (BASSOT et al., 1980), qui a développé un système de joints à la fin de la cristallisation du magma, où les fluides hydrothermaux ont pu circuler.

D'autres types de gisements ont été découverts, comme par exemple le gisement de Loulo à l'Ouest du Mali. D'après DOMMANGET et al. (1985), la minéralisation est localisée dans des niveaux de grès à tourmaline de la série du Daléma. Un stockwerk à quartz et carbonates s'est développé uniquement dans les horizons de grès à tourmaline. L'or se trouve en fines inclusions dans la pyrite de ce stockwerk. Les caractères particuliers du niveau porteur et la présentation de la minéralisation sous forme d'un stockwerk restreint aux seuls horizons de grès à tourmaline indiquent une origine exhalative synchrone du dépôt de ces grès. La minéralisation ne semble pas liée à la mise en place d'un granitoïde.

V - LE CADRE GEOMORPHOLOGIQUE DES LATERITES DE KANGABA

Les paysages latéritiques suivent la zonéographie des climats. En milieu sahélien où l'érosion mécanique est importante, les cuirasses apparaissent sous forme de buttes témoins de superficie réduite. Plus au Sud, en zone tropicale humide, les reliefs prennent des formes en demi orange et les cuirasses sont masquées par d'importantes formations superficielles.

Par contre, en zone soudanienne les formations latéritiques sont particulièrement protégées et les cuirasses recouvrent d'énormes surfaces. Ces cuirasses apparaissent sous deux aspects morphologiques : en buttes témoins ou sous forme de vastes plateaux bien développés.

Il existe de nombreuses études sur les phénomènes de cuirassement en Afrique de l'Ouest, mais principalement au Sénégal, en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso (DAVEAU, 1960 ; DAVEAU et al., 1962 ; MICHEL, 1969 ; GRANDIN, 1973 ; BOULET, 1974 ; NAHON, 1976 ; LEPRUN, 1979 ; PION, 1979 ; BOULANGE, 1984 ; AMBROSI, 1984).

La région de Kangaba est située dans la ceinture soudanienne. Les cuirasses y occupent environ 80 % de la superficie et constituent l'armature principale du modelé.

A. LE RELIEF DE LA REGION DE KANGABA

La région de Kangaba peut être subdivisée en trois parties : la plaine du Niger au centre et les zones cuirassées en rive gauche et rive droite.

- La plaine du Niger est une plaine alluviale basse et rectiligne, sans doute implantée dans une structure tectonique du type fossé d'effondrement. On note parfois des organisations en terrasses à plusieurs niveaux qui peuvent correspondre aux alluvions anciennes (VOGT, 1968). Ces formations alluviales sont situées en rive gauche sur une largeur de 5 km et recouvertes par des sols hydromorphes. Il s'agit d'une zone très humanisée où les surfaces cultivées sont importantes.

- En rive droite, les altitudes progressent rapidement (360 à 440 m) vers l'Est. Les buttes cuirassées sont nombreuses et affleurent jusqu'au Niger. Les cuirasses constituent des plateaux allongés de plusieurs kilomètres et délimités par des rebords bien marqués. Les entailles de marigots sont profondes et forment des talus de 30 à 60 m de dénivelée. Il est parfois possible de voir affleurer la roche mère altérée dans le fond des talwegs.

- En rive gauche, l'altitude augmente progressivement lorsqu'on s'éloigne vers l'Ouest. Les plateaux cuirassés pendent faiblement en direction du fleuve et s'ennoient sous les alluvions du Niger.

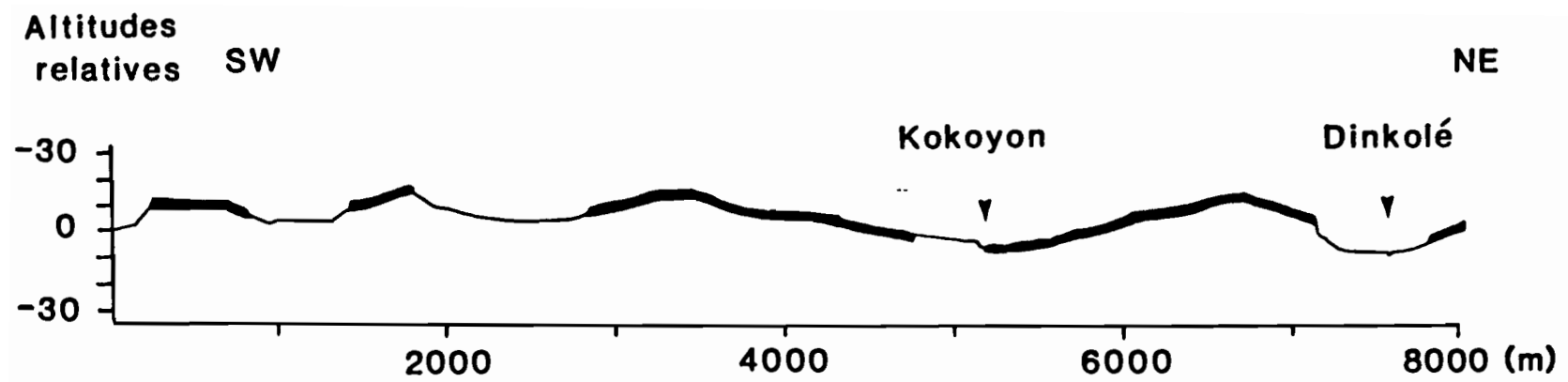


Fig. 4 bis - Coupe topographique des plateaux cuirassés.

B. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique montre une orientation N120 - N130 en bordure du Niger. En revanche, à l'Ouest et au Nord, il se réorganise pour prendre une orientation N-S et E-W.

Le type de réseau hydrographique est très lié à la morphologie des plateaux cuirassés. Dans un modelé à plateaux cuirassés bien découpés, le réseau est dense et prend des formes de treillis (Kokoyon). Dans une morphologie correspondant à de grandes étendues cuirassées, mollement ondulées et peu entaillées, le réseau hydrographique prend une forme dendritique ou dichotomée, sa densité est faible et il n'entaille pas la cuirasse. Ce type de réseau est circonscrit à la région de Dagadamou et aux zones de basse altitude en bordure du Niger.

C. LE MODELE DE LA REGION DE KANGABA

La topographie faiblement ondulée, dominée par de grands plateaux cuirassés est tout à fait caractéristique d'un substratum de schistes birrimiens (BOULET, 1970). Un exemple de coupe topographique dans la zone de Banankoro est donné dans la figure 4 bis. Il illustre bien les ondulations des plateaux aux interfluves. Toutefois on a défini deux types de modelés déterminés par la morphologie des plateaux cuirassés.

1. Description du paysage

Le modelé de la région de Kangaba est mollement ondulé et les dénivelées maximum sont de 60 m. La surface cuirassée est d'environ 80 % et constitue le "squelette" du relief. Les plateaux sont légèrement inclinés et les pendages varient de 1 à 10°. Le réseau hydrographique n'entaille les cuirasses que dans les parties aval, on observe deux types d'entailles : au sommet des interfluves ou plus couramment dans les vallées cuirassées (schéma 1).



Schéma 1 - Entaille de la cuirasse par le réseau hydrographique

Les plateaux cuirassés peuvent être classés suivant leur contours ; il existe 3 types de rebords de plateaux :

- Vers la frontière guinéenne, les plateaux ont des altitudes comprises entre 380 et 420 m. Les pentes sont relativement importantes, et les plateaux présentent des rebords verticaux de plusieurs mètres, souvent limités par un talus raide de 15 à 30 m de dénivelée. Les bowés sont inclinés, le plus souvent vers le marigot.



Schéma 2 - Plateaux à rebords bien marqués,
bordés par un talus non cuirassé

- Lorsque les pentes des bowés sont moins importantes, les talus diminuent progressivement d'amplitude puis disparaissent et l'entaille se limite à un rebord de plateau d'environ 1 m. Le découpage en "marche d'escalier" des rebords de plateaux est guidé par la présence de joints de circulations subhorizontaux dans la cuirasse, non indurés et remplis de matériel de démantèlement (photo 2).



Schéma 3 - Plateau à rebord de faible dénivelée
et interfluve entièrement cuirassé

- En bordure de la plaine du Niger, et principalement à l'Est de Dagadamou. Les plateaux ont des altitudes variant entre 330 et 380m. Les reliefs sont peu accentués et le réseau hydrographique entaille peu la cuirasse. Les bowés forment des croupes arrondies, au modelé ondulé, où les dépôts sablo-argileux occupent les zones déprimées. Les croupes cuirassées sont séparées par de larges talwegs comblés par des limons.

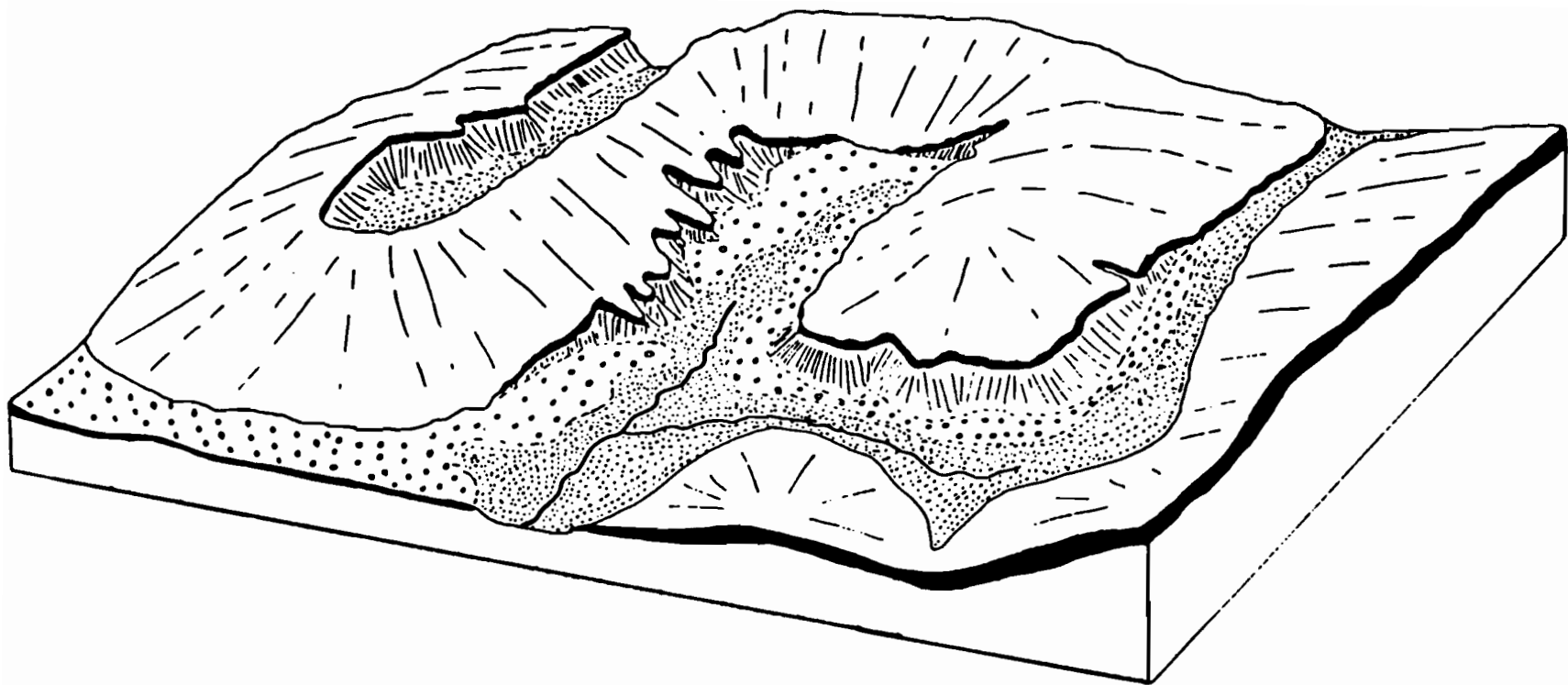


Fig. 5 - Bloc diagramme synthétique de la morphologie des plateaux cuirassés de la région de Kangaba.



Schéma 4 - Plateau sans rebords marqués

2. Morphologie de la zone de Banankoro et de Dagadamou

Deux zones tests dont les morphologies sont représentatives de l'ensemble de la région ont été cartographiées en détail (Fig. 5 et Fig. 6). Pour dresser les cartes, 7 unités morphologiques ont été définies à partir des observations de photos aériennes.

Carte morphologique de la zone de Banankoro

Le modelé de la région de Banankoro peut se décomposer en plusieurs unités morphologiques : dalle cuirassée principale, talus, glacis et talwegs (Fig. 5 et 6).

Les dalles cuirassées sont épaisses et forment de grands plateaux allongés convexes ou avec un pendage monocliné. Ils peuvent également prendre une forme en "arc de cercle" en amont des marigots. Les plateaux sont souvent bordés par un talus dont le pendage est important avec une dénivelée de 10 à 60 m. Au bas des talus, s'étendent des glacis faiblement inclinés vers le marigot et généralement cuirassés. Ils peuvent occuper de très vastes surfaces. Les glacis peuvent être reliés à la dalle principale par un rebord vertical d'un à deux mètres, mais l'ensemble reste en parfaite continuité dans le paysage. Dans ce type de modelé, les talwegs non cuirassés sont assez étroits, et se limitent fréquemment à une simple entaille de quelques mètres dans la cuirasse.

Carte morphologique de la zone de Dagadamou

Le modelé de la région de Dagadamou (Fig. 7) est beaucoup moins entaillé. La dénivelée est faible et toutes les unités morphologiques se développent en continuité. Les dalles cuirassées ne forment plus des plateaux bien découpés dans la topographie, mais plutôt des croupes arrondies avec de faibles pentes. Les talus sont rares et les glacis cuirassés sont en contact avec la dalle principale. La morphologie du paysage est peu accentuée, les marigots n'entaillent pas ou peu les surfaces cuirassées et les talwegs se développent sur la cuirasse pour donner des formes concaves et planes pouvant atteindre quelques kilomètres de large.

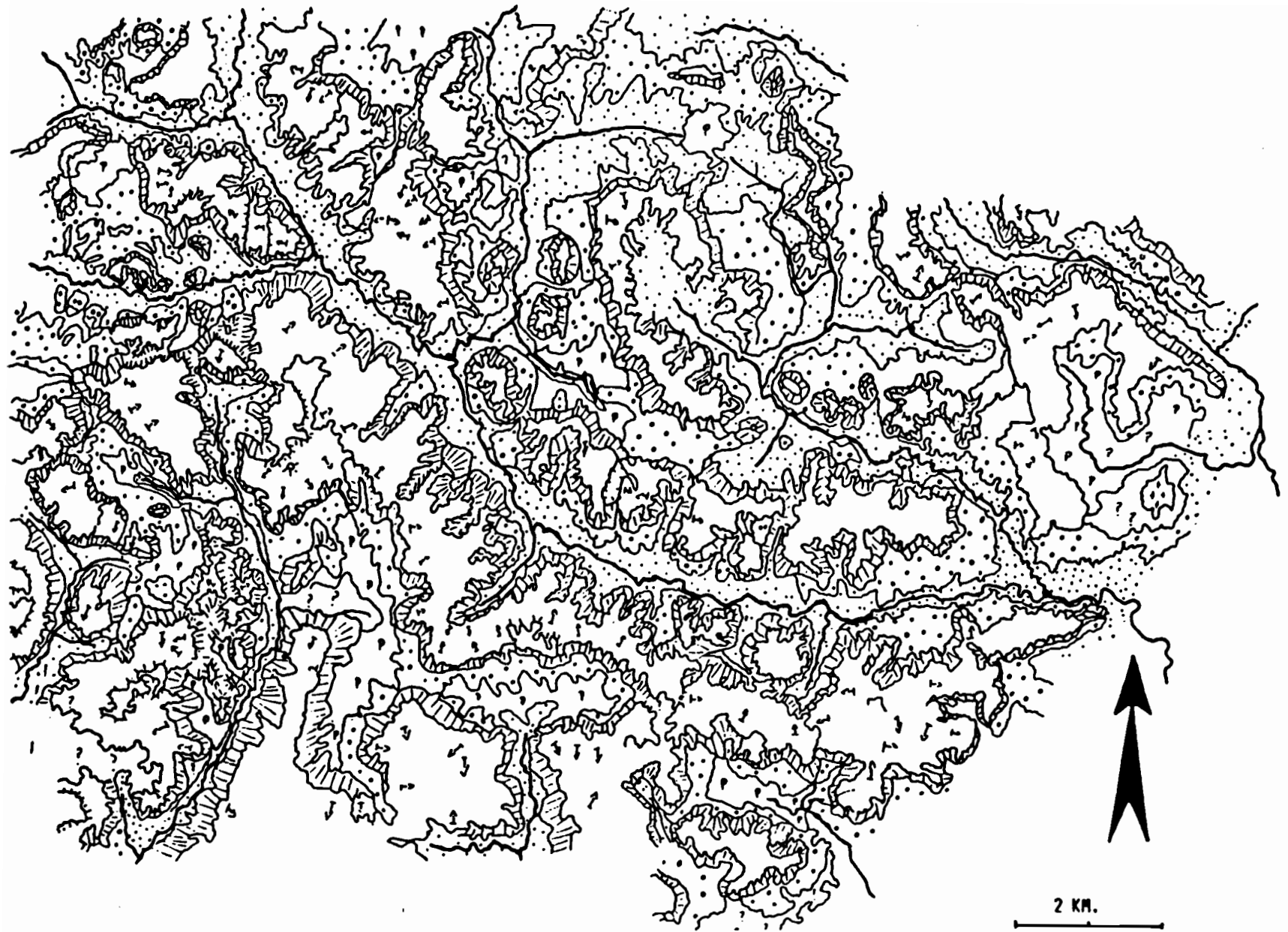


Fig. 6 - Carte morphologique de la zone de Banankoro.

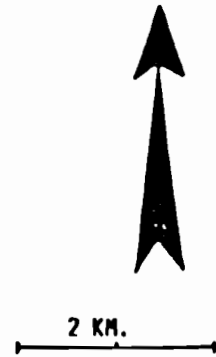
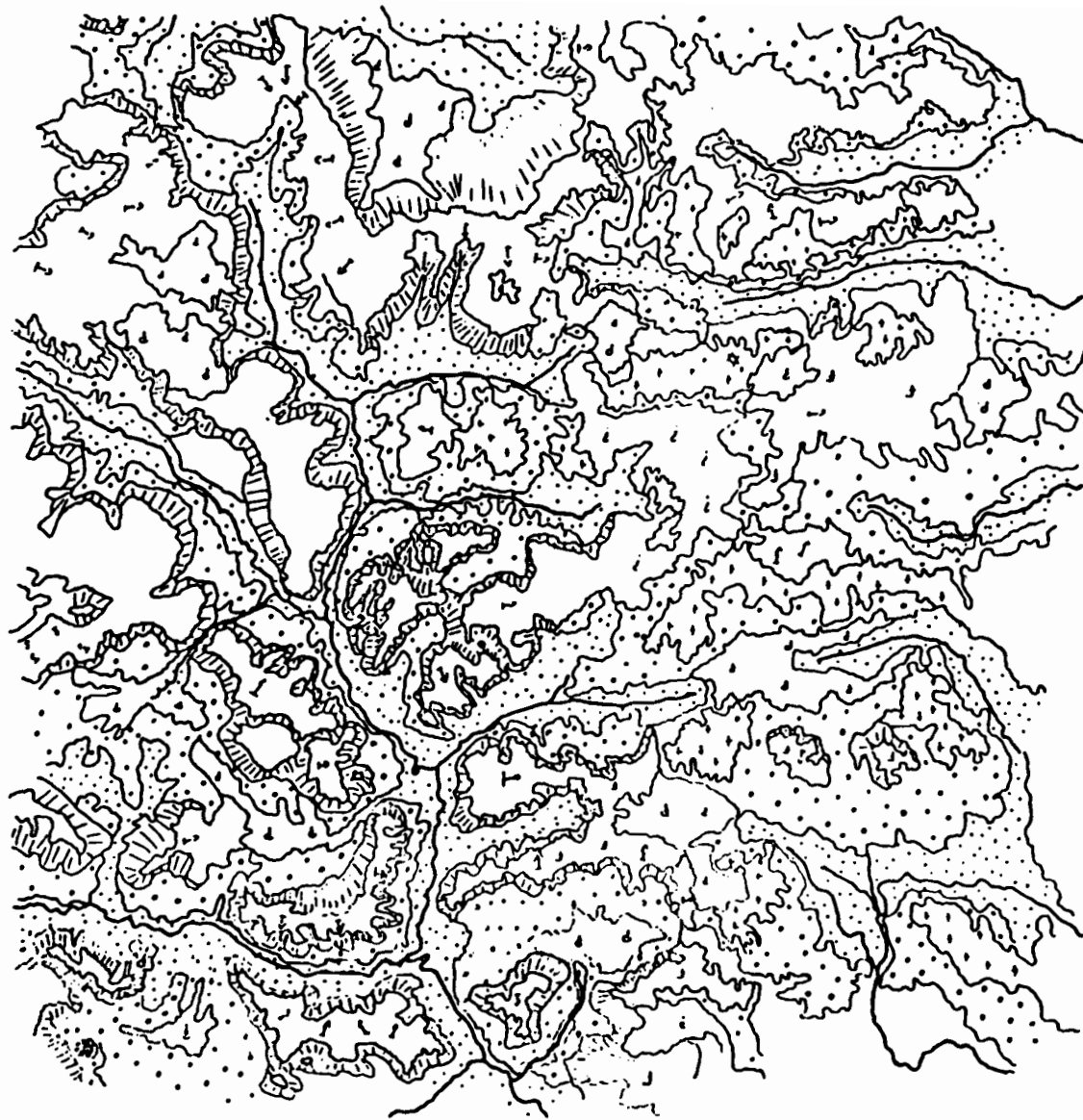





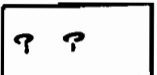
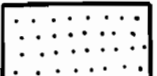


Fig. 7 - Carte morphologique de la zone de Dagadamou.

LEGENDE DES CARTES MORPHOLOGIQUES.

	Cuirasse épaisse à rebord bien marqué.
	Cuirasse sans rebords visibles.
	Cuirasses à fort couvert végétal.
	Talus raide.
	Glacis cuirassé.
	Glacis perché cuirassé.
	Talweg.

D. LA SURFACE FONCTIONNELLE ET LES SOLS

Les traces d'érosion actuelle semblent être réduites. En effet, la surface fonctionnelle est principalement limitée aux talus et talwegs.

Dans les talus, on observe un phénomène de recul de versant, en général peu développé, car il est fréquent de voir le glacis cuirassé inférieur atteindre la base de l'éboulis de la dalle supérieure, ce qui indique que ces derniers n'ont pas ou peu reculé. De même, les glacis forment très rarement une corniche dominant le talweg et ses alluvions récentes.

Il existe cependant des traces de démantèlement moins "visibles", mais qui semblent liées à des phénomènes pédologiques. Sur la dalle principale, les sols sont peu évolués et leur profil n'excède pas quelques dizaines de centimètres. Ils se développent à partir de la cuirasse et sont constitués de nodules ferrugineux englobés dans une matrice argilo sableuse grise.

Dans les flats, les horizons inférieurs des sols se développent également à partir de la cuirasse, mais peuvent atteindre des épaisseurs de plusieurs mètres. A la base, on observe nettement un horizon de démantèlement de la cuirasse ou les nodules ferrugineux sont progressivement libérés dans une matrice silteuse. Vers le haut du profil, les nodules sont complètement altérés et disparaissent au profit d'une matrice à kaolinite et quartz plus ou moins mélangés avec du matériel d'apport éolien.

Ce faciès de sol recouvre de très grandes surfaces et constitue sans doute un des principaux facteurs actuels de dégradation des cuirasses.

CHAPITRE II

TELEDETECTION

Les études de Télédétection ont été entreprises pour appuyer les travaux sur les données de géochimie, très abondantes sur la région de Kangaba. Elles ont comporté, dans un premier temps, une interprétation des photographies aériennes conventionnelles, pour établir une cartographie morphologique de base. Cette cartographie a été contrôlée sur le terrain au cours des missions de prélèvement géochimique.

Durant cette période l'acquisition de données satellitaires a été réalisée et la deuxième phase des travaux a commencé sur des images LANDSAT. En même temps, deux zones test ont été choisies et de nombreux logiciels de traitement d'images ont été testés sur ces zones latéritiques. La résolution du capteur MSS ne permet pas une définition suffisante, compatible avec les données des prospections minières.

Une troisième phase a débuté avec l'arrivée des produits SPOT et MOMS dont la résolution au sol de 20 m a permis enfin de progresser dans la cartographie à grande échelle des anomalies géochimiques. Le traitement et l'interprétation de ces données des satellites de la seconde génération se poursuivront activement en 1987, notamment pour ce qui concerne les sujets de thèses et de DEA qui ont été proposés récemment.

L'extension des études de Télédétection, à plus long terme, est présentée dans la programmation triennale annexe. Les premiers résultats très prometteurs permettent d'envisager un développement plus rapide des travaux sur des zones latéritisées voisines.

I - PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Pour cette étude, nous avons disposé des documents suivants :

- Cartes topographiques IGN au 1/200.000
Feuille YANFOLILA - NC 29 XXII
Feuille BAMAKO-OUEST - ND 29 IV
- Photographies aériennes de la mission IGN 1975 au 1/50.000
(75/NC 29 XXII et NC 29 XVI/500) en panchromatique.

Dans un premier temps, nous avons interprété et réalisé une cartographie géomorphologique de la rive gauche du Niger entre KANGABA et la frontière de Guinée, sur une superficie de 700 km².

Cette cartographie a été étendue ensuite à la zone Nord KANGABA et à la rive droite du Niger, jusqu'à la FIE. L'ensemble des trois zones correspond à une mosaïque non contrôlée de 48 photos d'une superficie de 1600 km². Nous avons utilisé quatre bandes de photographies aériennes (237 à 251 Nord-Sud, 273 à 286 Sud-Nord, 289 à 300 Nord-Sud et 303 à 311 Sud-Nord). Cette mosaïque est recalée à l'aide du fond topographique au 1/200.000 et pour la partie proche de la vallée du Niger à l'aide des mosaïques 1982 de l'IGN réalisées pour le modèle mathématique du Fleuve NIGER (Etude du Fleuve Niger).

Le résultat synthétique des travaux morphologiques est donné par la carte hors-texte jointe à ce rapport.

1. Etude des rebords et des points hauts des plateaux cuirassés

La première interprétation a été effectuée par Emmanuel THERA, ingénieur DNGM, au cours d'un stage à Strasbourg de juin à octobre 1984 (Fig. 8).

Il s'est intéressé plus particulièrement aux rebords de cuirasse bien marqués en stéréoscopie et aux différences de niveaux à l'intérieur des hauts plateaux eux-mêmes. Il apparaît nettement sur la figure 8, extraite de la carte morphologique représentant la zone de BANANKORO, que les plateaux cuirassés déchiquetés occupant les interfluves sont complexes. Ils forment des surfaces gauchies à pendages variables. La pente générale se dirige vers les marigots importants comme le KOKOYON. Les rebords de cuirasses sont bien marqués, mais peuvent être remplacés localement par un talus à pente très raide. Des rebords et cassures apparaissent sur les plateaux eux-mêmes, formant des niveaux étagés intra-plateaux. Ces petits rebords soulignent par exemple les points hauts des plateaux de part et d'autre du KOKOYON.

Le fait de ne fermer les contours des niveaux cuirassés que pour la présence réelle de falaise ou rebord abrupt ne donne qu'un aperçu approximatif de la superficie des Hauts plateaux. En revanche, il souligne le caractère ondulé et penté des surfaces qui ne peuvent en aucun cas être assimilées à des surfaces planes.

2. Etude des plateaux cuirassés et cuirasses sans rebords

Cette interprétation a été effectuée par Philippe FREYSSINET, étudiant en DEA durant le quatrième trimestre 1984 (Fig. 9).

Il s'est attaché à cartographier les plateaux cuirassés et leurs pendages, mais également les cuirasses sans rebords bien marqués, situées généralement en contrebas des plateaux. Cette interprétation, souvent difficile en paysage boisé, permet de compléter la représentation des surfaces cuirassées. On s'aperçoit par exemple que les niveaux cuirassés s'approchent considérablement des thalwegs, ne laissant qu'un mince liseré supposé non cuirassé.

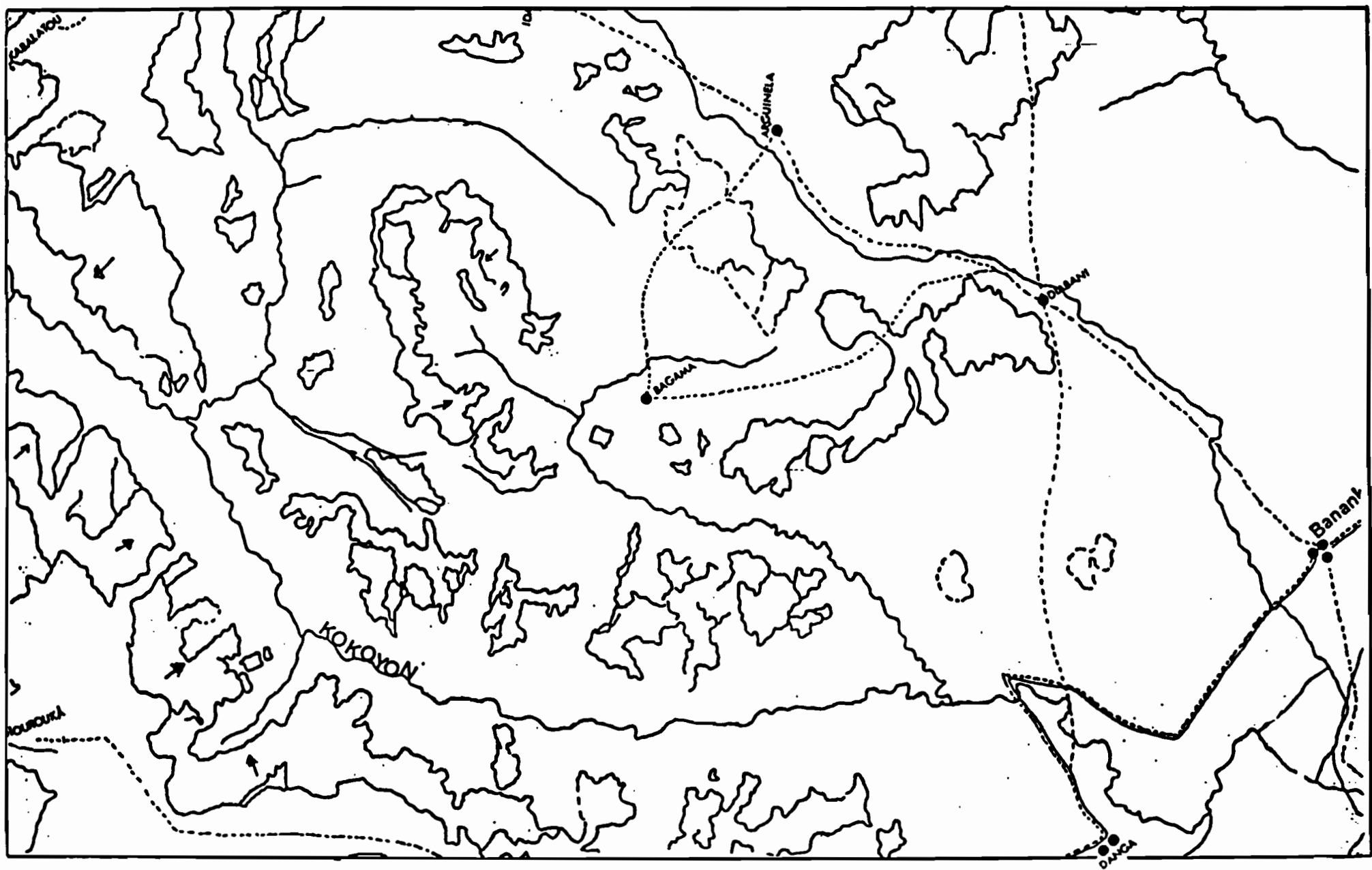


Fig. 8 - Esquisse morphologique des plateaux cuirassés de la zone de Banankoro.

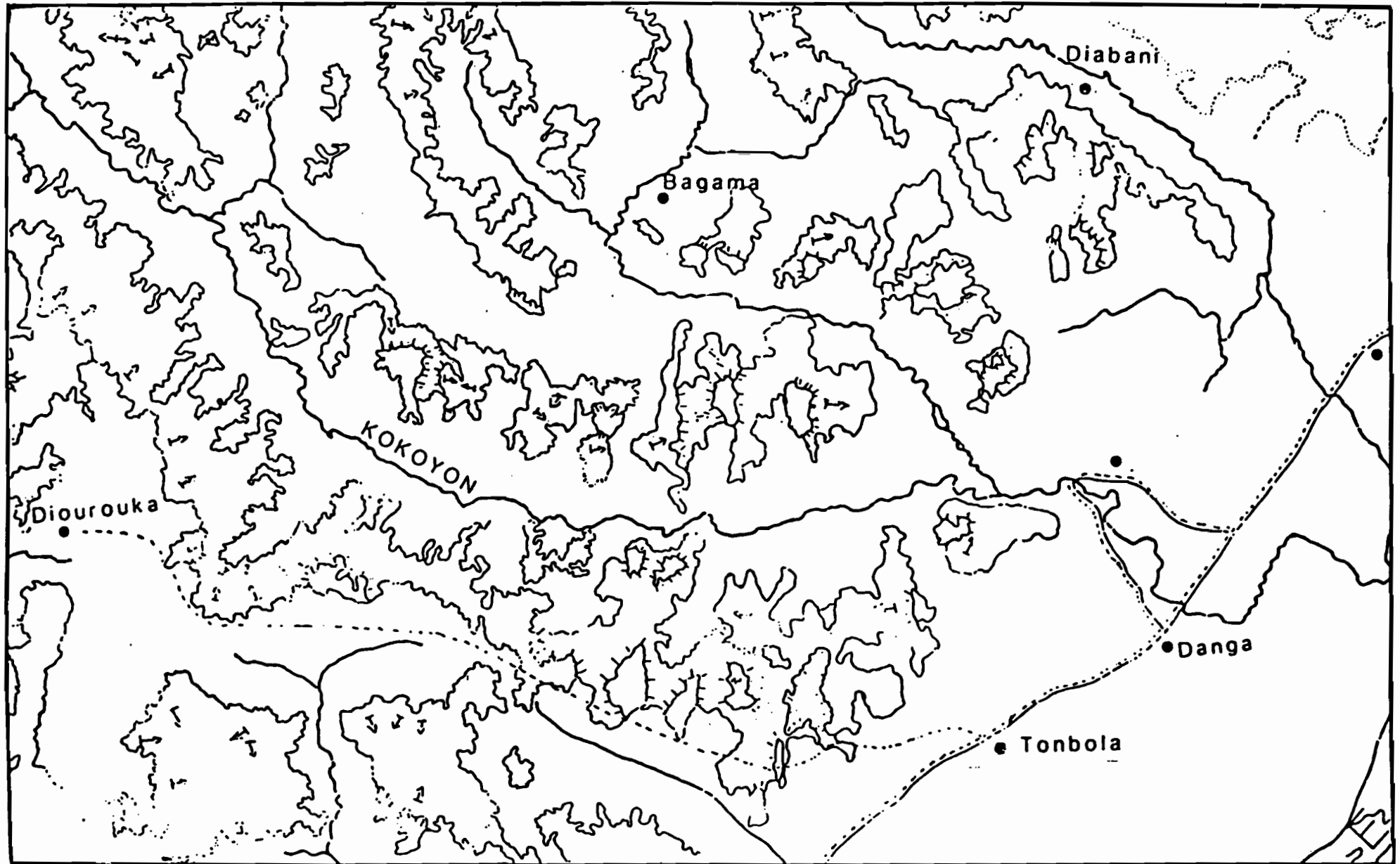


Fig. 9 - Plateaux et cuirasses moyennes de la zone de Banankoro.

Certaines cuirasses en contrebas, sans rebord apparent, ont été cartographiées en traits discontinus ou en pointillés. En fait, elles correspondent simplement à une forte probabilité de cuirassement, estimée d'après la texture des photographies aériennes. On peut comparer l'esquisse de la figure 9 à la carte morphologique du premier chapitre pour évaluer les surfaces cuirassées dont on peut être absolument sûr dans la zone de BANANKORO.

Dans cette première interprétation, la majorité des zones basses proches ou non des marigots, a été considérée comme non cuirassée ; mais en réalité, ces zones basses sont le plus souvent cuirassées elles aussi.

3. Contrôle de terrain

Les deux interprétations préliminaires des zones situées sur la rive gauche du Niger (700 km²) ont été contrôlées au cours de la campagne de terrain de mars 1985, durant les prélèvements régionaux pour la géochimie. Une attention particulière a été portée aux deux zones de BANANKORO et DAGADAMOU, sur lesquelles existaient déjà de nombreuses données.

On s'est rapidement aperçu que les contours et les surfaces des plateaux ne posent pas de problème et sont parfaitement conformes aux interprétations. Les cuirasses moyennes, en revanche, sont très largement sous-estimées et occupent une superficie beaucoup plus importante que prévu. Les zones basses sont également fortement cuirassées, et se raccordent aux zones moyennes par des surfaces en pentes sans rupture de niveaux. Toutes les têtes de marigots coulent sur des niveaux cuirassés, parfois sur plusieurs kilomètres avant de réussir à créer une entaille.

L'examen de puits de prospection et de puits d'orpailleurs a montré que certains thalwegs présentent des niveaux cuirassés, souvent recouverts par des sols de flat et des gravillons latéritiques.

Le contrôle de terrain a donc montré une généralisation des surfaces cuirassées qui occupent probablement de 80 à 90 % de la superficie de la région. Des indices indirects de termitières et d'hydromorphie de surface montrent que les sols ferrugineux que l'on peut observer ne sont pas épais, et que les niveaux cuirassés sont envoyés à faible profondeur.

4. Extrapolation à la cartographie du cuirassement de l'ensemble de la zone de KANGABA (carte annexe).

A la suite des contrôles terrain effectués par A. NOVIKOFF, J.C. PION et E. THERA, la cartographie morphologique des cuirassements a été étendue à deux autres zones par Ph. FREYSSINET en 1985.

Il s'agit d'une zone Nord-Kangaba qui englobe KOUREMALE et KANGABA et déborde légèrement sur la feuille BAMAKO-OUEST et d'une zone LA FIE qui concerne la rive droite du Niger jusqu'à la rivière la FIE. Le résultat final est présenté dans la carte hors-texte.

Cette carte synthétique a été simplifiée pour le réseau hydrographique et le réseau de villages. Elle ne présente que les cuirasses importantes, pouvant servir de repère dans le paysage, et correspondant en majorité à des plateaux hauts. On a distingué sur la carte les plateaux cuirassés qui se situent de part et d'autre de la courbe de niveau 400 m. Les surfaces hautes assez rares ont été représentées en traits gras et indiquent les sommets du paysage. Les surfaces moyennes très courantes sont représentées en traits fins et forment la majorité des plateaux.

Les changements de pentages très nombreux sont indiqués par des flèches et permettent d'évaluer la forme régionale du modelé et la complexité de la surface des plateaux.

II - IMAGES SATELLITAIRES DE LA PREMIERE GENERATION

1. Données disponibles sur la zone de KANGABA

La région de KANGABA dans la partie amont de la vallée du fleuve Niger ne bénéficie pas d'une grande abondance de données satellitaires de bonne qualité. Nous avons cependant pu disposer de documents sur supports photographiques et acquérir progressivement des données numériques sur bandes magnétiques CCT.

a) Supports photographiques

214-52 - Tirage 1/200.000 sur papier, des images LANDSAT du 5/12/72 et du 4/3/75 en noir et blanc des canaux 4, 5 et 7.

214-52 - Tirage 1/200.000 sur transparent diazoïque permettant la composition colorée CMY des mêmes images LANDSAT du 5/12/72 et 4/3/75.

214-52 - Tirage 1/1.000.000 des canaux 4, 5, 6 et 7 des images LANDSAT du 28/6/82 et 7/12/82. Ces images sont amputées d'une partie de l'orbite, ce qui permet uniquement l'observation de l'extrême Est de notre zone d'étude (LA FIE).

214-52 - Tirage 1/200.000 de l'image LANDSAT-RBV du 22/1/81. Cette image n'est pas acquise à l'aide du capteur MSS de LANDSAT comme les précédents, mais à l'aide de la caméra vidéo du LANDSAT 3.

Tirage au 1/200.000 d'une partie de l'orbite 29/30 du Radar SIRA embarqué sur la navette spatiale américaine le 12/11/81. La partie des scènes 46 et 47 qui recoupent notre zone d'étude est située malheureusement à l'extrême Est de celle-ci (LA FIE).

b) Données numériques

214-52 - Bande CCT multispectrale du 5/12/72 de l'Eros data Center - LANDSAT 1.

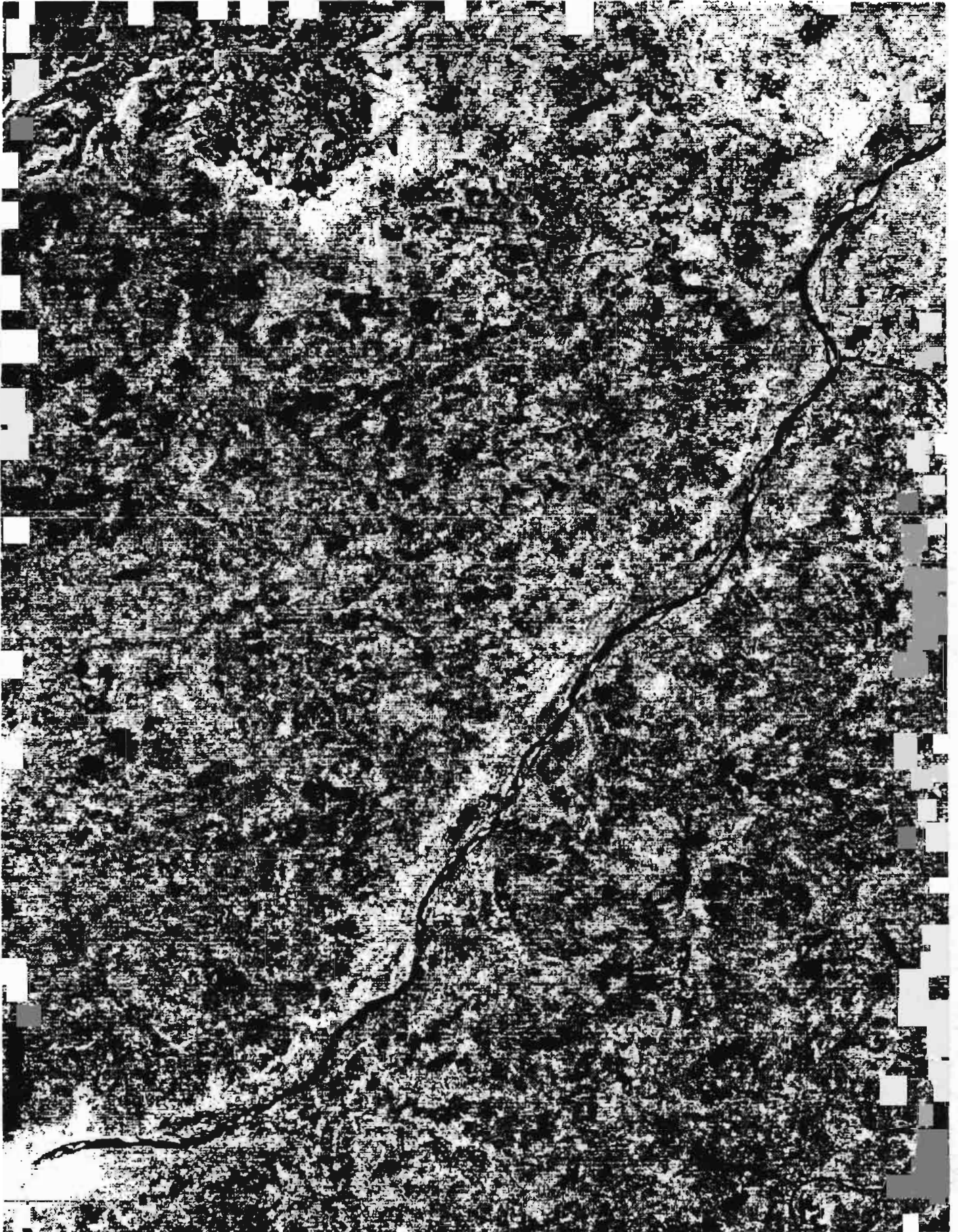


Fig. 10- Image LANDSAT - Canal 6 : Région de Kangaba.

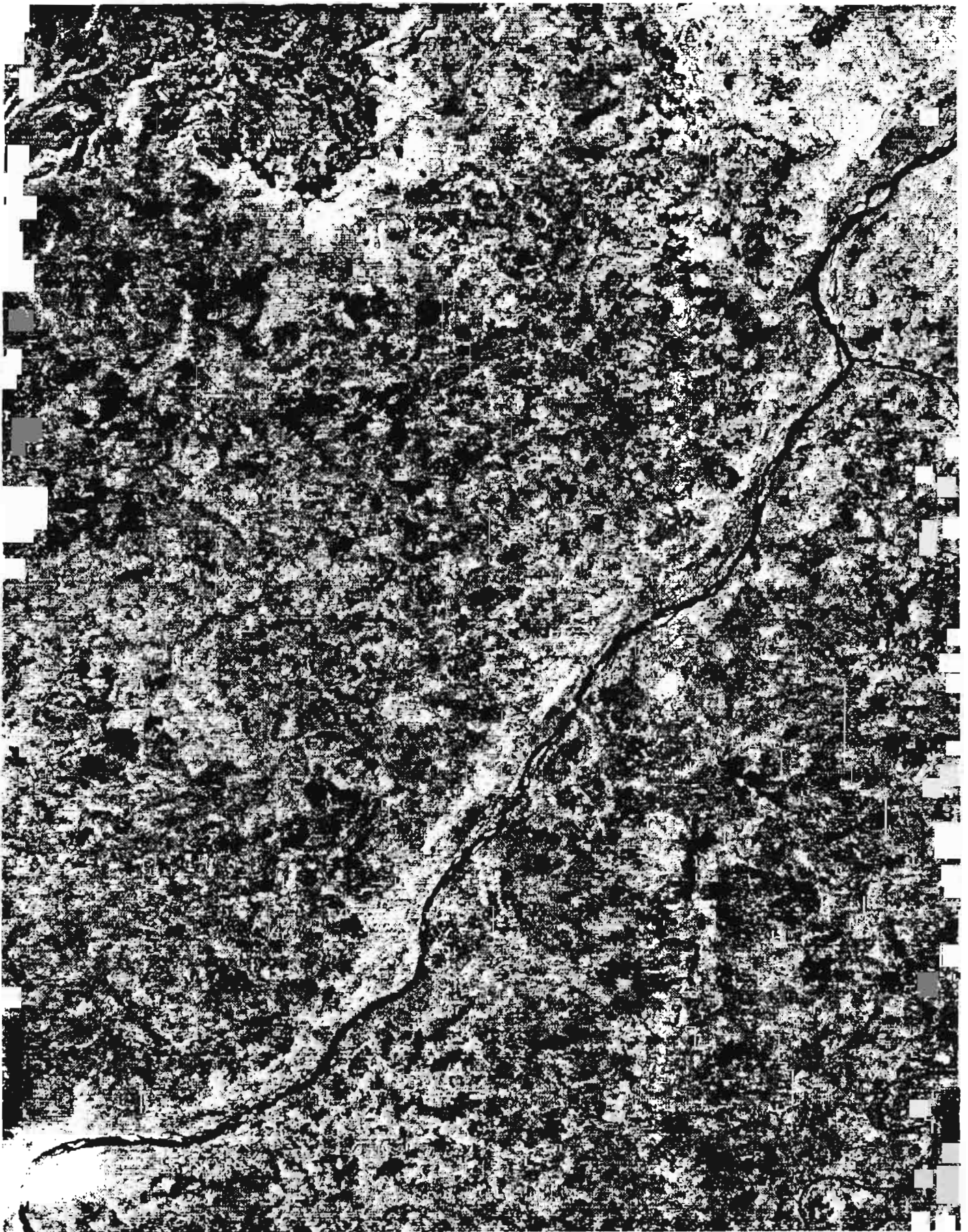


Fig. 11 - Image LANDSAT - Canal 6 délimité : Région de Kangaba.

214-52 - Bande CCT - RBV du 22/1/81 de l'Eros data Center-LANDSAT 3.

214-52 - Bande CCT multispectrale du 23/10/84 acquise à Mas Palomas et traitée à FUCINO - LANDSAT 5.

Malheureusement la bande magnétique du 23/10/84 a été acquise à une date où la couverture de brume sèche était très importante, ce qui la rend pratiquement inutilisable. La qualité de la bande RBV est médiocre avec de trop forts contrastes entre le centre de l'image et les bordures. Nous avons donc travaillé principalement sur la bande multispectrale du 5/12/72 qui est de bonne qualité.

2. Etude test des données LANDSAT

Les données photographiques ne nous permettent pas de descendre à une résolution supérieure au 1/200.000. Cela donne uniquement une vision régionale, mais on ne peut pas entrer dans le détail des formations latéritiques.

Les données numériques permettent, dans le meilleur des cas, de travailler au 1/50.000 et surtout d'utiliser plus facilement les additions de trois canaux en composition colorée. Les premiers essais ont été pratiqués sur nos zones latéritiques par Ph. FREYSSINET (Etude préliminaire des formations latéritiques de KANGABA - Sud Mali juin 1985).

Les principales conclusions de ce travail préliminaire montrent qu'il est relativement aisé de retrouver certains faciès morphologiques des cuirasses à l'aide des données LANDSAT, en particulier grâce aux compositions colorées. Des ratios de canaux permettent d'identifier certains thèmes tels que cuirasses, sols nus, végétation. Enfin, les valeurs radiométriques dans les différents canaux peuvent servir à isoler certains thèmes caractéristiques de l'image. Mais le signal de la végétation est prépondérant par rapport aux signaux des autres thèmes. Le pourcentage de couvert végétal influe fortement sur la texture de l'image.

3. Etude de la scène LANDSAT - 214-52 du 5/12/72

A la suite de l'étude préliminaire de deux petites zones T. DANDJINOUE et C. ROQUIN ont entrepris l'étude plus détaillée de la scène du 5/12/72. Une composition colorée des canaux 4, 5 et 7 a été réalisée à l'échelle du 1/80.000 pour garder une vision globale de notre zone d'étude.

Des traitements ont été mis au point pour restituer et améliorer les images au Centre de Calcul de Strasbourg-Cronembourg. Il s'agit en particulier de traitement de délimitage des images LANDSAT. En effet, les canaux bruts de la scène sont fortement lignés, en particulier les canaux 4, 6 et 7. Ces traitements adaptés à chaque canal sont suffisamment sélectifs pour ne pas déformer l'information originale. Un exemple est

donné dans la figure 10 et dans la figure 11 de ces traitements de délimitage.

La suite de l'étude a été poursuivie, d'une manière plus limitée, sur les zones latéritiques anormales en Or qui composaient les zones test des équipes qui étudient la pétrographie, la minéralogie et la géochimie des latérites. Il s'agit des zones de DAGADAMOU et BANANKORO.

L'étude au 1/50.000 de la zone de DAGADAMOU a été entreprise en essayant de corréliser les données cartographiques de la prospection géochimique et les images LANDSAT. La taille des pixels (80 m x 56 m) rend le repérage très difficile pour réaliser une véritable superposition des différentes données. On doit noter également sur la zone la présence de brûlis qui masquent complètement l'information radiométrique aux endroits où ils se produisent.

4. Contrôle de terrain

Une mission sur le terrain a été effectuée en février 1986. Cette campagne comportait la vérification des cartographies déjà réalisées et la prise d'information pour la suite des traitements à appliquer aux images satellitaires. Il était prévu également d'effectuer des mesures radiométriques "in situ" sur les latérites pour essayer de calibrer la radiométrie observable sur notre zone d'étude. Cette campagne de mesures a dû être reportée pour des raisons matérielles.

La mission sur le terrain a permis de faire une brève reconnaissance dans la zone de la FIE pour vérifier certains alignements visibles sur les images. Ces alignements correspondent à des emprises linéaires de la végétation liées probablement aux structures internes des latérites ou à la lithologie du substratum.

Une reconnaissance a été effectuée jusqu'aux rebords Sud des Monts Mandingues en liaison avec les travaux sur les bauxites de A. BOURDEAU. Cette zone qui est recouverte par notre image LANDSAT du 5/12/72 fait partie des possibilités futures d'extension de l'étude. La reconnaissance sur le terrain a montré que les images satellitaires seraient d'un apport certain dans ce type de paysage des Monts Mandingues.

III - IMAGES SATELLITAIRES DE LA DEUXIEME GENERATION

Le dépouillement des données LANDSAT était loin d'être achevé quand nous avons reçu en juin 86 des données plus performantes.

1. Données disponibles sur la zone de Kangaba

Dans le cadre du programme d'évaluation du satellite français SPOT (projet PEPS) nous avons obtenu deux scènes multispectrales couvrant notre zone d'étude.

39-326 - Scène SPOT - XS du 5/4/86
visée oblique 23° W - niveau 1B-CCT

39-327 - Scène SPOT - XS du 5/4/86
visée oblique 23° W - niveau 1B-CCT

Nous avons également obtenu les deux bandes CCT n° 189 et 190 des données MOMS 1 embarqué sur la navette spatiale américaine en février 1984.

MOMS 1 - STS 11 - 600 et 900 nanomètres - 1984

Ces données numériques sont nettement plus performantes que les données MSS-LANDSAT et leur résolution au sol de 20 m x 20 m permet d'atteindre facilement des échelles de 1/25.000. L'interprétation de ces nouvelles données a immédiatement commencé dès le milieu de l'année 1986 et a relégué au second plan les données précédentes.

Un logiciel performant a été mis au point par T. DANDJINOU au Centre de Calcul de Strasbourg-Cronenbourg. Ce logiciel "SUBTIL" (décembre 1986) de traitement d'images numérisées est basé sur les logiciels classiques "SPIDER" et "UNIRAS".

2. Etude des données SPOT du 5/4/86

Les deux scènes SPOT multispectrales comportent trois canaux. Deux canaux dans le domaine du visible et un canal dans le proche infrarouge.

- XS 1 - 500 à 590 nanomètres
- XS 2 - 610 à 680 nanomètres
- XS 3 - 790 à 890 nanomètres

Les trois bandes spectrales sont étudiées séparément ou bien de façon simultanée sous forme de composition colorée. La composition colorée est obtenue classiquement suivant le principe de synthèse soustractive CMY. On affecte respectivement les trois couleurs primaires aux trois bandes spectrales : XS 1 en jaune, XS 2 en Magenta, XS 3 en cyan. D'autres combinaisons sont possibles, soit en utilisant d'autres couleurs, soit en utilisant des néocanaux obtenus par calculs ou rapports entre les trois bandes.

Notre zone d'étude de Kangaba, et en particulier la rive gauche du Niger avec les zones test de DAGADAMOU et BANANKORO est malheureusement à cheval sur les deux scènes SPOT. Il a donc été nécessaire de fabriquer une mosaïque numérique, entre les deux scènes, qui permette de visualiser ensuite l'ensemble de la région.

a) Mosaïque numérique SPOT du District de KANGABA (Figure 12)

La fenêtre 2000 x 2000 pixels, soit 40 x 40 km, correspond à la partie occidentale du district de KANGABA. Les données du satellite SPOT ont été traitées sur ordinateur IBM du Centre de Calcul de Strasbourg puis restituées sous forme de films négatifs par le "DRUM-SCANNER" du Service régional du GSTS. Les négatifs obtenus permettent ensuite la fabrication de compositions colorées par développement photographique classique ou "CROMALIN".

Différents thèmes du paysage se reconnaissent ainsi aisément, grâce à la bonne résolution de l'image SPOT, par la couleur correspondant à leur signature spectrale.

L'empreinte de la végétation qui ressort en rouge est encore très marquée en cette saison : elle souligne bien le tracé des petits marigots affluents du Niger et elle différencie également les unités morphologiques (cuirasses, talus, glacis) boisées. En revanche, les bowals dénudés apparaissent bleu-vert sombre et se distinguent des cuirasses de zone basse et des plaines alluviales moins foncées.

Les sols nus ressortent dans les teintes les plus claires. On repère bien, les champs cultivés, les villages, les placers en activité, les alluvions du lit du Niger et le tracé des pistes. L'emplacement des feux de brousse récents se marque par des taches noires.

A cette zonalité des couleurs se superposent des structures linéaires assez variées et qui correspondent vraisemblablement aux discontinuités lithologiques ou tectoniques du substratum birrimien conservées en relique dans la couverture d'altération. On distingue parfois, les rebords des plateaux cuirassés, dentelés et découpés, qui sont soulignés par des zones d'ombre ou de la végétation.

25753

Region de Kangaba (Sud Mali)

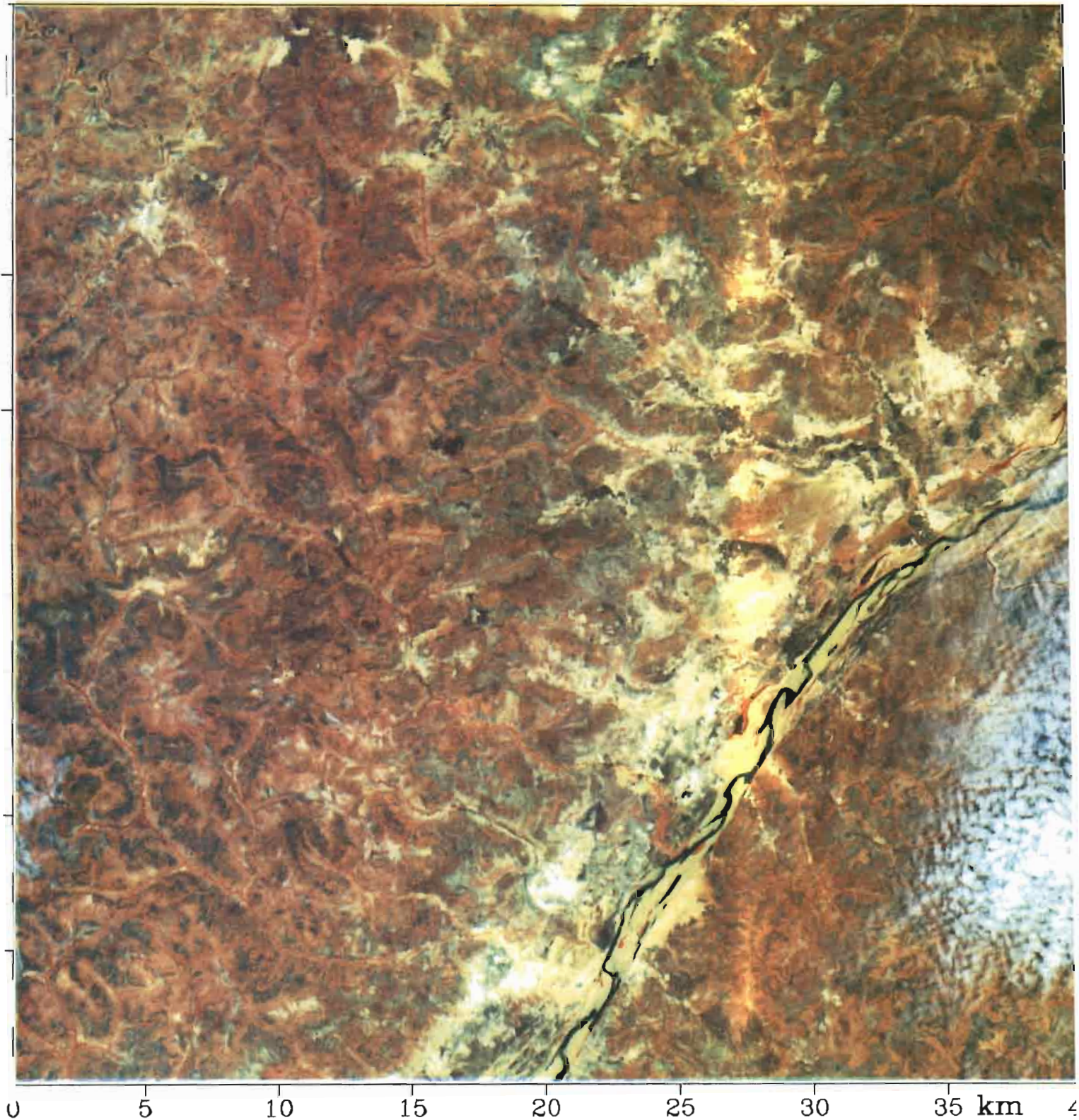


Fig.12

Composition coloree CMY

Image SPOT :

- Bande XS1 : Jaune
- Bande XS2 : Magenta
- Bande XS3 : Cyan

b) Traitements des données SPOT

Dès le début du dépouillement des données SPOT, nous nous sommes aperçus que les deux canaux dans le visible (XS 1 et XS 2) sont très corrélés. Cette corrélation est gênante pour la fabrication des compositions colorées, mais également pour l'identification des plateaux cuirassés par rapport aux zones basses.

Des traitements multiples ont été essayés pour décorréler ces deux canaux. Les décorrélations brutales type "ACP" font apparaître des linéations Nord-Sud provenant des barrettes de détecteurs. Ce phénomène de "colonnage" rend les néocanaux très difficiles à utiliser. Des traitements plus souples ont été utilisés pour éviter cet effet parasite. La combinaison linéaire adoptée est de la forme suivante (Fig. 13) :

$$3(XS1) - XS2 - 100$$

Cet indice traduit bien l'effet du cuirassement sur le contraste de réflectance des deux bandes visibles XS1 et XS2 (C. ROQUIN et al., 1987).

Des ratios de canaux ont été calculés pour rechercher les thèmes importants, en particulier la végétation. Les meilleurs résultats pour les images LANDSAT étaient obtenus avec le ratio 7/5. Pour les données SPOT, l'indice de végétation classique a été calculé (Fig. 13).

$$IV = \frac{(XS3 - XS2) \times 100}{(XS3 + XS2)}$$

On reconnaît bien, sur l'image obtenue par l'indice de végétation, les zones boisées sur les plateaux cuirassés et les zones dénudées. La disposition en bandes parallèles NW-SE de la végétation sur bowal est confirmée. Cette orientation apparaissait déjà sur les photos aériennes et correspond à des structures importantes de la cuirasse.

L'indice de végétation a été comparé à la cartographie géochimique de la zone de Dagadamou (C.ROQUIN et al., 1987). Il apparaît que, sur les plateaux cuirassés, la végétation est plus dense lorsque les teneurs de la cuirasse en kaolinite sont plus élevées.

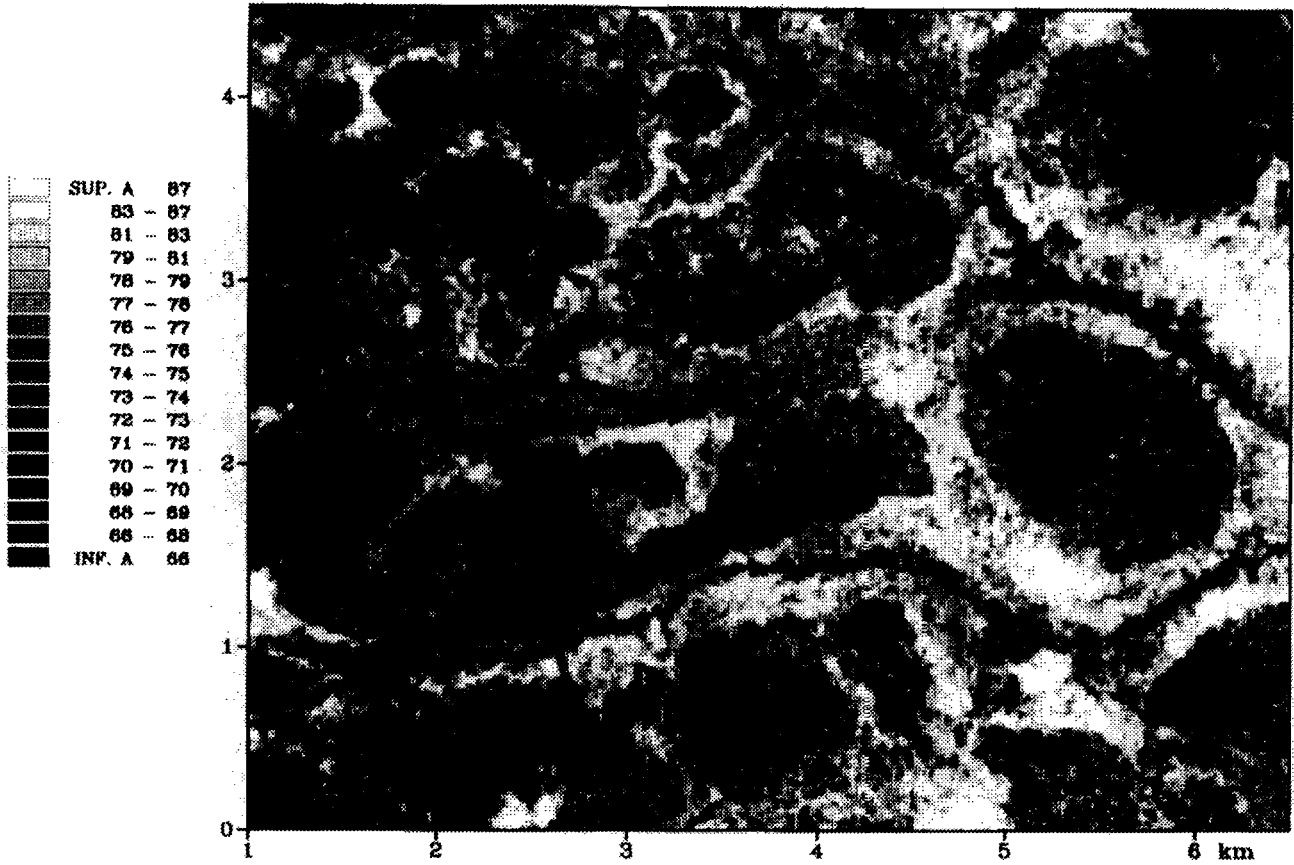
c) Essai de classification supervisée

Six zones test de 256 x 256 pixels (5 x 5 km) ont été traitées à l'aide d'une console interactive "Pericolor" à l'atelier de Télédétection de l'ORSTOM à BONDY. Trois zones sont situées dans la région de DAGADAMOU et trois dans la région de BANANKORO.

Dans chacune des zones, des fenêtres d'entraînement ont été sélectionnées sur la composition colorée. Ces fenêtres, au nombre de 8 à 12, sont choisies pour représenter les thèmes différents de l'image. Elles doivent être le plus homogènes possible de façon à représenter le thème sans aucune ambiguïté possible. Différents traitements de classification et de lissage sont ensuite comparés sur le Pericolor et des photos d'écran sont acquises pour les meilleurs résultats.

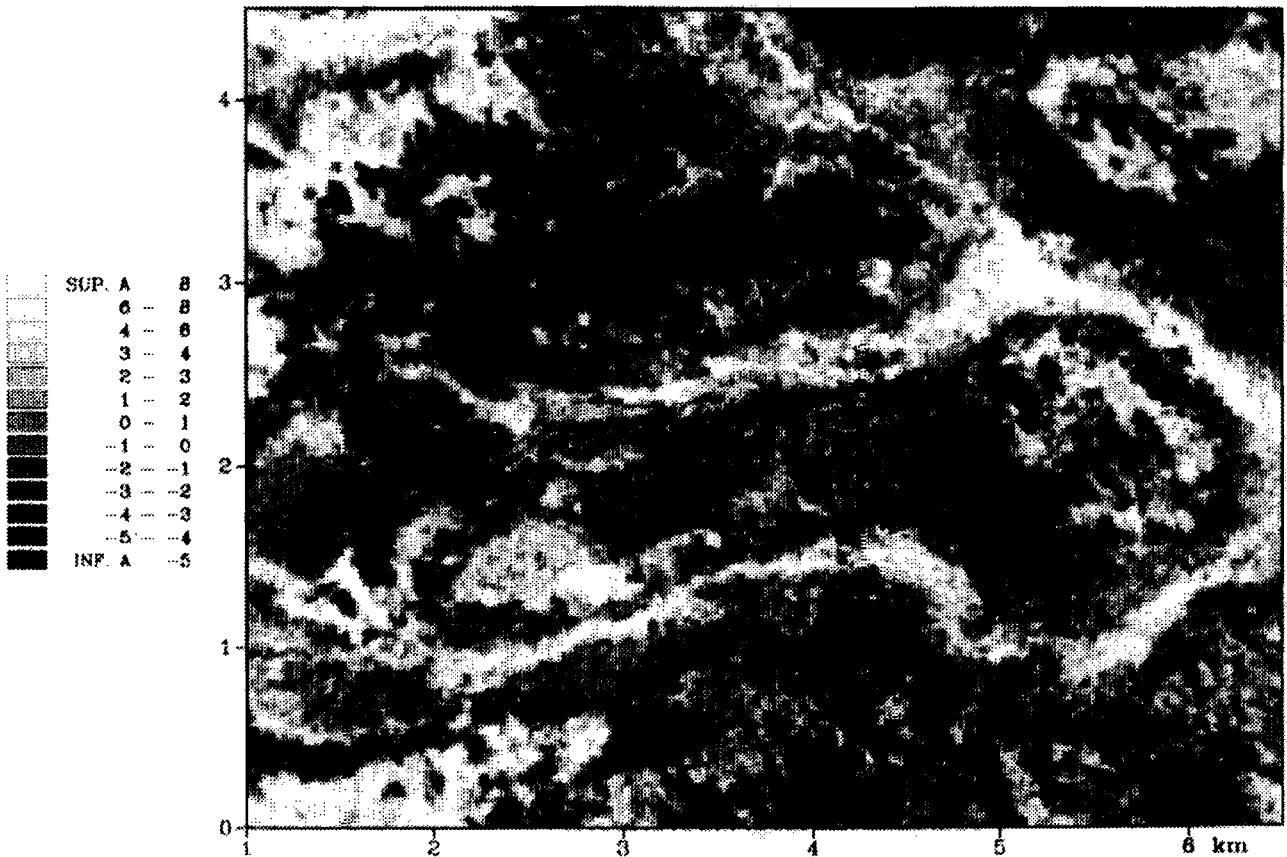
Image SPOT :

3*XS1-XS2-100



Prospect de Dagadamou: Region de Kangaba

Image SPOT : $(XS3-XS2)/(XS3+XS2)*100$



Prospect de Dagadamou: Region de Kangaba

Fig. 13 - Images SPOT - Indice de Cuirasse et Indice de Végétation

29793

- 41 -

Prospect de Dagadamou: Region de Kangaba (Sud Mali)

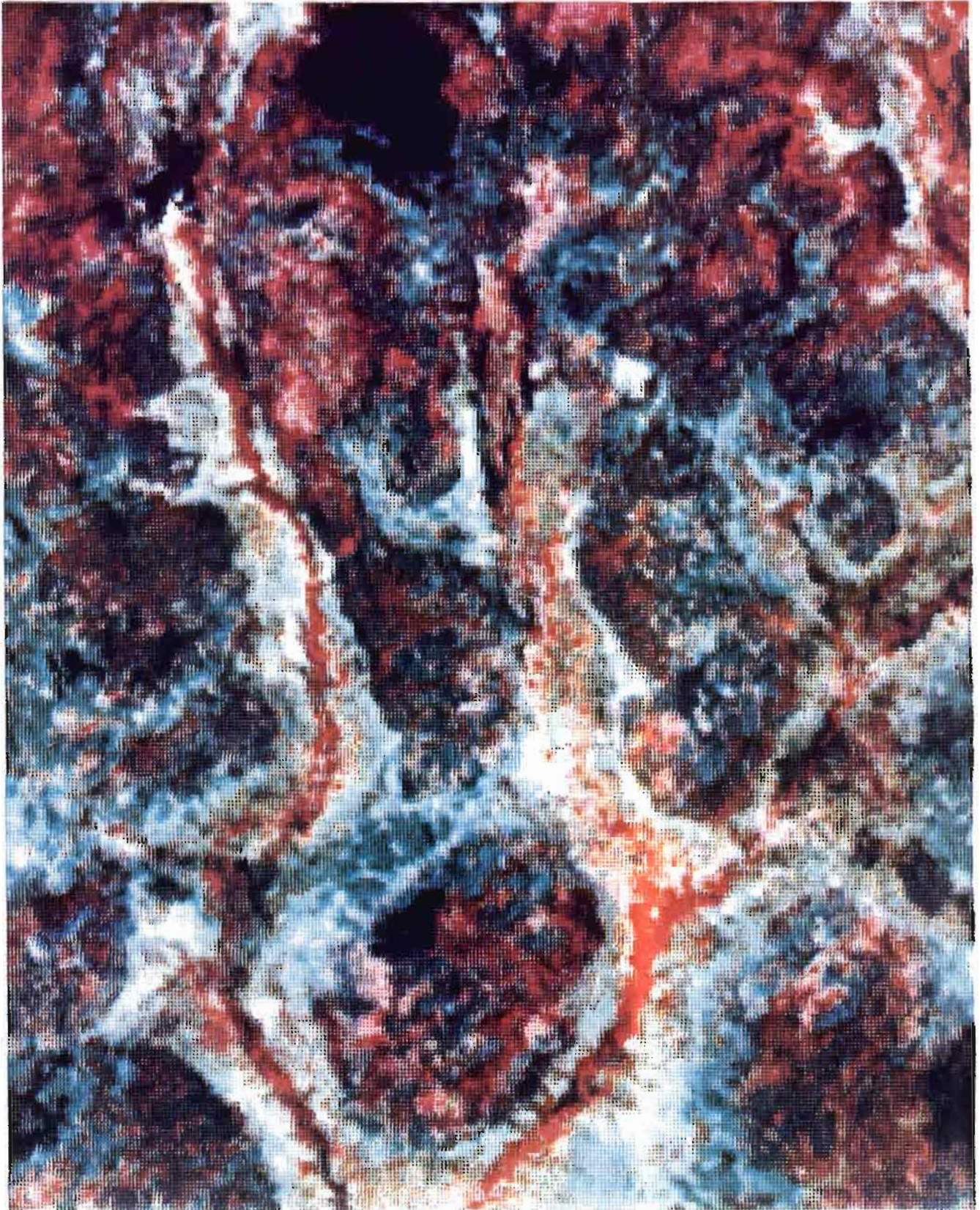


Fig. 14 **Image SPOT : Composition coloree CMY**

Bande XS1 : Magenta

Ech: 1/25.000

Bande XS2 : Jaune

Bande XS3 : Cyan

Différents thèmes du paysage latéritique se reconnaissent facilement. Il s'agit en particulier des marigots, des feux de brousse, des traces d'occupation humaines (champs, villages, placers actifs, pistes), des sols nus et alluvions du Niger. On isole ainsi aisément des fenêtres homogènes pour ces thèmes. En revanche, la résolution très fine de SPOT ne permet pas facilement d'isoler avec autant de précision des fenêtres sur les unités morphologiques cuirassées. Entre les cuirasses dénudées et les cuirasses boisées, il existe une gradation progressive de la densité de végétation qui rend délicat le choix des zones types. Il est nécessaire de revenir à une définition des fenêtres et à un seuillage canal par canal, la composition colorée intégrant déjà trop de détails.

Les essais de classification sont loin d'être terminés, les études dans ce sens seront poursuivies dans les prochains mois en revenant sur une définition des thèmes par les images SPOT et les photographies aériennes.

d) Télédétection et cartographie

Le recalage géométrique des images SPOT a permis la superposition et la comparaison avec des données exogènes à la télédétection. Ces traitements se sont avérés très utiles pour la cartographie, en particulier géochimique, qui sera présentée dans le chapitre IV du rapport.

Un exemple de recalage géométrique est donné dans la figure 14 pour la zone de Dagadamou. Cette image au 1/25.000 est obtenue à l'aide du logiciel SPIDER après rotation et recadrage de l'image SPOT, pour coïncider avec le plan d'échantillonnage géochimique du B.R.G.M. On peut visuellement comparer cette image avec les cartes géochimiques.

IV - ETUDES EN COURS

Ce rapport de première phase doit prendre en compte les travaux commencés au dernier trimestre 1986 et qui ne seront terminés qu'en 1987. C'est le cas pour les deux études de DEA qui seront finalisées en mai 1987 et pour les mesures de terrain de février 1987.

1. Cartographie

Le travail entrepris par M. LEGALL - "Etude et cartographie des formations latéritiques de KANGABA -Sud Mali- à l'aide des données SPOT" - s'articule principalement autour de la zone de BANANKORO. La première phase interprétative s'appuie sur la comparaison de photographies aériennes et d'images SPOT à l'échelle du 1/50.000. Elle débouche sur la définition de thèmes identifiables sur les deux documents. L'aboutissement de l'étude sera de fournir une carte représentant tous les thèmes qu'il est possible de distinguer à l'aide des données SPOT.

2. Radiométrie

Le travail entrepris par N. KAYSER - "Etude des signatures spectrales des latérites par différentes mesures radiométriques" - s'effectue sur l'ensemble de la zone de KANGABA. La première phase comporte des mesures en laboratoire sur des échantillons de différents faciès de cuirasses. Deux domaines du spectre électromagnétique seront étudiés :

- le visible et proche Infra-rouge
- l'infra-rouge thermique

Les mesures dans l'Infra-rouge thermique sont actuellement réalisées, grâce à une collaboration entre le Centre et le Groupement Scientifique de Télédétection Spatiale de Strasbourg (GSTS). Les premiers résultats sont encourageants pour des longueurs d'ondes de l'ordre de 3 à 5 microns. La campagne de mesures radiométriques s'effectue sur les échantillons représentatifs broyés. On passera ensuite à des mesures sur les échantillons sciés et polis, pour finir par des mesures sur des surfaces naturelles avec patine.

Les données de laboratoire seront ensuite corrélées avec les mesures de terrain et si possible avec les radiométries satellitaires.

3. Mesure de terrain

La campagne de février 1987 est consacrée à des mesures de signatures spectrales avec un radiomètre CIMEL. Les mesures seront effectuées en priorité sur les faciès de cuirasses étudiés en laboratoire dans le visible et l'Infra-rouge. La calibration du radiomètre CIMEL correspond aux trois canaux du détecteur HRV de SPOT. On peut envisager, malgré la différence d'échelle de 1 à 400, une comparaison des données de terrain et des données satellitaires.

CONCLUSIONS

Les études de télédétection menées sur le district de KANGABA ont apporté les enseignements suivants :

- Les cartographies morphologiques réalisées à l'aide des photographies aériennes fournissent, après contrôle sur le terrain, un document de base de bonne qualité. Les plateaux cuirassés présentent des modelés ondulés et pentés. Les plaines cuirassées, plus difficile à interpréter, sont souvent recouvertes d'un sol peu épais.

- Les interprétations d'images satellitaires s'effectuent après traitements photographiques ou traitements numériques. Les traitements photographiques permettent des échelles du 1/200.000 au 1/50.000, les traitements numériques donnent des documents du 1/50.000 au 1/20.000.

- Les images satellitaires permettent la reconnaissance des principaux thèmes des paysages latéritiques : zones de bas-fond, plaines et plateaux cuirassés, zones dénudées et zones couvertes de végétation. Les thèmes les plus difficiles à mettre en évidence sont ceux où l'influence de la végétation est prépondérante.

- Les données SPOT avec une résolution au sol de 20 x 20 m sont très performantes. Outre la bonne résolution, ces données présentent une excellente géométrie et une définition précise des amers qui permet le recalage des images. Des difficultés surviennent sur le plan radiométrique, en raison de la forte corrélation entre les deux canaux visibles.

- Des traitements numériques adaptés aux données SPOT ont été regroupés dans le logiciel SUBTIL. Ce logiciel modulaire pourra facilement être développé au cours des études ultérieures.

- Les travaux actuels s'orientent vers la radiométrie des latérites et la cartographie des zones latéritiques.

La finalité de la télédétection des régions latéritisées demeure une cartographie détaillée à grande échelle, pouvant servir de guide précis à la prospection minière.

CHAPITRE III

PROFILS LATÉRITIQUES ET MATÉRIEL INDURÉ DE SURFACE

Dans une première partie seront décrits les échantillons provenant de deux puits d'une séquence étudiée par Ph. FREYSSINET. Cette description est destinée à situer les divers horizons dans les profils latéritiques de Kangaba. Les successions observées correspondent à celles décrites par de nombreux auteurs dont NAHON, 1976 ; PION, 1979 ; LEPRUN, 1979 ; Mc FARLANE, 1983 ; AMBROSI, 1984 ; BOULANGE, 1984.

Dans la deuxième partie seront présentés les différents faciès indurés trouvés en surface. Avant toute chose, nous donnerons la définition des termes souvent utilisés et avec des significations variables. Ces définitions sont extraites du Glossaire de Pédologie (1969) et du Dictionnaire de Géologie (FOUCAULT A. et RAOULT J.F., 1980) :

- horizon tacheté : horizon à imprégnations (généralement ferrugineuses) d'un volume délimitable, de fond matriciel et possédant une cohésion égale ou légèrement supérieure à celle de ce fond. En pratique, les taches ne peuvent être extraites isolément ; les structures géologiques ne sont pas reconnaissables ;
- carapace : accumulation continue se généralisant à tout un horizon; peu cimentée, se fragmente à la main ;
- cuirasse : accumulation continue se généralisant à tout un horizon; fortement cimentée, indurée doit être fragmentée au marteau ;
- nodule : élément induré à structure non concentrique possédant une cohésion supérieure à celle du matériau l'englobant ;
- concrétion : épaissement par accumulation de matière autour d'un noyau ;
- oolite : petite sphère dont l'enveloppe (cortex) est formée de minces couches donnant une structure concentrique à l'ensemble ; une structure radiaire peut se superposer à la concentrique ;
- pisolite : concrétion subsphérique de diamètre supérieur à 2 mm à structure concentrique correspondant à une grosse oolite.
- cortex : bordure dure, d'aspect particulier, de certaines petites masses globuleuses.

I - LA TOPOSEQUENCE DU KOKOYON

La toposéquence du Kokoyon est située à 4 km au SW de Banankoro, sur l'anomalie or, mise en évidence par le syndicat or. Six puits, alignés le long de la ligne de plus grande pente, ont été décrits et échantillonnés. En l'absence de tous résultats analytiques, seules les descriptions seront présentées ici.

Deux puits représentatifs ont été sélectionnés : KOK 1, situé dans la dalle haute (puits XXIX du syndicat or, approfondi) et KOK 5, situé sur le glacis en bordure du Kokoyon.

A. LE PUIT KOK 1

En allant du bas vers le haut, on observe la succession des faciès suivants :

Niveau 1 (8.50 m à 7.90 m) : argile blanche kaolinique farineuse avec quelques flammèches rose pâle. Les flammèches colorées sont plus nombreuses vers le haut. Structures primaires conservées.

Niveau 2 (7.90 m à 6.70 m) : la limite avec le faciès précédent a un pendage de 55°. Argile tachetée avec de nombreux rognons cuirassés, arrondis et de couleur rouge ou violet sombre de 1 à 20 cm. Les rognons proviennent de l'altération d'un stockwerk ; on y observe des grains résiduels de quartz laiteux.

Niveau 3 (6.70 m à 6.30 m) : carapace, sans nodules visibles, de couleur pourpre. Elle est traversée par de nombreux tubules remplis d'argile blanche. Les rognons de stockwerk sont toujours bien visibles.

Niveau 4 (6.30 m à 5.90 m) : cuirasse massive rouge violacée avec des tubules à remplissage argileux blanc. Les rognons de stockwerk ont disparu. On observe la formation de nodules au sein des tubules d'argiles pourpre qui recourent la cuirasse.

Niveau 5 (5.90 m à 4.10 m) : cuirasse massive rouge violacée, parcourue par quelques tubules contenant du matériel argileux blanc. La cuirasse massive est recoupée par de fins rubans bruns.

Niveau 6 (4.10 m à 3.60 m) : cuirasse pseudonodulaire. Il s'agit du faciès précédent dans lequel les rubans bruns sont plus abondants. Ils isolent des plages violettes qui ne forment pas de nodules isolés. Le matériel argileux pourpre est moins abondant.

Niveau 7 (3.60 m à 2.80 m) : ensemble hétérogène (Pl. 2, photo 6) comprenant des blocs de cuirasse massive, de cuirasse pseudonodulaire rouge sombre fortement vacuolarisée et de cuirasse pourpre nodulaire assez argileuse.

Niveau 8 (2.80 m à 0.50 m) : cuirasse nodulaire à matrice brune paraissant dériver de la cuirasse pseudonodulaire vacuolaire.

Niveau 9 (0.50 m à 0.0 m) : cuirasse nodulaire à matrice indurée brun jaune et nodules violets. Nombreux tubules à argilo-ferranes jaunes.

L'examen de cette coupe nous permet de mettre en valeur les faits suivants :

- Le puit KOK 1 recoupe un stockwerk à quartz et sulfures oxydés incliné de 55° environ. Cette minéralisation oxydée se présente sous la forme de

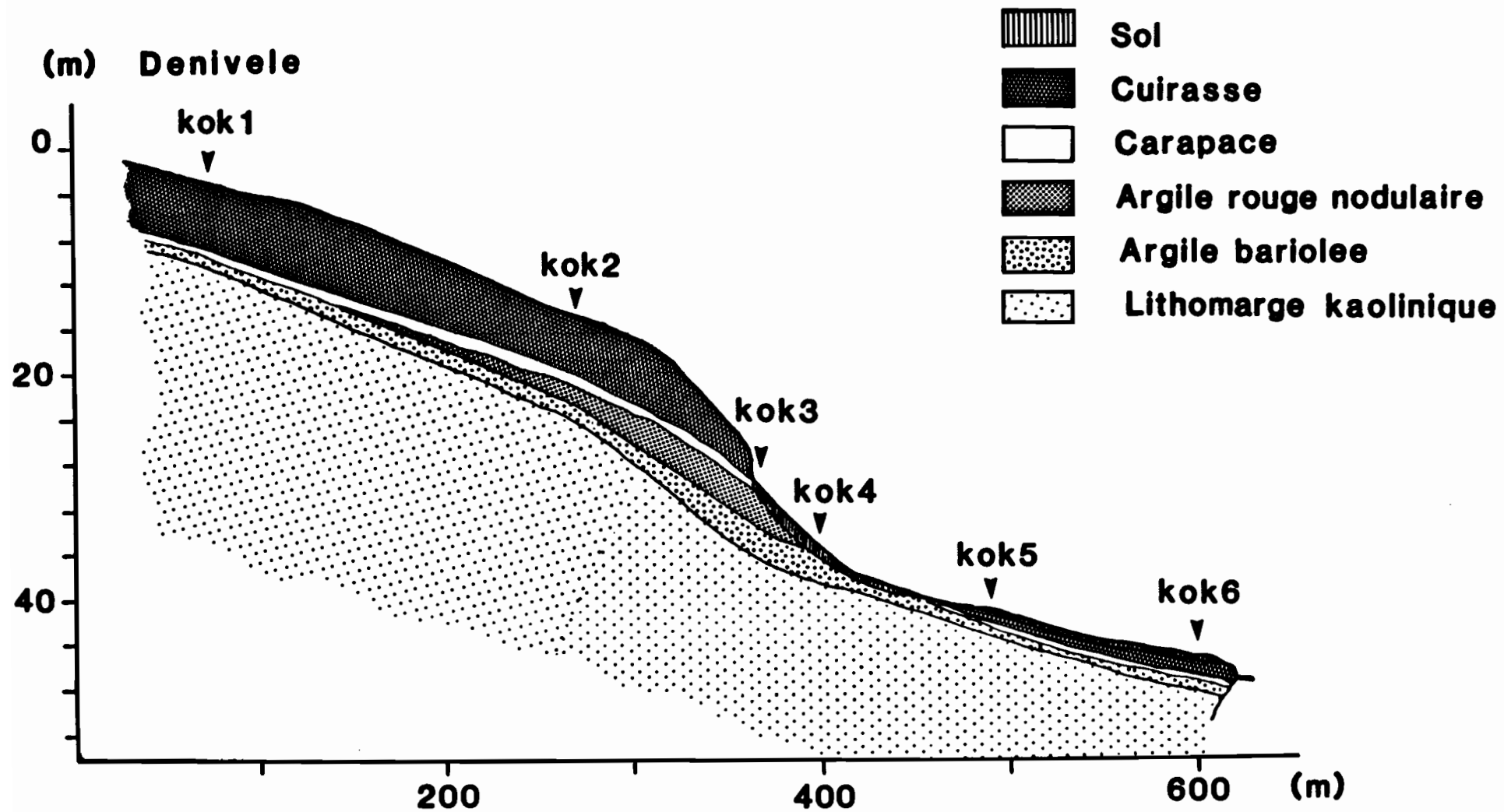


Fig. 15 - Toposéquence du Kokoyon.

rognons ferrugineux, indurés, ayant conservé certaines microstructures du stockwerk primaire. Ce faciès devient plus massif vers le haut du profil, tout en restant reconnaissable.

- L'observation des différents faciès indurés nous permet de dégager une certaine tendance évolutive des faciès indurés. Ainsi, vers la base, au-dessus de la carapace, les cuirasses tendent à devenir massives, riches en hématite. En remontant dans le profil, les faciès massifs passent à des faciès pseudonodulaires par suite du développement dans la nappe rouge-violacé de rubans bruns goethitiques, isolant des plages de matériel massif, à aspect de nodules ou même parfois de pisolites, plages qui restent anastomosées. Plus haut encore, la cuirasse devient franchement nodulaire. Les nodules ayant tendance à se séparer en surface. Il est évident que ces divers faciès se retrouvent souvent intriqués.

- Des phénomènes de vacuolarisation se produisent à tous les niveaux. Ils traduisent une remise en mouvement continuelle d'éléments et de minéraux se traduisant par la présence de vacuoles remplies de kaolinite, de kaolinite et de gibbsite (argiles pourpres) ou même vides. Il faut noter, ici, l'importance du phénomène d'argilisation et aluminisation qui se fait sentir dans toute la cuirasse.

B. LE Puits KOK 5

Ce puit est creusé dans la partie aval de la toposéquence en bordure du Kokoyon. Il montre, du bas vers le haut, les successions suivantes :

Niveau 1 (5.20 m à 4.50 m) : argile bariolée à matrice blanche et flammèches rouges et ocres. Les structures primaires sont visibles (diaclasses et schistosité).

Niveau 2 (4.50 m à 2.90 m) : même faciès d'altération. A l'intérieur des taches on observe un début d'induration. La matrice argileuse devient ocre.

Niveau 3 (2.90 m à 2.40 m) : argile tachetée en voie d'induration. La matrice argileuse se colore en rouge. Disparition des structures primaires.

Niveau 4 (2.40 m à 1.90 m) : passage argile tachetée - carapace. Les taches d'oxydes se transforment progressivement en amas indurés englobés dans une matrice argileuse rouge.

Niveau 5 (1.90 m à 0.90 m) : carapace nodulaire ; la matrice s'indure progressivement. La quantité de nodules ferrugineux augmente. Quelques tubules d'argile blanche apparaissent au sein de la matrice.

Niveau 6 (0.90 m à 0.30 m) : carapace nodulaire, peu indurée à nombreux vacuoles et à matrice ocre jaune. Lithoreliques violettes.

Niveau 7 (0.30 m à 0.0 m) : sol gravillonnaire provenant du démantèlement de la cuirasse.

Nous constatons que les horizons sont, ici, relativement peu épais et que l'on n'y observe pas les faciès cuirassés typiques du profil amont. On se retrouve au sommet du profil, dans un niveau du type carapace peu évoluée.

La ferruginisation débute dans les flammèches de l'horizon bariolé qui se transforment en amas ferrugineux, qui s'indurent en devenant des nodules ferrugineux.

C. CONCLUSION

L'étude des puits de la séquence du Kokoyon a permis de définir les divers horizons types rencontrés dans les profils latéritiques de Banankoro. Ils sont classiques et l'on a eu, partant de bas en haut, une lithomarge kaolinique, de l'argile bariolée puis tachetée, une carapace et une cuirasse dans laquelle on distingue l'évolution d'une cuirasse massive vers une cuirasse nodulaire. En bas de pente, les horizons indurés sont moins épais et moins évolués. Un niveau meuble, à matrice argileuse rouge emballant des nodules violacés est particulièrement développé sur les pentes, en aval des talus bordant les plateaux. Ce niveau correspondrait à une zone privilégiée de circulation des eaux entre la cuirasse et les horizons argileux et semble se former par destruction de la base de la cuirasse. L'évolution des profils semble proche de celle décrite par NAHON (1976) dans la toposéquence de Ndias au Sénégal.

II - LE MATERIEL INDURE DE SURFACE

Il couvre 75 % de la surface de la région, ce qui a justifié son choix pour l'étude.

A. LA PETROLOGIE

Dans la dénomination des faciès indurés nous avons privilégié la structure du matériel induré au détriment de celui non induré ou des vides. La présence de vacuoles s'observe, en quantité variable, dans la plupart des faciès indurés et on aura, par exemple, une cuirasse lamellaire à nombreuses vacuoles et non pas une cuirasse vacuolaire lamellaire. Le cas des argiles tachetées est différent car le matériel argileux friable est plus abondant que le matériel induré.

1. Les argiles tachetées

On les trouve très rarement en surface (1 % des cas). Il s'agit d'un assemblage de plages jaunes, friables, passant au brun, puis au rouge violacé. Le matériel violacé forme des flots difformes, durs, entourés du matériel brun plus friable que lui, mais nettement plus cohérent que le matériel jaune. Dans la plupart des cas, les plages rouges sont anastomosées et forment ainsi une ossature rigide à l'échantillon, ce qui lui assure une certaine cohésion. Les plages claires sont souvent traversées de canalicules, larges parfois d'un centimètre, dans lesquels on observe des vermicules argileux clairs. Au microscope optique, on constate que la matière friable claire est essentiellement formée de minéraux à caractère de kaolinite ainsi que de lamelles à aspect de séricite. Ces minéraux ne montrent pas d'orientation privilégiée. Un squelette quartzueux fin subsiste. Les caractères texturaux de ce matériel sont ceux d'un altéroplasma non perturbé, c'est-à-dire que l'on a une image assez fidèle, bien que transformée, de la roche mère. Dans les plages brun rouge, on retrouve des flots d'altéroplasma dans un ensemble presque opaque. Les plages violacées apparaissent, en général, complètement opaques. En lumière réfléchie, on y observe la présence de baguettes enchevêtrées, à pouvoir réflecteur proche de celui de l'hématite. Entre ces baguettes, existent des vides ou des argiles. L'espace qu'elles délimitent est en général petit, ne dépassant pas une vingtaine de microns. Sur les parois de canalicules, on trouve des dépôts argileux rouges du type cutanes (orientés parallèlement aux parois), en leur intérieur apparaissent quelques vermicules de kaolinite. On constate, dans certains cas, la présence d'argiles orientées ou de microfissures vides autour des plages rouges, à la limite avec les plages argileuses claires. Les argiles orientées peuvent avoir deux origines ; une réorientation de l'altéroplasma due à la différence de plasticité entre les plages rouges et les plages claires ; un dépôt par illuviation ou néoformation sur les parois de pores. Il est important de constater que la présence de plages rigides ferruginisées dans du matériel argileux plastique va favoriser l'apparition, à la limite des deux matériaux, d'une zone drainante par retrait des argiles lors des périodes sèches. L'horizon tacheté à nodules (à masses globuleuses ferruginisées, différenciées) n'a pas été rencontré en surface.

Les observations au MEB montrent que l'altéroplasma est formé de grandes lamelles micacées, du type séricite, (analyse semi-quantitative au Tracor) noyées dans une masse de plaquettes kaoliniques, assez bien formées et dont la taille atteint 5 à 6 μ . Dans les zones brunes, ces plaquettes sont légèrement corrodées et à leur surface apparaissent des dépôts mamelonnés de matériel ferrugineux. Les plages rouge-violacé montrent des plaquettes argileuses beaucoup plus corrodées, des lamelles ferrugineuses se forment dans les vides ainsi créés (photo 20).

2. La cuirasse lamellaire

Ce type de cuirasse a été rencontré en surface dans 6 % des cas. Il s'agit souvent de carapace indurée à l'air. La distinction cuirasse, carapace est alors difficile à faire et en conséquence nous avons adopté le terme de cuirasse. En fait, on retrouve le faciès précédent à volumes rouge violacé plus abondants, formant des agrégats lamellaires obliques,

séparés par des plages argileuses jaunes et par des canalicules souvent remplis d'argile claire. En surface, les canalicules sont nettoyés de leurs argiles et l'aspect vacuolaire de la cuirasse est accentué.

Au microscope, on constate que les plages d'altéroplasma diminuent alors que les plages opaques, à matériel hématitique probable, sont plus grandes. On a là une argile tachetée fortement ferruginisée, à hématite dominante.

3. La cuirasse massive

Ce type de cuirasse représente 11 % des échantillons de surface (photo 9). Elle est rouge violacé, dure. Quelques canalicules, remplis de matériel argileux clair, recourent la roche. Leur présence paraît indépendante du phénomène de ferruginisation. Le phénomène important est ici, la généralisation de la ferruginisation du type hématitique à toutes les plages de plasma argileux. La structure minérale des plages, ferruginisée, est constituée, comme précédemment, de lamelles anastomosées à bon pouvoir réflecteur, de quelques microns de longueur, isolant des plages argileuses ou des vides (photo 15). Des flammes brunes, à aspect goéthitique, recourent la masse violette.

4. La cuirasse pseudonodulaire

Il s'agit d'un faciès proche du pseudopisolitique de NAHON(1976) et AMBROSI(1984). Ce terme n'a pas été adopté ici, car les volumes violets, délimités par du matériel brun ne sont généralement pas sphériques à subsphériques et les cortex rubanés ne sont pas toujours présents. Ce faciès représente 20 % des échantillons récoltés.

En fait, il s'agit du faciès massif parcouru par des rubans bruns, souvent anastomosés, isolant des plages rouges à violacées de forme variable (photo 10). Le matériel des rubans bruns est formé, en général, par une succession de fines stries parallèles, plus ou moins transparentes, à caractères optiques souvent proches de ceux de la goéthite. Il est évident, que dans certains cas, on observe des structures pisolitiques. Certains gros pores et vacuoles présentent des dépôts d'argilo-ferranes sur leur parois même si en leur centre on trouve de la kaolinite. On constate, aussi, part, qu'au contact du bord des vacuoles ou des rubans bruns une partie du matériel violacé opaque peut devenir brun et faiblement translucide. Ce phénomène, appelé goéthitisation diffuse, paraît correspondre à une transformation sur place de l'hématite. Il est caractérisé par l'absence d'orientation privilégiée de la goéthite, formée semble-t-il, en même temps que la goéthite des rubans ou que celle des argilo-ferranes des pores. Souvent dans les dépôts de pores, il a été constaté que des stries concentriques de goéthite alternent avec des stries d'hématite (photo 16), ou que dans la même strie, on passe d'un minéral à l'autre. Certains échantillons contiennent des canalicules remplis d'un matériel argileux rouge à ilots de cristaux ressemblant à de la gibbsite (photo 17).

5. La cuirasse nodulaire

C'est la plus répandue en surface (50 % des échantillons). Elle est composée d'éléments généralement rouges sombres ou violets, de formes et de tailles diverses, présentant des angles arrondis, les nodules. Ces nodules possèdent ou non, un cortex brun plus ou moins épais (Photo 11). Ils sont cimentés par un matériel brun ou rouge devenant jaune près de la surface (photo 12).

Les nodules paraissent, dans beaucoup de cas, autochtones ; cortex de deux nodules voisins reliés par des ponts de matériel identique à celui du cortex (photo 11), particularités lithologiques pouvant être suivies d'un nodule à l'autre, bien qu'effacés dans la matrice qui les sépare.

Les phénomènes ayant régi leur formation peuvent être de différentes sortes. Ils seraient apparus tôt, au sommet de l'horizon tacheté, par induration des taches. La matrice les séparant a été ferruginisée, ultérieurement, d'une manière différente de celle des nodules d'où, au microscope, un aspect différent entre les matériaux des deux domaines. On constate aussi, que des phénomènes de vacuolarisation ont tendance à isoler des nodules du matériel ferruginisé préexistant (Photo 14) dans une matrice de matériel néoformé dans les vacuoles. En fait, une partie de la cuirasse est dissoute (pénétration de l'altération en doigt de gant) à sa place un nouveau matériau est déposé (néoformé ou transporté mécaniquement) qui isole du matériel plus ancien les nodules. Ce phénomène peut se répéter provoquant la formation de nodules complexes. En général on constate que le matériel déposé dans les vacuoles est plus fragile que l'hématite des nodules et c'est dans cette zone privilégiée de circulation des eaux, que les phénomènes de dissolution et précipitation vont être les plus actifs (Photo 20). Près de la surface, les canalicules contiennent un matériel très friable, jaune (argiles et nombreux quartz de la taille des limons), ce qui favorise la désagrégation de la cuirasse en blocs et nodules isolés (Photo 18). Ce type de cuirasse est des plus courants. Il a été trouvé quelques cas de cuirasse à nodules violets, hématitiques, ou de pisolites bruns, goëthitiques pris dans une matrice rose gibbsitique.

En bas de pente, près de l'entaille de certains marigots, on rencontre des cuirasses nodulaires contenant parfois de gros quartz arrondis. La matrice, plus ou moins ferrugineuse, est riche en argile, son aspect est nettement différent de celui observé dans le cas précédent. On a la très nette impression qu'il s'agit de nodules ayant bougé, emballés dans du matériel argileux qui subit, ou a subi, une ferruginisation récente. Ce faciès a des caractères de faciès conglomératique. S'il y a transport, il ne s'est pas fait sur une grande distance, compte-tenu de l'absence de classement des matériaux grossiers et de l'importance de la matrice argilo-quartzéuse. On aurait alors un sédiment ferruginisé en bas, piège du fer dissout dans les cuirasses situées plus haut. Ce type de cuirasse est peu développé.

6. Les cuirasses complexes

Ce sont des cuirasses contenant un abondant matériel brun et dans lesquelles n'existent pas de traits morphologiques remarquables (Photo 13). De petites plages, rouge violacé, sont noyées dans la masse brune argilo-goethitique, arrondies ou anguleuses, elles passent au matériel brun de façon diffuse. La position exacte de ce type de cuirasse ne nous est pas bien connue.

Certaines cuirasses complexes correspondent à la ferruginisation de filons quartzeux, sans doute, à sulfures. Leur aspect est celui de chapeaux de fer en miniature. Il est caractérisé par la présence d'une goethite noire, bien cristallisée, remplissant des fissures et formant un réseau de mailles irrégulières recoupant le quartz des filons. A l'intérieur de ces mailles, les quartz sont fortement dissous, entraînés ou même absents et dans les vides ainsi créés on peut trouver, outre de la goethite, de la gibbsite en grands cristaux. Les épontes des filons et filonnets sont souvent représentées par des roches brunes ou grises, compactes, dans lesquelles on discerne des lamelles à aspect micacé. Dans la lithomarge, ce faciès est représenté par des argiles rouges.

7. Les cuirasses bauxitiques

Ces cuirasses sont de deux types :

- des cuirasses nodulaires à éléments de bauxite parfois de grande taille;
- des cuirasses ferrugineuses envahies par du matériel alumineux.

Aucune cuirasse bauxitique continue n'a été trouvée dans la région test. Par contre, les cuirasses nodulaires à éléments bauxitiques sont présentes (8 % des cas). On les observe, souvent, sur les points hauts du paysage, mais aussi en position plus basse. C'est le cas, par exemple, sur les deux petites collines, rive droite de la Dinkolé, ainsi qu'à l'extrémité nord-ouest de plateau de Banankoro, sur le bowal du Mont Kournidjian, ou le plateau situé juste au Nord de Bankolé et bien d'autres.

Les éléments bauxitiques, centimétriques à pluridécimétriques, présentent un aspect variable, tant dans les textures que dans les couleurs qui vont du rouge au blanc. Quelques bauxites à pisolites ferrugineux ou alumineux ont été trouvées.

Les pisolites ferrugineux, souvent bruns, goethitiques, sont cimentés par une matrice argilo-gibbsitique rose. Les pisolites alumineux, très rares, sont blancs, formés de microcristaux à basse biréfringence et de gibbsite; souvent composés, ils montrent des phénomènes de séparation, parfois très poussés. La matrice est essentiellement composée de gibbsite fine et de matériel à basse biréfringence (Bhoemite probable).

Les cuirasses ferrugineuses gibbsitisées sont abondantes. On les trouve un peu partout, et souvent près des cuirasses nodulaires à blocs de

bauxite. Il en a déjà été question dans la description des profils et dans celle de divers faciès cuirassés. Leur aspect est caractéristique, il y a pénétration en doigts de gant d'un matériel argilo-gibbsitique, rouge clair, dans le matériel ferrugineux, rouge sombre, qu'il recoupe à l'emporte-pièce (Photo 14).

Au microscope, on voit qu'il s'agit d'un remplissage de vacuoles par un matériel argilo-gibbsitique (Photo 17), parfois friable si l'argile est assez abondante ou au contraire très dur quand la gibbsite abonde. Il est à noter que les parois externes des canalicules sont goethitiques. Ce phénomène de gibbsitisation peut s'enfoncer profondément, il a été observé à 7 mètres de profondeur dans la carapace d'un puit. Les canalicules contenant du matériel argilo-silteux, jaune, recourent quelquefois le matériel alumineux qui est donc plus ancien.

Il est évident que la présence de beaucoup d'aluminium dans les cuirasses pose problème. Les blocs de bauxite sont-ils des témoins d'une ancienne cuirasse bauxitique, détruite, plus ou moins descendue à la verticale, puis reprise dans un cycle de ferruginisation ultérieure, ou bien sont-ils le résultat de la concentration d'aluminium provenant de la dissolution, en surface, de goethite alumineuse ? Dans ce cas, on aurait un système unique de cuirasses ferrugineuses qui se détruit en son sommet, ce qui provoque la séparation de l'aluminium du fer et sa concentration vers le haut du profil. Les variations de la taille, des formes et des textures des blocs bauxitiques pourraient faire penser à des témoins d'une ancienne cuirasse bauxitique .

8. Conclusion

La pétrologie des faciès cuirassés nous montre qu'ils sont le résultat d'une succession de phénomènes de dissolution puis reprécipitation de minéraux comme le remplacement de la kaolinite par l'hématite, de l'hématite par la goethite, ou du remplacement de ces minéraux par de la gibbsite, puis par de la kaolinite. Tout ceci se traduit par une descente des minéraux ferrugineux et alumineux dans les profils.

B. LA MINERALOGIE

Les diffractogrammes de rayons X ont servi à la reconnaissance des minéraux et à leur quantification. Cette quantification est basée sur la mesure de la hauteur de certains pics caractéristiques des minéraux, hauteur multipliée par un coefficient caractéristique de chacun des minéraux, la somme des minéraux étant ramenée à 100. Les coefficients ont été déterminés de façon empirique (par comparaison avec des étalons par Y. BESNUS du CSGS). Il est évident, que les résultats obtenus par cette méthode sont loin d'être parfaits et qu'ils doivent être confrontés, le plus souvent possible, à ceux des analyses chimiques. Les résultats concernant les taux de substitution du fer par l'aluminium seront fournis

dans le paragraphe suivant.

1. Les argiles tachetées

Elles contiennent essentiellement de la kaolinite, de l'illite et du quartz, dans les plages claires ; dans les plages brunes on trouve en plus de la goethite, alors que dans celles rouge-sombre, l'hématite apparaît, mêlée à de la goethite, argiles et quartz restant assez abondants. Les goethites sont peu alumineuses, le pic majeur de ce minéral étant proche de celui de l'étalon non alumineux. Les proportions goethite - hématite varient fortement, mais à l'augmentation de la ferruginisation correspond un enrichissement en hématite. De petites quantités de gibbsite ont été trouvées dans quelques échantillons. La cristallinité des kaolinites déterminée par le test du traitement à l'hydrazine de RANGE et al. (1969) amélioré par LIETARD (1977) et CASES et al. (1982) augmente en allant des plages hématitiques aux plages d'altéroplasma, la kaolinite la mieux cristallisée étant celle déposée en accordéons dans les canalicules. Cette observation a été confirmée par les images de microscopie électronique.

2. La cuirasse lamellaire

Nous retrouvons, ici, les composants précédents, mais l'hématite est plus abondante.

3. La cuirasse massive

Elle est caractérisée par sa richesse en hématite et en conséquence sa pauvreté en goethite. La kaolinite est toujours présente, en quantité souvent non négligeable (30 à 40 %). De la gibbsite apparaît épisodiquement.

4. La cuirasse pseudonodulaire

Elle est composée d'hématite, de goethite et d'argiles. L'hématite, rouge sombre à violette, reste le minéral ferrugineux le plus abondant. Au vu de la position du pic majeur sur les diagrammes la goethite est plus alumineuse que celle trouvée dans les argiles tachetées. Il s'avère que les passées brunes sont formées de goethite mêlée à de la kaolinite. La gibbsite est généralement rare dans ce faciès.

5. La cuirasse nodulaire

Sa composition minéralogique correspond, à peu près, à la précédente avec généralement des teneurs en goethite plus élevées et dans le cas du faciès à matrice jaune, de la kaolinite et du quartz plus abondant dans la matrice. La goethite montre souvent sur les diffractogrammes des pics larges, dédoublés, indice de mélange de minéraux à taux de substitution du fer par l'aluminium, variable, parfois très élevé. Les nodules,

violetts ou rouge sombre, sont riches en hématite, pauvres en goethite ; argiles et quartz sont présents en quantité notable ; la gibbsite se trouve en général aussi bien dans les nodules que dans la matrice. La composition des nodules correspond à celle des cuirasses massives avec plus de gibbsite.

Dans tous ces types de cuirasse, après déferrugineuse, on trouve, souvent, de fins débris de minéraux primaires, micas hydratés et microcline. Ces minéraux peuvent représenter quelques % de la roche.

6. Les cuirasses complexes

La goethite est toujours abondante, l'hématite plus rare ; la kaolinite et le quartz sont présents en quantité parfois importante (40 %).

7. Les cuirasses alumineuses

Ces cuirasses sont caractérisées par une dominance de la gibbsite. La boehmite, épisodiquement rencontrée, est peu abondante sauf dans les faciès pisolitiques. Hématite et goethite existent presque toujours en quantité variable, la kaolinite, elle, est généralement peu abondante.

En résumé, on constate que l'évolution minéralogique des cuirasses est marquée en premier lieu par une hématitisation dont le faciès massif serait l'expression la plus complète. Les faciès pseudonodulaires et nodulaires marquent une goethitisation ultérieure de faciès précédent. Une gibbsitisation parfois importante vient se superposer aux paragenèses précédentes. Enfin, hématite, goethite et gibbsite sont remplacées par de la kaolinite et du quartz.

C. GEOCHIMIE DES PHASES MINÉRALES

Nous allons présenter le résultat des analyses à la microsonde par dispersion de longueur d'onde. La méthode basée sur un système d'analyse point par point, permet de connaître la composition d'un volume de quelques microns cubes d'où celle de différentes phases minérales d'un échantillon.

Le seuil de détection de la plupart des éléments étant assez élevé, de l'ordre de 200 ppm, beaucoup d'éléments traces échappant à l'investigation, on le retrouve dans les analyses multiéléments dont il sera question dans le chapitre suivant. Cette méthode reste toutefois précieuse pour la connaissance de l'évolution des éléments majeurs et mineurs. Une trentaine d'échantillons a été analysée.

1. Les argiles tachetées

L'échantillon décrit, du type schisteux, contient du matériel filonien. Dans ce type de faciès on observe plusieurs paragenèses, celle de

l'altéroplasma, celle de la phase goethitique et celle de la phase hématitique, ces deux dernières phases étant souvent imbriquées ; de plus, on observe parfois de la kaolinite orientée.

a) L'altéroplasma

Sa composition dépend étroitement de celle de la roche mère. Aux restes micacés correspondent de fortes teneurs en K (tabl. I, 1 à 5) qui décroissent rapidement lors de leur altération. Mg est toujours moins abondant ainsi que Ti. Les kaolinites qui en dérivent contiennent encore des quantités non négligeables de K, peu de Ti et très peu de Mg. D'autres kaolinites contiennent plus de Ti, moins de K et pas de Mg, elles ne paraissent pas dériver de micas. Du quartz et du rutile subsistent en quantité variable. As et Ti existent en très petite quantité (tabl. I, 7 à 10). Le fer est globalement peu abondant mais toujours présent (tabl. I, 6 à 10).

b) La phase goethitique

Cette phase, au contact de la précédente, est souvent composée de cristaux très petits (inférieur à 1 micron) noyés dans une masse argileuse, ce qui, à l'analyse, nous donne la composition du mélange des deux (tabl. I, 11 à 14). Par rapport à l'altéroplasma, on constate une diminution du Ti, une augmentation nette de l'As, du P, du V et du Cr. S et Cl existent en très petites quantités. L'aluminium substituant le fer dans les goethites a été calculé après soustraction, à l'aluminium total, de celui nécessaire à la formation de la kaolinite. Le taux de substitution varie ainsi de 5 à 15 % d'atomes d'aluminium mais la majorité des goethites en contient moins de 10 %.

c) La phase hématitique

Celle décrite ici, au contact de la précédente, correspond à l'altération d'un filonnet quartzeux ayant, sans doute, contenu des sulfarséniures ce qui expliquerait les fortes teneurs en As. En fait, le fond géochimique reste le même que dans le cas des goethites avec un peu plus de Ti et d'As (Tabl. I, 15 à 18). A 6 centimètres, en dehors du filonnet, l'hématite contient très peu d'As, mais Ti et P restent relativement importants (Tabl. I, 19). Ces hématites contiennent très peu d'Al dans leurs structures (pas plus de 3 %).

Tableau I - Analyses à la microsonde d'argiles tachetées.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MG	1,30	1,27	1,46	0,79	0,76	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K	9,66	9,30	8,30	4,86	2,06	0,62	0,25	0,6	0,41	0,39	0,36	0,23	0,27	0,66	0,06	0,01	0,06	0,03	0,08
SI	47,71	45,99	50,80	43,81	37,52	41,09	45,04	37,5	36,31	37,46	16,52	24,68	16,25	16,95	1,86	3,48	1,51	1,93	1,55
FE	2,30	2,30	2,74	1,23	11,64	0,37	0,34	4,44	2,99	4,20	45,37	25,95	50,15	49,06	77,26	77,29	80,23	79,43	80,71
Al	32,22	30,81	29,66	31,74	25,62	33,1	38,39	31,39	31,41	32,96	19,61	27,71	16,19	16,27	1,12	3,04	1,23	1,23	1,18
CR	0,02	0,0	0,0	0,0	0,08	0,09	0,0	0,0	0,02	0,0	0,03	0,0	0,0	0,0	0,28	0,30	0,0	0,0	0,06
TI	0,57	0,43	0,16	0,2	0,53	0,14	0,09	1,15	1,25	1,07	0,4	0,14	0,21	0,21	0,57	0,61	0,34	0,29	1,18
CL	0,0	0,0	0,01	0,07	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,08	0,03	0,0	0,07	0,02	0,02	0,0	0,0	0,0
AS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,15	0,08	0,05	0,0	0,11	0,26	0,38	0,64	0,60	0,73	0,87	0,04
S	0,0	0,0	0,02	0,05	0,02	0,0	0,01	0,0	0,0	0,0	0,11	0,07	0,06	0,08	0,02	0,0	0,02	0,0	0,0
V	0,01	0,08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27	0,09	0,12	0,32	0,09	0,06	0,35	0,15	0,06
P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,03	0,0	0,0	0,30	0,25	0,13	0,12	0,18	0,34	0,26	0,32	0,20
	93,79	90,18	93,16	82,75	78,31	75,53	84,12	75,26	72,45	76,14	83,05	79,26	83,64	84,12	82,01	85,75	84,73	84,25	85,06

2. Les cuirasses ferrugineuses

Il s'agit de cuirasses riches en hématite, soumises à une goethitisation ultérieure marquée par l'apparition d'une phase de goethite orientée, souvent associée à de l'hématite et des argiles, et d'une phase de goethite diffuse.

Tableau II - Analyses à la microsonde d'une cuirasse pseudonodulaire.

	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
MG	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K	0,03	0,01	0,36	0,35	0,44	0,49	0,76	0,04	0,0	0,01	0,04	0,03	0,01	0,0	0,01	0,0	0,04	0,72	1,20
SI	1,62	1,13	4,50	5,27	16,95	8,16	13,89	1,39	1,56	1,22	1,13	1,34	1,81	1,59	1,56	1,71	1,31	42,14	14,10
FE	79,19	82,05	67,69	58,76	42,64	53,91	59,35	77,55	80,90	80,1	77,4	78,87	70,84	70,33	72,36	72,05	67,70	0,50	47,19
AL	2,84	1,90	6,16	12,71	20,97	14,10	12,44	3,46	1,84	2,44	3,27	2,81	5,36	3,04	1,97	2,09	4,74	36,78	20,36
CR	0,0	0,71	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TI	0,29	0,23	0,12	0,03	0,0	0,09	0,23	0,02	0,0	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,11	0,18
CL	0,03	0,02	0,13	0,12	0,04	0,04	0,13	0,24	0,21	0,11	0,05	0,23	0,05	0,01	0,01	0,0	0,05	0,2	0,1
AS	0,22	0,16	0,13	0,35	0,13	0,16	0,28	0,59	0,30	0,60	0,68	0,50	0,49	0,28	0,14	0,17	0,36	0,0	0,0
S	0,0	0,0	0,0	0,03	0,01	0,03	0,01	0,0	0,03	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
V	0,15	0,12	0,23	0,20	0,17	0,38	0,22	0,26	0,23	0,40	0,49	0,17	0,23	0,09	0,21	0,08	0,28	0,05	0,20
P	0,01	0,09	0,0	0,24	0,08	0,22	0,0	0,09	0,13	0,05	0,05	0,08	0,05	0,09	0,03	0,04	0,05	0,0	0,08
	84,38	86,42	79,8	78,06	81,41	77,36	87,31	83,64	85,2	84,96	83,15	83,83	78,84	75,43	76,32	76,16	74,55	80,33	83,04

a) Cuirasse pseudonodulaire

Les analyses du tableau II fournissent un exemple de la composition de ces différentes phases dans un même échantillon de cuirasse :

- 20 à 23 représentent de l'hématite de première génération mêlée à un peu d'altéroplasma ;
- 24 à 26 correspondent à de la goethite diffuse en contact avec l'hématite précédente ;
- 27 à 31 sont des hématites de deuxième génération ;
- 32 à 36 sont de la goethite radiée de dépôt canaliculaire ;
- 37 est de l'altéroplasma et 38 un mélange de goethite et d'altéroplasma, au contact du précédent.

Les enseignements que l'on peut tirer de de cet exemple sont les suivants :

- Les hématites, qu'elles soient de première ou de deuxième génération, sont pauvres en Al, 1 à 3 % d'atomes.
- La goethite radiée est très pauvre en Al, cela pourrait signifier qu'elle provient de l'altération de sulfures, mais rien n'indique la présence de filon.
- Ti présent en petite quantité dans l'altéroplasma se retrouve dans l'hématite primaire et disparaît, presque complètement, du fer du dépôt canaliculaire.
- As est relativement abondant dans les ferranes, un peu plus dans l'hématite que dans la goethite. Il diffuse un peu dans les plages hématitiques et goethitiques proches des canalicules et disparaît dans les plages argileuses.

- S et Cl apparaissent épisodiquement en très petite quantité.
- P, peu abondant, est légèrement enrichi dans la goethite diffuse.

Des résultats comparables ont été retrouvés dans des échantillons du même type.

b) Cuirasse nodulaire à matrice goethitique

Dans ce type de cuirasse, les nodules présentent souvent un cortex argilo-goethitique à stries d'accroissement, plus ou moins concentriques. La matrice, qui les entoure est, elle aussi, composée par du matériel argilo-goethitique peu ou pas orienté. Dans le tableau III les analyses concernent :

- 39 à 41, de l'hématite nodulaire ;
- 42 et 43, de l'altéroplasma ;
- 44 à 51, le matériel de différentes stries du cortex du nodule ;
- 52 à 56, la matrice.

Tous ces points se trouvent dans une plage de 1 mm de diamètre.

Tableau III - Analyses à la microsonde d'une cuirasse nodulaire: répartition de Ti, V, P.

	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
MG	0,0	0,0	0,0	0,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
K	0,0	0,03	0,01	1,41	0,0	0,30	0,05	0,03	0,08	0,02	0,0	0,0	0,01	0,1	0,1	0,39	0,25	0,03
SI	5,79	3,21	3,88	34,36	36,41	18,57	8,12	8,81	12,43	3,26	4,90	3,64	2,44	13,81	12,94	23,19	15,20	12,29
FE	79,42	78,41	80,11	25,51	9,50	40,31	54,38	53,34	47,02	61,35	69,58	74,43	61,84	54,01	48,78	26,82	54,51	60,67
AL	3,55	1,34	2,98	29,96	32,48	31,21	18,24	16,33	19,20	17,92	11,59	5,37	12,49	14,41	14,84	30,46	14,54	14,67
CR	0,0	0,06	0,0	0,0	0,0	0,17	0,0	0,05	0,0	0,0	0,04	0,44	0,0	0,35	0,36	0,15	0,0	0,29
TI	0,07	0,03	0,12	0,0	0,27	0,88	0,22	0,97	0,32	0,43	0,10	0,0	0,0	1,02	1,12	1,37	1,14	1,0
CL	0,0	0,01	0,0	0,0	0,03	0,01	0,0	0,01	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	nd	nd	nd	0,0	0,0
AS	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	0,08	0,08	nd	nd	nd	0,0	0,07
S	0,01	0,01	0,01	0,0	0,22	0,02	0,31	0,02	0,06	0,04	0,0	0,02	0,02	nd	nd	nd	0,04	0,0
V	0,14	0,21	0,12	0,0	0,24	0,22	0,88	0,06	0,27	0,41	0,25	0,30	1,12	0,35	0,19	0,10	0,16	0,20
P	0,06	0,0	0,15	0,06	0,03	0,26	1,49	1,62	1,17	1,72	1,36	0,55	0,87	0,39	0,39	0,58	0,20	0,41
	89,03	84,08	87,38	91,31	79,19	92,13	83,70	81,22	80,56	85,18	88,92	84,83	79,14	84,54	78,72	83,50	86,03	89,64

Ces résultats appellent les commentaires suivants : l'hématite des nodules est peu alumineuse (1,4 % au maximum) et assez pauvre en Ti et V. L'altéroplasma est dans certains cas plus riche en Ti et V.

Dans le cortex on constate un fort enrichissement en Ti, V et P. V et P augmentent avec les quantités de goethite, alors que Ti et Cr sont plus abondants quand le matériel est un peu plus argileux. Dans la matrice l'évolution des éléments est la même que dans le cortex mais leur quantité est différente. Ainsi, il y a plus de K, de Cr, de Ti et moins de V et P que dans le cortex. Le taux de substitution de Fe par Al est en général élevé, 19 à 30 %. Dans le même échantillon à 3 mm de la zone précédente (photo 16) on trouve un nodule, brun-rouge, argilo-goethitique montrant de nombreux ferranes (dépôts ferrugineux parallèles aux parois des pores) d'hématite et goethite. Dans le tableau IV sont présentés, les résultats des analyses concernant :

- 57 à 59, l'hématite des ferranes ;
- 60 à 62, la goethite située au contact ;

- 63 à 65, le liseré argileux externe ;
- 66 à 71, la masse argilo-goethitique du nodule ;
- 69, un petit îlot de gibbsite dans le nodule.

Le point important, ici, est la fixation de V par l'hématite et, un peu plus, par la goethite des ferranes. Il en est de même dans la goethite de la matrice. Ti a un comportement complexe. Présent dans l'hématite des ferranes, rare à absent dans la goethite de ces mêmes ferranes, on en retrouve, un peu plus, dans la matrice argilo-goethitique, où il est parfois absent quand cette matrice est très argileuse. S, Cl et As existent sporadiquement, en très petite quantité (Tabl. IV).

Tableau IV - Analyses à la microsonde d'une cuirasse nodulaire: répartition de V.

	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
MG	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	0,02	0,0	0,0	0,0	0,04	0,0	0,04	0,0
K	0,02	0,03	0,0	0,03	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,04	0,02	0,02	0,0	0,07	0,0
SI	0,66	0,75	0,61	1,26	1,25	1,0	45,21	42,86	36,69	18,40	19,19	25,50	0,16	48,53	46,86
FE	89,81	83,61	88,76	72,0	69,4	73,45	4,69	8,73	16,67	55,11	53,34	34,66	1,0	1,07	1,14
AL	1,15	1,82	1,31	5,85	3,93	5,33	34,36	33,79	32,37	16,55	17,67	22,57	76,41	38,61	38,36
CR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	0,0	0,0	0,04	0,01	0,0	0,0	0,11	0,06	0,07	0,0
TI	0,12	0,17	0,06	0,0	0,0	0,0	0,19	0,32	0,25	0,35	0,34	0,14	0,0	0,02	0,31
CL	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AS	0,03	0,06	0,03	0,0	0,0	0,04	0,0	0,0	0,0	0,06	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0
S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	0,0	0,02	0,03	0,0	0,01	0,0	0,0	0,02
V	0,68	0,79	0,90	1,11	0,68	0,91	0,11	0,07	0,09	0,81	0,64	0,57	0,01	0,03	0,0
P	0,0	0,0	0,05	0,30	0,24	0,20	0,13	0,0	0,12	0,0	0,07	0,01	0,13	0,01	0,0
	92,58	87,30	91,86	80,61	75,55	80,94	85,06	85,88	86,22	91,35	91,38	83,62	77,77	88,45	86,69

c) Cuirasse nodulaire à matrice jaune silteuse

Dans cette cuirasse la matrice est riche en quartz de la taille des limons (inférieurs à 50 microns) et en argile.

Dans le tableau V sont donnés les résultats de l'analyse d'une cuirasse de ce type. Ils correspondent :

- 72 à 76, à l'intérieur d'un nodule ;
- 77 à 79, au cortex du nodule ;
- 80 à 83, à la matrice argilo-quartzreuse à son contact ;
- 84 à 88, au cortex du nodule voisin ;
- 89 à 91, au coeur du nodule.

Le point 75 correspond à un îlot de gibbsite et 76 et 91 à des ferranes goethitiques.

Nous retrouvons dans cet exemple des phénomènes déjà observés ailleurs. Le fer de l'hématite des nodules est peu substitué en Al. La goethite des cortex l'est plus, mais de façon très irrégulière (5 à 28 % d'atomes d'Al). Ti s'avère concentré dans le matériel argilo-goethitique de la matrice où l'on observe, d'ailleurs, de minuscules grains de rutile,

ainsi que de façon épisodique, dans le cortex, des nodules V se retrouvent, plus abondants, dans toutes les phases riches en fer et P, surtout dans les milieux goethitiques. Un point important tient à la différence marquée de composition entre les goethites du cortex des nodules, celle des ferranes internodulaires et celle de la matrice.

d) Cuirasse formée sur filons quartzeux

L'exemple présenté, ici, est destiné à illustrer l'altération de matériel filonien quartzeux traversé de microfissures remplies de goethite noire et dont l'aspect est celui d'un chapeau de fer. Les résultats de l'analyse des différentes phases de ce faciès sont donnés dans le tableau VI, on y trouve :

- 92 à 93, du matériel argileux au centre des microfissures composé de kaolinite et de micas altérés ;
- 93 à 98, de la goethite bien cristallisée vers les bords du filonnet ;
- 99 à 102, le matériel argilo-goethitique des épontes.

Tableau VI - Analyses à la microsonde d'une cuirasse sur filon: répartition d'As et P.

	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
MG	0,41	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	0,0	0,0
K	2,48	0,32	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0	0,01	1,32	0,06	1,53
SI	44,77	42,04	0,68	0,56	0,73	0,43	0,34	0,89	6,55	3,29	14,18
FE	1,60	1,07	70,25	70,39	69,19	73,72	74,04	70,88	65,44	67,94	49,85
AL	33,18	36,9	2,28	2,0	0,42	0,45	1,09	3,56	6,35	4,82	14,21
CR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	0,0	0,16	0,0	0,24	0,0	0,04
TI	0,01	0,0	0,16	0,0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,0	0,06	0,0
CL	0,16	0,03	0,0	0,28	0,03	0,02	0,0	0,04	0,03	0,0	0,01
AS	0,0	0,0	0,48	0,55	0,41	0,31	0,29	0,08	0,0	0,09	0,0
S	0,07	0,04	0,0	0,0	0,15	0,0	0,01	0,05	0,03	0,0	0,0
V	0,12	0,0	0,14	0,57	0,0	0,02	0,0	0,06	0,1	0,0	0,07
P	0,0	0,02	2,06	0,0	2,79	6,53	3,47	2,57	1,57	3,15	1,14
	82,8	80,48	76,06	74,36	73,80	81,50	79,43	78,17	81,64	79,42	81,03

As se trouve essentiellement localisé dans la goethite, bien cristallisée du filonnet, peu alumineuse (moins de 2 % d'Al). P y est parfois abondant mais on le trouve aussi en quantité moindre dans la goethite des épontes qui contient jusqu'à 5,5 % d'Al. Ti est rare. V apparaît ponctuellement assez abondant dans la goethite. Cl et S existent en petite quantité dans tous les faciès.

On constate donc que la plus grande partie de l'arsenic se trouve dans de la goethite remplissant des filonnets et que sa diffusion dans les épontes est faible.

3. Les cuirasses alumineuses

Tableau V - Analyses à la microsonde d'une cuirasse nodulaire: répartition de Ti et P.

	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
MG	0,05	0,0	0,15	0,0	0,0	0,0	0,10	0,0	0,12	0,08	0,06	0,05	0,0	0,08	0,0	0,0	0,0	0,17	0,21	0,0
K	0,15	0,28	0,27	0,06	0,01	0,0	0,23	0,0	0,29	0,13	0,23	0,24	0,06	0,19	0,06	0,09	0,07	0,35	0,30	0,0
SI	14,78	16,55	20,66	2,45	4,40	37,98	34,18	9,13	15,92	15,23	14,95	16,32	6,80	19,46	7,86	8,66	8,11	13,08	37,15	2,01
FE	54,78	50,38	44,47	0,5	70,40	12,18	18,17	45,92	52,52	55,50	55,26	51,55	53,46	46,92	57,78	57,02	49,95	56,96	18,26	60,30
Al	13,57	14,87	18,14	80,92	9,63	35,26	32,64	27,21	15,72	15,08	14,20	15,88	20,42	18,37	10,68	10,49	14,01	12,79	31,0	8,67
CR	0,0	1,22	0,28	0,0	0,0	0,0	0,27	0,0	0,0	0,11	0,29	0,0	0,31	0,05	0,0	0,0	0,18	0,40	1,05	0,0
TI	0,36	0,18	0,23	0,0	0,06	0,33	0,14	0,52	0,78	0,77	1,20	0,0	0,09	0,63	0,18	0,21	0,10	0,53	0,0	0,0
CL	0,1	0,0	0,08	0,0	0,01	0,06	0,03	0,08	0,0	0,05	0,0	0,0	0,0	0,03	0,01	0,06	0,0	0,15	0,26	0,0
AS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03
S	0,02	0,0	0,07	0,06	0,0	0,0	0,14	0,0	0,24	0,0	0,0	0,07	0,0	0,04	0,02	0,10	0,32	0,07	0,0	0,0
V	0,30	0,22	0,19	0,05	0,27	0,0	0,01	0,23	0,06	0,13	0,13	0,15	0,18	0,20	0,57	0,55	0,34	0,16	0,08	0,22
P	0,07	0,20	0,12	0,38	0,0	1,63	0,11	0,48	2,17	1,17	0,52	0,0	0,18	0,0	0,28	0,57	1,19	0,59	0,04	0,45
	84,34	83,95	84,58	84,31	84,87	87,43	85,93	83,57	87,35	88,16	86,79	84,21	81,51	85,89	77,56	78,10	77,39	85,08	87,35	71,81

Tableau VII - Analyses à la microsonde de cuirasses alumineuses.

	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
MG	0,0	0,0	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0
K	0,02	0,0	0,04	0,01	0,01	0,02	0,0	0,02	0,03	0,03	0,04	0,0	0,04	0,02	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0
SI	10,89	0,64	9,37	0,20	10,28	1,15	1,15	1,94	2,19	2,85	0,95	0,38	1,17	1,01	0,05	0,2	1,01	1,27	0,61	0,05
FE	3,19	0,27	2,81	0,19	2,99	79,44	25,6	23,41	11,50	17,29	1,34	12,51	5,28	4,93	0,26	3,28	4,20	15,73	41,01	0,93
AL	69,75	76,91	72,43	82,05	69,35	6,11	54,64	64,93	71,76	60,61	69,68	73,23	76,25	79,09	76,67	77,43	79,16	69,10	45,57	74,59
CR	0,16	0,0	0,05	0,0	0,02	0,2	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,06	0,0	0,0	0,0	0,07
TI	1,06	0,03	0,20	0,0	0,27	0,36	1,01	0,38	1,10	1,23	0,46	0,76	1,22	0,67	0,0	0,13	0,71	0,76	0,95	0,05
CL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,07	0,09	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,0	0,04	0,0	0,0	0,05	0,02
AS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,01	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,05	0,0	0,0	0,0
S	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,04	0,04	0,0	0,05	0,05	0,0	0,05	0,01	0,0	0,0	0,03	0,05	0,02	0,0
V	0,12	0,0	0,02	0,0	0,08	0,23	0,03	0,10	0,0	0,09	0,08	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	0,0	0,14	0,0
P	0,0	0,05	0,02	0,0	0,12	0,06	0,13	0,11	0,08	0,10	0,02	0,08	0,12	0,09	0,0	0,0	0,11	0,07	0,08	0,0
	85,22	77,95	85,04	82,57	82,20	87,64	82,67	90,99	86,67	82,27	84,78	87,08	84,14	85,82	77,01	81,16	85,34	87,0	88,44	75,69

On distingue deux groupes de faciès riches en aluminium :

- les faciès de cuirasses où le fer est partiellement substitué par de l'aluminium ;
- les bauxites où ce phénomène de substitution n'apparaît pas.

a) Aluminisation d'une cuirasse ferrugineuse

A cet exemple correspondent les analyses 103 à 107 du tableau VII. Cet échantillon correspond à un morceau de la cuirasse nodulaire analysée dans les tableaux III et IV. On constate l'appauvrissement de l'échantillon en éléments mineurs, toutefois Ti, bien qu'irrégulièrement réparti, existe en quantité notable sauf dans les plages de gibbsite très pure où il disparaît presque complètement.

b) Bauxite

L'échantillon analysé (tableau VII) est une bauxite pisolitique, contenant autant de gibbsite que de boehmite et de l'hématite, qui forme souvent le cœur des pisolites. La séparation gibbsite, boehmite est souvent impossible à faire, les minéraux alumineux étant souvent masqués par le fer.

Les analyses concernent : le noyau d'un pisolite, 108 à 110, les dépôts concentriques formant le cortex, 111 à 116, et la matrice des pisolites, 119 à 122.

108 correspond à de l'hématite, alors que 114 et 115 sont formés avec certitude par de la boehmite, et 117 par de la gibbsite.

Dans la matrice, on observe de nombreux cristaux microniques riches en Ti, parfois automorphes. L'hématite formant le noyau de certains pisolites est différente de celle décrite jusqu'à maintenant car nettement plus alumineuse (6 à 8 % d'Al), elle contient en outre un peu de Ti et V. Ti se trouve concentré dans la phase alumineuse mais il a tendance à disparaître en l'absence de fer.

De très petites quantités de Cl, S, As et P existent dans les phases très alumineuses.

4. Conclusion

La microsonde nous a permis de situer la position de quelques éléments par rapport aux minéraux composant divers faciès cuirassés. En faisant la revue élément par élément on constate les faits suivants :

- Mg et K sont présents pour l'essentiel dans des micas incomplètement altérés. Leur altération en kaolinite provoque la disparition de Mg et la conservation d'une petite quantité de K que l'on retrouve dans les faciès ferruginisés. Une partie de K provient aussi de la persistance de résidus de feldspaths dans les cuirasses.

- Le comportement de Ti est complexe, présent dans les phases primaires, argiles de l'altéroplasma, on en retrouve un peu avec l'hématite mais surtout avec les goethites mêlées aux argiles des matrices et des cortex de nodules dans les cuirasses nodulaires ; il est pratiquement absent

dans les goethites très pures provenant de l'altération de filons ou déposées le long des parois de pores. Il se concentre aussi avec des minéraux alumineux contenant des impuretés argileuses et ferrugineuses.

- V et P, eux sont fortement liés aux goethites où leur concentration peut être considérablement renforcée, particulièrement dans celles des matrices et cortex de cuirasses nodulaires.

- As se retrouve en grande partie dans les minéraux ferrugineux à aspect de chapeau de fer, essentiellement de la goethite provenant de l'altération de matériel filonien. Il diffuse en petite quantité dans le matériel environnant, souvent dans des ferranes hématitiques et goéthitiques.

- Cr, trouvé épisodiquement et en petite quantité, a un comportement assez proche de celui de Ti.

- S et Cl existent un peu partout en très petite quantité. Leur présence ne doit pas être négligée car certains de leurs composés pourraient servir de support au transport de l'or.

- Une partie de Ti et Zr se retrouve dans la phase résiduelle et peut-être, pour le premier, dans une phase oxyde néoformée.

III - CONCLUSION

Après avoir décrit rapidement les faciès indurés tels qu'ils se présentent dans les puits, ils ont été classés en allant des plus récents vers les plus anciens, c'est-à-dire de bas en haut, puis étudiés en détail. Le point important est l'abondance en surface de faciès anciens rajeunis, ce qui se traduit par le remplacement de l'hématite par de la goethite enrichie en certains éléments tels V, P et parfois Ti, Cr, provenant du lessivage d'horizons situés antérieurement au-dessus. Ceci peut, bien entendu, oblitérer l'image géochimique de la roche sur laquelle s'est formée cette cuirasse. Plusieurs générations de goethite arrivent à se superposer, avec leur cortège d'éléments parfois différents, réduisant petit à petit le domaine de l'hématite de première génération et de l'altéroplasma qui l'accompagne, c'est-à-dire le domaine assez représentatif du substrat. Cette tendance va en s'accroissant avec les phénomènes ultérieurs de gibbsitisation puis de kaolinisation qui outre son effet de dilution sur les éléments provoque la désagrégation de la cuirasse par départ du fer. Le résultat sur le terrain est l'apparition en surface de nodules et blocs cuirassés isolés. Tous ces résultats nous donnent déjà une idée des faciès qui représentent le mieux le substratum sur lequel se sont formées les cuirasses, donc les plus favorables à la prospection minière. Dans les descriptions pétrologiques, ces faciès sont rangés par ordre d'intérêt décroissant, en allant des argiles tachetées vers les cuirasses nodulaires ; le cas des cuirasses formées sur du matériel filonien devant être mis à part.

En surface, les cuirasses nodulaires sont les plus abondantes. Ce sont aussi celles qui peuvent présenter de fortes altérations de l'image du fond géochimique, soit :

- par l'importance des phénomènes, dissolution, précipitation de nouveaux

minéraux, les échantillons à plages ou nodules rouges sombres à violet, abondants, sont les plus intéressants ;
- parce qu'il y a doute sur l'autochtonie de ses constituants, cas rare observé en bas de pente sur les berges de certains marigots, il vaut mieux éliminer ce type d'échantillon.

Les cuirasses formées sur matériel filonien, facilement reconnaissables, sont intéressantes d'une part, le maintien de leur structure permet de confirmer l'authochtonie des cuirasses, d'autre part les goethites et hématites qui les composent conservent, assez bien, des minéraux comme l'arsenic, indiquant la proximité possible de l'or.

Plan de situation

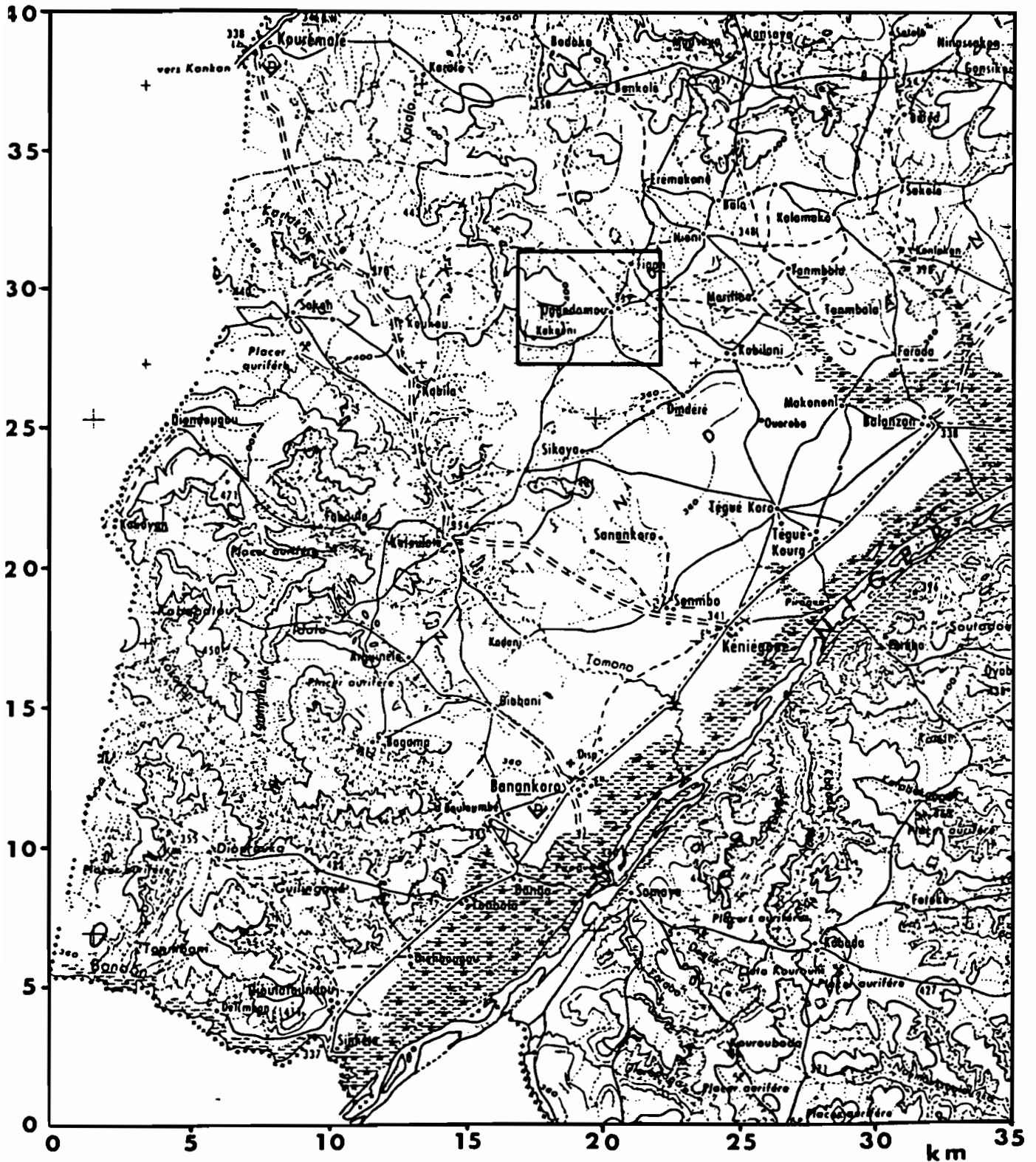


Fig. 16 - Plan de situation du prospect de Dagadamous dans la région de Kangaba (Sud-Mali).

CHAPITRE IV

CARTOGRAPHIE GEOCHIMIQUE ET MINERALOGIQUE

Ce chapitre comprend deux parties :

- La première partie, concerne l'étude de la distribution des éléments dans le secteur de Dagadamou qui a fait l'objet d'une prospection géochimique tactique par le "Syndicat Or-Mali" en 1981.

- La deuxième partie est consacrée à l'étude des échantillons de cuirasses, prélevés sur l'ensemble de la zone de Kangaba (fig. 16), au cours des campagnes 1985 et 1986, et analysés au CSGS dans le cadre de la Convention.

I - DIFFERENCIATION GEOCHIMIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DU SECTEUR DE DAGADAMOU

A. INTRODUCTION

Le village de Dagadamou est situé au centre de la zone d'étude de Kangaba, entre le fleuve Niger et la frontière guinéenne (fig. 16). Ce secteur, d'une superficie de 25 km² environ, a été couvert en 1981 par une prospection tactique multiélément réalisée par le Syndicat de recherche minière associant le BRGM et la DNGM. Il s'agit d'un échantillonnage systématique, à maille régulière, des sols et des cuirasses affleurantes des plateaux. L'exploitation de ces données pour la prospection des minéralisations en Or et en métaux de base, est présentée dans le rapport BRGM 81.RDM.058AF. Dans cette étude, on s'intéressera surtout aux différenciations du fond géochimique des formations superficielles du paysage latéritique. Elles seront examinées à travers la représentation statistique des distributions de teneurs pour chaque type de prélèvement et la cartographie des éléments.

B. PRESENTATION DES DONNEES

1. Echantillonnage

Les 1062 échantillons prélevés sur ce secteur, suivant une maille de 100 x 200 m sont classés en cinq catégories à partir des observations de

terrain. On distingue ainsi :

- 484 échantillons de cuirasses ;
- 288 échantillons de sols gravillonnaires ;
- 245 échantillons de sols de flats ;
- 35 échantillons de sols latéritiques ;
- 10 échantillons de type indéterminé.

Les prélèvements ont été effectués en surface pour les cuirasses et à une profondeur de 30 à 50 cm pour les échantillons de sols.

2. Analyses

Les analyses ont été réalisées par spectrométrie d'émission à plasma ICP au laboratoire du BRGM, après broyage des échantillons. Les dosages portent sur 8 éléments majeurs exprimés en pourcentage d'oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , TiO_2 , MnO) et 26 éléments traces (P, Ba, B, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ce, Y, Sr, Zr, Li, Be, Cd, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, La, W, Pb, Bi) exprimés en ppm. Les éléments Ca, Cd, Be, Ag, Sn, La, W, Pb, Bi ont des teneurs trop faibles pour être bien représentés au niveau du fond géochimique. Ils n'ont pas été pris en compte dans la suite des traitements. Les éléments majeurs, potassium, magnésium et manganèse, sont également peu abondants mais ils ont été conservés pour faciliter l'interprétation des associations géochimiques.

3. Calcul des minéraux normatifs

La composition normative des échantillons en quartz, kaolinite, gibbsite, goéthite et hématite, a été calculée à partir des teneurs en oxydes SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 . Cette transformation, suivant laquelle les teneurs chimiques sont converties en teneurs minéralogiques, correspond à un changement de base dans l'espace vectoriel des compositions. Pour effectuer ce changement de base, il faut tenir compte de deux paramètres supplémentaires car le nombre de minéraux est supérieur au nombre d'éléments. Le premier paramètre introduit, correspond à la règle thermodynamique qui sépare le domaine de stabilité du quartz et de la gibbsite. Le deuxième paramètre utilisé, est fourni par l'estimation du degré d'hydratation des minéraux à partir de l'écart de bouclage des analyses à 100 %. Le système d'équations posé est le suivant :

$$\text{H}_2\text{O} = 100 - (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{MnO} + \text{TiO}_2)$$

Si le rapport alumine sur silice d'un échantillon est inférieur à celui de la kaolinite (39,5/46,5), l'échantillon contient du quartz sinon il contient de la gibbsite. On a donc, respectivement :

- Si $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 < 39,5/46,5$:

Teneur en kaolinite : $\text{KAOL} = \text{Al}_2\text{O}_3/0,395$;
Teneur en quartz : $\text{QUAR} = \text{SiO}_2 - 0,465 \text{ KAOL}$;
Teneur en goéthite : $\text{GOET} = 10 (\text{H}_2\text{O} - 0,14 \text{ KAOL})$;
Teneur en hématite : $\text{HEMA} = \text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,9 \text{ GOET}$;
Teneur en gibbsite : $\text{GIBB} = 0$.

- Si $Al_2O_3/SiO_2 > 39,5/46,5$:

Teneur en kaolinite : $KAOL = SiO_2/0,465$;
Teneur en quartz : $QUAR = 0$;
Teneur en goethite : $GOET = 10 (H_2O - 0,14 KAOL - 0,346 GIBB)$;
Teneur en hématite : $HEMA = Fe_2O_3 - 0,9 GOET$;
Teneur en gibbsite : $GIBB = (Al_2O_3 - 0,395 KAOL)/0,654$.

Ici les intervalles de variation de la goethite et de l'hématite ont dû être ramenés entre 0 et 100 % car les teneurs en eau sont parfois estimées par excès ou par défaut, et l'on ne retient finalement que le rapport hématite sur goethite :

$RHG = HEMA / (GOET + HEMA) * 100$;

Les teneurs en goethite et en hématite sont alors calculées en fonction des teneurs en fer :

Teneur en hématite : $HEMA = Fe_2O_3 / (1 + 0,9 (100 - RHG)/RHG)$;
Teneur en goethite : $GOET = HEMA (100 - RHG)/RHG$.

Les six variables QUAR, KAOL, GIBB, GOET, HEMA et RHG, ainsi calculées serviront à interpréter les variations de teneurs des éléments majeurs et traces en termes de minéralogie des échantillons.

Les traitements statistiques réalisés par la suite, ont pour but de montrer les différenciations entre les trois catégories principales de prélèvements par comparaison des teneurs moyennes et aussi à l'intérieur de chaque catégorie par l'étude des corrélations entre éléments. Ils sont effectués à l'aide du logiciel SAS pour les calculs et du logiciel UNIRAS pour les représentations graphiques, sur l'ordinateur IBM du Centre de Calcul de Strasbourg-Cronenbourg.

C. DIAGRAMMES DE REPARTITION, FER, SILICE, ALUMINE

Les variations simultanées des teneurs des échantillons en Fe_2O_3 , SiO_2 et Al_2O_3 sont représentées avec un figuré différent pour chaque type de prélèvement, sur les diagrammes des figures 17, 18 et 19. On voit bien que le facteur de différenciation principal des échantillons correspond à l'opposition des teneurs en fer et en silice et que les trois catégories de prélèvements ont des compositions distinctes :

- les sols de flat contiennent entre 70 et 85 % de silice et moins de 10 % de Fer ;
- les cuirasses montrent deux tendances de différenciation à partir d'un pôle très ferrifère, situé à 60 % Fe_2O_3 et 18 % Al_2O_3 :
 - * une tendance siliceuse où le fer et l'aluminium varient dans le même sens en opposition avec la silice ;
 - * une tendance alumineuse où l'alumine varie en opposition avec le fer ;

Sur le diagramme fer-alumine (fig. 19), ces deux types de cuirasse sont

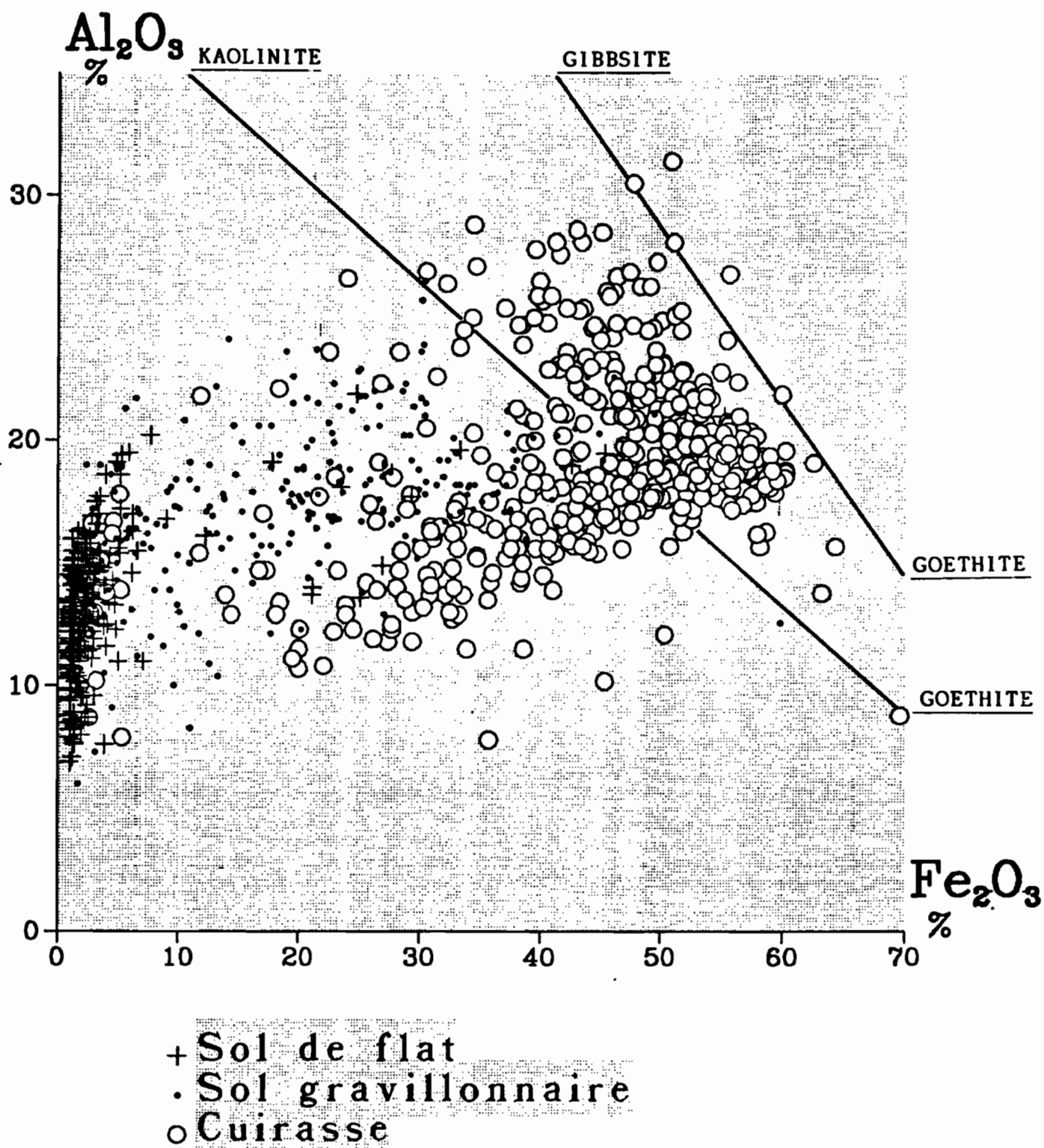


Fig. 17 - Diagramme de répartition des teneurs en alumine et en silice.

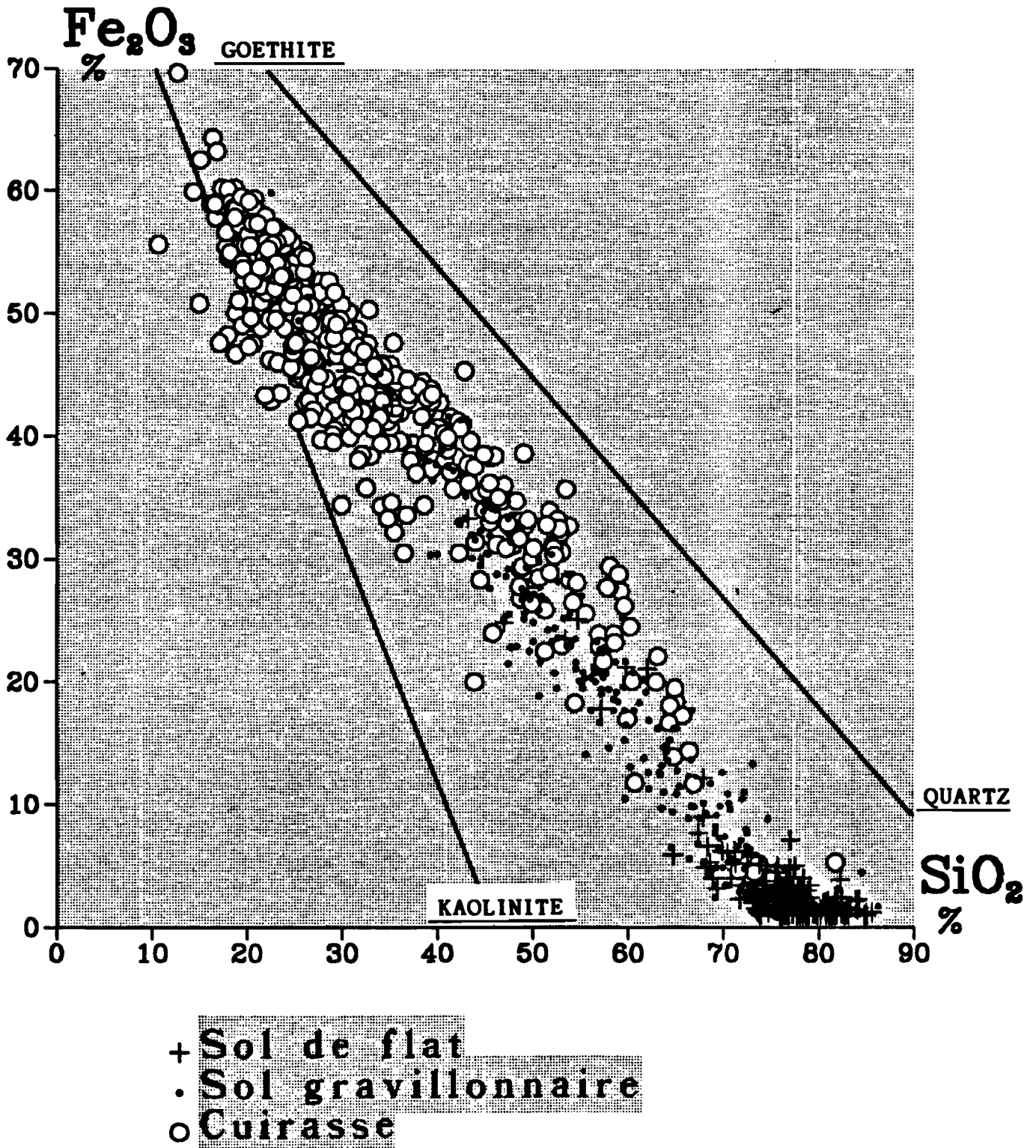


Fig. 18 - Diagramme de répartition des teneurs en fer et en silice.

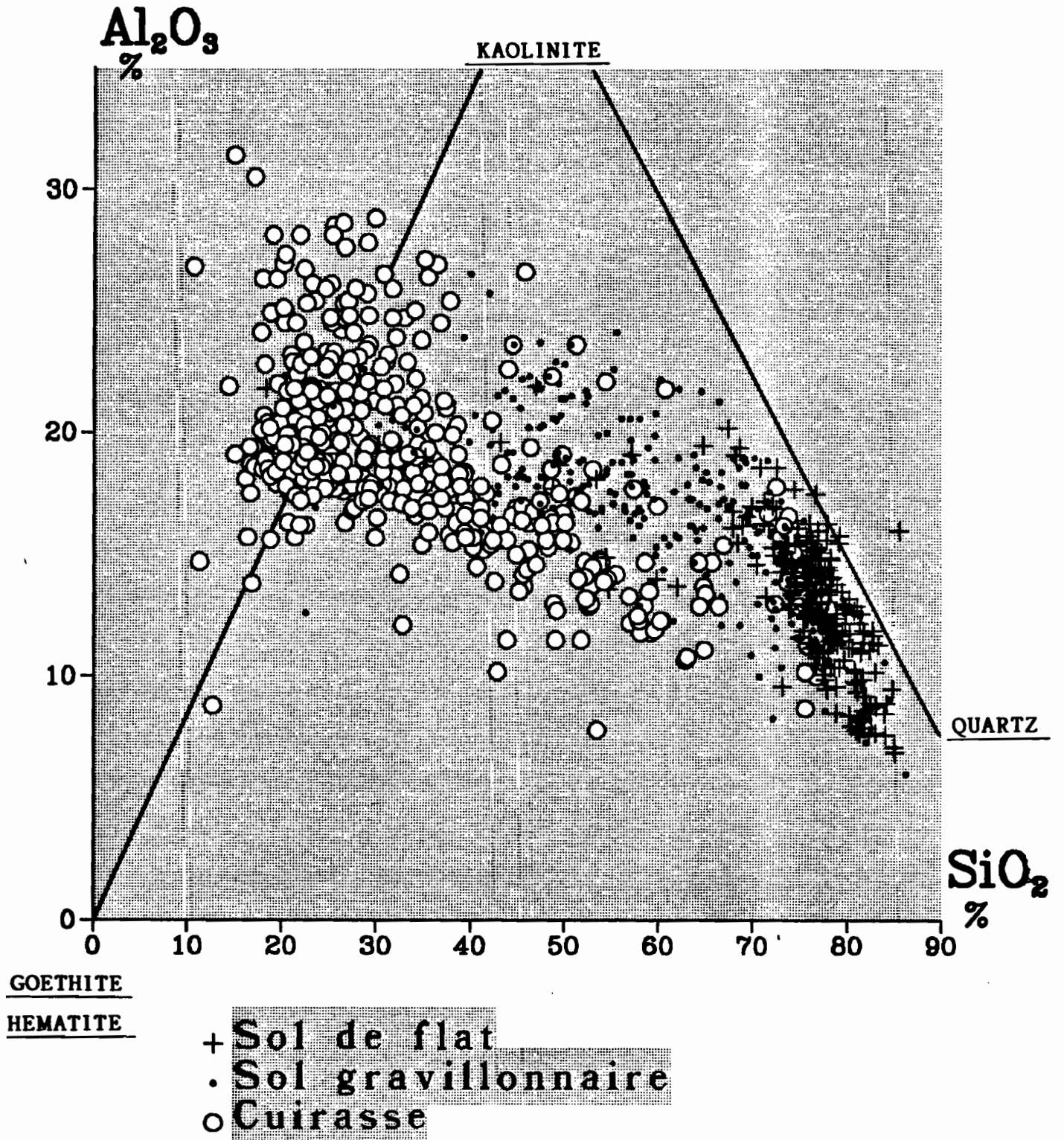


Fig. 19 - Diagramme de répartition des teneurs en fer et en alumine.

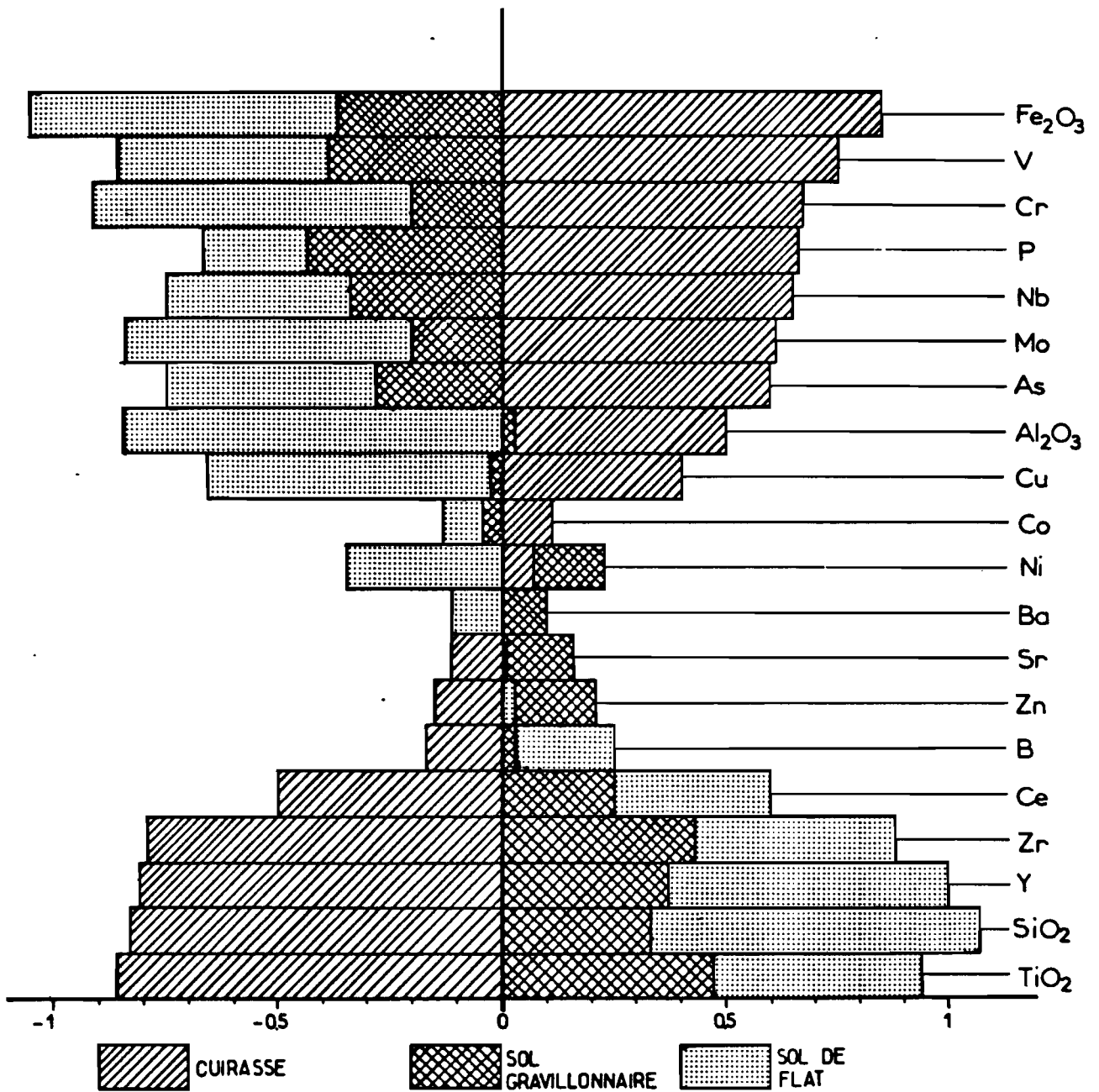


Fig 20 Comparaison des teneurs moyennes par type de prélèvement sur une échelle de valeurs centrées-réduites.

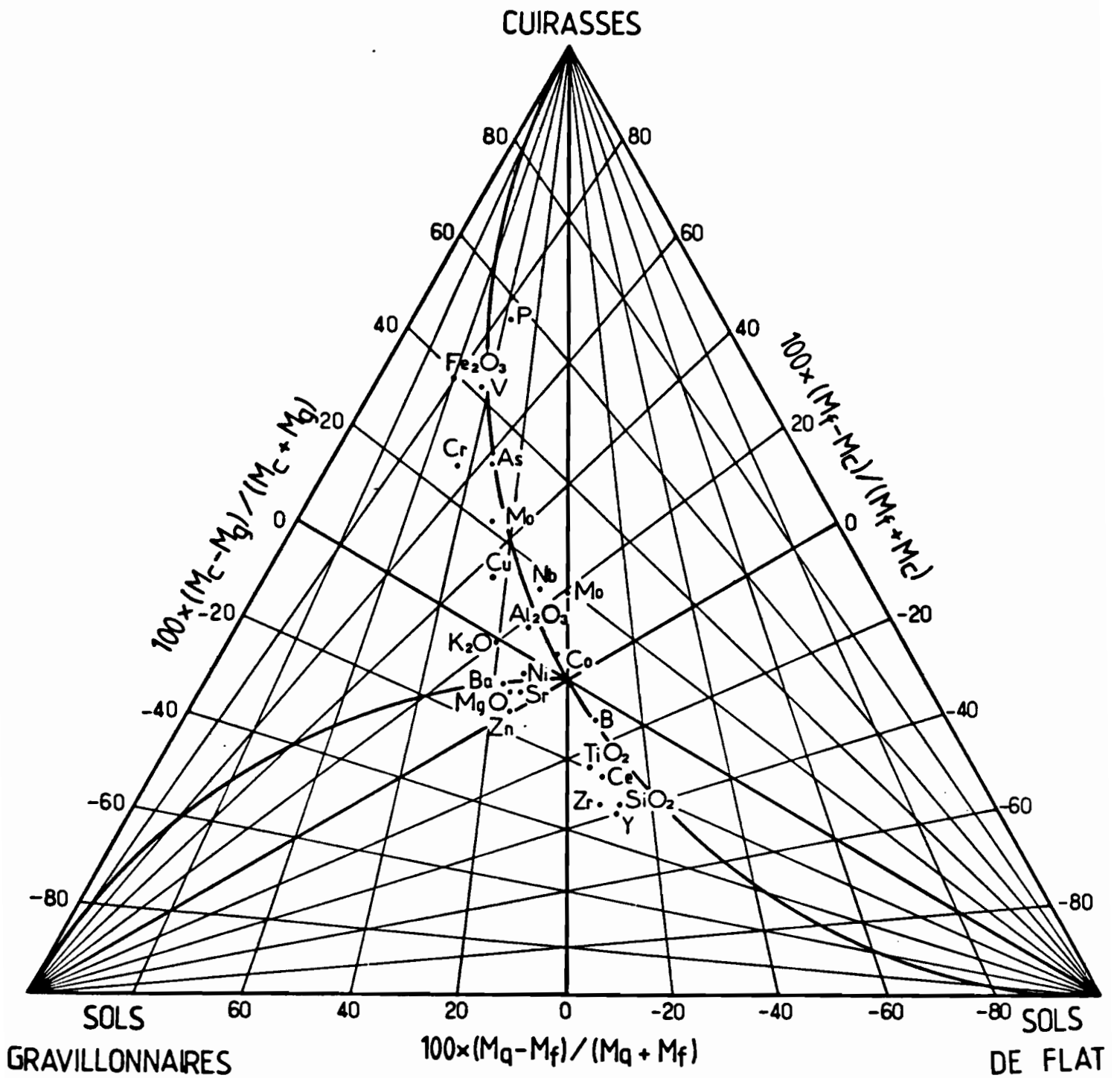


Fig 21 - Comparaison des teneurs moyennes dans un diagramme triangulaire.

- Mc = Teneur moyenne des Cuirasses;
- Mg = Teneur moyenne des sols gravillonnaires;
- Mf = Teneur moyenne des sols de flats.

bien séparés par la droite de mélange kaolinite-goethite :

- les sols gravillonnaires ont une composition intermédiaire entre les cuirasses et les sols de flat. Leur teneur en alumine est relativement plus élevée que celle des cuirasses siliceuses.

D. COMPARAISON DES TENEURS MOYENNES PAR TYPE DE PRELEVEMENT

Les paramètres statistiques des distributions de teneurs pour chaque catégorie de prélèvement sont présentés sur les tableaux VIII, IX et X. Les moyennes calculées après centrage et réduction des teneurs sont reportées sur la figure 20 où les éléments sont rangés par valeurs décroissantes dans les cuirasses. On distingue ainsi trois groupes d'éléments :

- le groupe (Fe_2O_3 , V, Cr, P, Nb, Mo, As, Al_2O_3 , Cu, Co) des éléments enrichis dans les cuirasses ;
- le groupe (TiO_2 , SiO_2 , Y, Zr, Ce, B) des éléments plus concentrés dans les sols de flats ;
- le groupe intermédiaire des éléments Ni, Ba, Sr, Zn, K_2O et MgO, dont les teneurs sont légèrement plus élevées dans la classe des sols gravillonnaires.

La représentation des moyennes des trois types de prélèvements dans un diagramme triangulaire (fig. 21), suscite les mêmes commentaires. De plus, elle montre bien l'importance relative des différenciations lorsque l'on passe d'un groupe à un autre. Ainsi, par exemple, le phosphore s'appauvrit davantage entre les cuirasses et les sols gravillonnaires qu'entre les sols gravillonnaires et les sols de flats. Pour le chrome et le fer, en revanche, l'ordre de ces deux gradients de concentration est inversé.

En résumé, les cuirasses sont caractérisées par une accumulation d'éléments immobilisés dans les minéraux oxydés produits au cours de l'altération latéritique. Les sols de flats qui se développent sur les dépôts sablo-argileux des bas fonds, concentrent le quartz et les éléments associés à des minéraux lourds tels que rutile, zircon et tourmaline. Les sols gravillonnaires sont relativement plus riches en éléments mobiles ; ceux-ci, marquent peut-être la présence de phases résiduelles dans les lithoreliques très résistantes et relativement bien préservées au cours des premiers stades du démantèlement des cuirasses.

E. ASSOCIATIONS GEOCHIMIQUES ET MINERALOGIQUES PAR TYPE DE PRELEVEMENT

Les matrices de corrélation entre éléments dosés et minéraux normatifs calculés, sont présentées pour quatre classes d'échantillons, dans les tableaux XI à XIV. On a distingué les sols de flats, les sols gravillonnaires et deux types de cuirasses, l'un à tendance siliceuse, l'autre à tendance alumineuse, séparés sur le diagramme fer-alumine par la droite de mélange goethite-kaolinite. Une épuration de chaque groupe a

Tableau VIII - Paramètres statistiques des teneurs géochimiques et minéralogiques des cuirasses.

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	SKEWNESS	KURTOSIS	N
-----TPRE-4-----							
SI02	33.04	13.83	10.70	81.80	1.21	1.02	484
AL2O3	19.02	3.81	7.80	31.40	0.12	0.43	484
FE2O3	43.80	12.35	1.30	70.50	-1.28	1.84	484
TIO2	0.89	0.22	0.37	1.77	1.08	1.65	484
MGO	0.20	0.02	0.20	0.40	5.23	29.56	484
K2O	0.37	0.27	0.20	1.80	1.91	4.03	484
MNO	0.03	0.11	0.01	2.11	16.28	304.70	484
P	1487.05	1070.89	50.00	11888.00	2.70	19.20	484
V	559.73	264.14	48.00	1522.00	0.66	0.48	484
CR	486.08	199.49	55.00	1153.00	0.48	0.29	484
CO	19.11	12.81	7.00	197.00	8.81	108.65	484
NI	24.24	10.71	8.00	134.00	4.70	37.79	484
CU	44.62	25.54	15.00	389.00	6.42	73.36	484
ZN	21.16	19.36	1.00	242.00	8.78	64.83	484
AS	383.79	225.78	75.00	1780.00	2.65	10.57	484
SA	147.24	127.89	33.00	2520.00	13.87	248.38	484
SR	39.19	13.07	22.00	134.00	2.63	10.89	484
CE	40.38	19.84	11.00	310.00	6.51	74.72	484
B	41.58	41.57	5.00	207.00	1.55	2.63	484
ZR	425.39	198.10	123.00	1452.00	1.45	2.73	484
Y	15.02	6.62	10.00	44.00	1.89	3.91	484
NB	69.80	19.76	13.00	144.00	0.77	1.11	484
MO	17.50	7.63	5.00	56.00	1.55	4.20	484
QUAR	11.98	15.64	0.00	72.50	1.45	1.37	484
GIBB	1.74	3.72	0.00	25.53	3.30	14.59	484
KAOL	45.27	8.17	19.75	86.81	-0.06	0.53	484
GOET	14.67	6.48	0.00	50.32	0.66	4.00	484
HEMA	30.69	10.90	0.00	53.87	-0.81	0.54	484
RHG	65.78	14.66	0.00	100.00	-1.30	4.47	484

Tableau IX - Paramètres statistiques des teneurs géochimiques et minéralogiques des sols gravillonnaires.

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	SKEWNESS	KURTOSIS	N
-----TPRE-5-----							
SI02	58.76	13.86	19.80	86.30	-0.43	-0.37	288
AL2O3	17.01	3.37	5.00	25.50	-0.31	0.28	288
FE2O3	18.74	13.25	1.00	59.80	0.55	-0.34	288
TIO2	1.34	0.24	0.57	1.79	-0.62	0.07	288
MGO	0.23	0.05	0.20	0.40	1.37	0.47	288
K2O	0.38	0.27	0.20	1.50	1.65	2.03	288
MNO	0.02	0.05	0.01	0.58	8.66	84.83	288
P	419.17	412.77	50.00	4307.00	4.43	32.43	288
V	224.76	167.24	41.00	1297.00	2.17	8.31	288
CR	267.10	168.94	63.00	855.00	0.69	0.81	288
CO	17.40	7.98	9.00	82.00	3.57	19.02	288
NI	25.72	8.95	8.00	112.00	3.96	32.51	288
CU	35.28	17.96	13.00	226.00	5.83	54.49	288
ZN	26.33	9.60	4.00	118.00	3.58	28.82	288
AS	201.67	126.66	33.00	893.00	2.49	8.26	288
SA	157.05	66.52	77.00	685.00	3.42	19.05	288
SR	42.15	11.30	22.00	119.00	3.15	16.07	288
CE	83.77	31.94	22.00	483.00	8.33	103.97	288
B	47.91	25.01	5.00	200.00	0.89	4.59	288
ZR	776.13	224.38	212.00	1314.00	-0.16	-0.39	288
Y	28.35	8.90	10.00	50.00	-0.04	-0.72	288
NB	50.07	12.31	15.00	117.00	1.21	5.55	288
MO	11.23	5.43	1.00	36.00	1.32	3.26	288
QUAR	38.74	16.74	0.00	79.24	-0.12	-0.68	288
GIBB	0.02	0.23	0.00	3.18	11.65	142.49	288
KAOL	43.04	8.52	15.19	67.09	-0.30	0.29	288
GOET	7.67	4.94	0.63	30.93	1.29	3.19	288
HEMA	11.84	9.68	0.07	41.85	0.66	-0.46	288
RHG	51.75	17.68	3.45	91.68	-0.25	-0.49	288

Tableau X - Paramètres statistiques des teneurs géochimiques et minéralogiques des sols de flats.

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	SKEWNESS	KURTOSIS	N
-----TPRE-6-----							
SI02	75.01	9.94	18.30	85.60	-3.62	15.01	245
AL2O3	13.32	2.90	6.90	21.90	0.31	0.33	245
FE2O3	4.40	8.60	1.00	55.20	4.21	18.22	245
TIO2	1.50	0.16	0.84	1.61	-2.57	10.17	245
MGO	0.20	0.02	0.20	0.30	5.29	28.22	245
K2O	0.25	0.15	0.20	1.30	4.12	19.45	245
MNO	0.02	0.06	0.01	0.77	9.50	99.04	245
P	193.18	338.58	50.00	2696.00	4.96	29.12	245
V	86.20	127.25	39.00	1018.00	5.56	33.31	245
CR	103.20	102.47	62.00	845.00	5.12	28.81	245
CO	16.42	11.69	8.00	173.00	10.28	133.29	245
NI	20.31	5.49	8.00	43.00	0.53	0.98	245
CU	21.01	6.83	12.00	62.00	2.54	9.30	245
ZN	23.75	5.03	11.00	65.00	3.20	21.03	245
AS	104.31	53.13	34.00	405.00	2.98	11.01	245
SA	136.26	72.10	53.00	948.00	7.54	73.78	245
SR	40.53	6.31	28.00	66.00	0.70	1.10	245
CE	74.46	33.55	27.00	483.00	7.60	79.23	245
B	55.11	11.13	5.00	96.00	-1.14	8.17	245
ZR	907.64	152.13	262.00	1316.00	-0.89	3.40	245
Y	35.52	5.57	10.00	51.00	-1.87	7.13	245
NB	41.90	10.58	23.00	106.00	2.67	12.61	245
MO	6.34	3.65	1.00	26.00	2.03	6.98	245
QUAR	59.39	12.28	0.00	76.98	-2.75	9.69	245
GIBB	0.07	0.72	0.00	9.56	11.40	137.13	245
KAOL	33.60	7.11	17.47	55.44	0.17	0.11	245
GOET	2.43	3.26	0.00	20.27	3.62	13.40	245
HEMA	2.21	5.79	0.00	41.54	4.59	22.21	245
RHG	33.19	14.11	0.00	100.00	-1.30	4.47	245

Tableau XI - Matrice de corrélations géochimiques et minéralogiques pour le groupe des cuirasses alumineuses.

	SI02	AL203	FE203	TIO2	MGO	K2O	MNO	P	V	CR	CO
SI02	1.00	0.29	-0.80	0.47	0.10	0.12	0.07	-0.46	-0.49	-0.38	0.14
AL203	0.29	1.00	-0.73	0.33	0.02	-0.07	-0.08	-0.36	-0.25	0.07	-0.04
FE203	-0.80	-0.73	1.00	-0.49	-0.08	-0.07	-0.03	0.50	0.46	0.21	-0.04
TIO2	0.47	0.33	-0.49	1.00	-0.03	0.03	0.20	0.04	-0.30	-0.10	0.29
MGO	0.10	0.02	-0.08	-0.03	1.00	0.35	-0.03	-0.17	-0.15	-0.19	0.12
K2O	0.12	0.07	-0.07	0.03	0.35	1.00	-0.10	-0.03	-0.31	-0.28	-0.13
MNO	0.07	-0.08	-0.03	0.20	-0.03	-0.10	1.00	0.14	-0.14	-0.17	0.26
P	-0.46	-0.36	0.50	0.04	-0.17	-0.03	0.14	1.00	0.28	0.12	0.07
V	-0.49	-0.25	0.46	-0.30	-0.15	-0.31	-0.14	0.28	1.00	0.52	0.00
CR	-0.38	0.07	0.21	-0.10	-0.19	-0.28	-0.17	0.12	0.52	1.00	0.04
CO	0.14	-0.04	-0.04	0.29	0.12	-0.13	0.26	0.07	0.06	0.04	1.00
NI	0.10	0.15	-0.14	0.35	-0.02	0.03	0.12	0.14	-0.26	0.00	0.51
CU	-0.07	-0.05	0.06	-0.08	-0.06	0.14	0.04	0.05	-0.20	-0.18	0.08
ZN	-0.11	-0.02	0.06	0.03	-0.06	0.05	0.11	0.22	-0.17	-0.01	-0.04
AS	-0.27	-0.08	0.18	-0.19	-0.05	-0.02	0.06	0.26	0.27	0.13	-0.00
BA	0.21	0.05	-0.14	-0.15	0.55	0.51	0.09	-0.31	-0.28	-0.28	-0.00
SR	0.15	0.17	-0.22	-0.07	0.18	0.25	0.05	-0.17	-0.18	-0.23	-0.10
CE	0.28	0.04	-0.22	0.25	0.22	0.28	0.30	-0.03	-0.09	-0.34	-0.10
B	-0.10	0.06	-0.01	0.01	0.13	-0.23	-0.05	0.06	0.20	0.29	0.13
ZR	0.48	0.08	-0.36	0.01	-0.11	-0.18	-0.08	-0.15	-0.20	-0.29	0.47
Y	-0.35	0.08	-0.28	0.07	0.01	-0.03	0.22	0.15	-0.15	-0.10	0.29
NB	-0.45	-0.29	0.43	-0.17	-0.21	-0.27	-0.38	0.20	-0.15	-0.27	-0.30
MO	-0.22	0.06	0.08	-0.14	-0.18	-0.01	-0.13	0.16	-0.33	-0.33	-0.10
QUAR	0.71	-0.28	-0.31	0.34	0.03	-0.02	-0.16	-0.15	-0.33	-0.30	0.18
GIBB	-0.57	0.47	0.13	-0.05	-0.12	-0.14	-0.04	0.16	0.18	0.41	-0.10
KAOL	0.81	0.82	-0.87	0.38	0.12	-0.19	-0.05	-0.52	-0.42	-0.28	0.05
GOET	-0.47	-0.61	0.42	-0.37	-0.07	-0.29	0.08	0.28	0.31	0.11	-0.07
HEMA	-0.36	-0.44	0.60	-0.15	-0.02	0.19	-0.09	0.24	0.17	0.10	0.02
RHG	0.26	0.44	-0.14	0.25	0.06	0.30	-0.07	-0.14	-0.20	-0.05	0.07

	NI	CU	ZN	AS	BA	SR	CE	B	ZR	Y	NB	MO
SI02	0.10	-0.07	-0.11	-0.27	0.21	0.15	0.29	-0.10	0.48	0.35	-0.45	-0.22
AL203	0.15	-0.05	-0.02	-0.08	0.05	0.17	-0.04	0.06	0.08	-0.03	-0.29	0.06
FE203	-0.14	0.06	0.06	-0.18	-0.14	-0.22	-0.22	-0.01	-0.36	-0.28	-0.43	0.06
TIO2	0.35	-0.09	0.03	-0.19	-0.15	-0.07	0.25	0.01	0.81	0.67	-0.17	-0.14
MGO	-0.02	-0.06	-0.08	-0.05	0.55	0.19	0.22	0.13	-0.11	0.01	-0.21	-0.16
K2O	0.03	0.14	0.05	-0.02	0.51	0.25	0.26	-0.23	-0.16	-0.03	-0.27	-0.01
MNO	0.12	0.04	0.11	0.06	0.08	0.05	0.30	-0.05	0.22	0.36	-0.08	-0.13
P	0.14	0.05	0.22	0.25	-0.31	-0.17	-0.03	-0.06	0.15	0.20	0.34	0.18
V	-0.26	-0.20	-0.17	0.27	-0.26	-0.16	-0.09	0.20	-0.20	-0.15	0.32	0.54
CR	0.00	-0.18	-0.01	0.13	-0.28	-0.23	-0.34	0.29	-0.10	-0.27	0.45	0.33
CO	0.51	-0.08	0.04	-0.00	0.00	-0.10	0.13	0.47	0.29	0.30	-0.02	0.10
NI	1.00	0.26	0.65	0.02	-0.10	-0.01	0.12	0.21	0.38	0.38	-0.18	-0.00
CU	0.26	1.00	0.51	0.12	-0.11	0.04	0.08	-0.12	0.32	0.38	-0.15	0.06
ZN	0.65	0.51	1.00	0.14	-0.11	0.10	0.09	-0.05	0.05	0.18	-0.08	0.08
AS	-0.02	-0.12	-0.14	1.00	-0.06	0.08	0.10	-0.12	0.03	0.28	0.28	-0.19
BA	-0.10	-0.11	-0.11	-0.06	1.00	0.58	0.28	0.04	-0.24	-0.08	-0.31	-0.19
SR	-0.01	0.04	0.10	0.08	0.58	1.00	0.47	0.01	-0.08	0.09	-0.18	0.12
CE	0.12	0.08	0.09	0.10	0.28	0.47	1.00	-0.12	0.24	0.48	-0.03	0.09
B	0.21	-0.12	-0.05	-0.04	-0.04	0.01	-0.12	1.00	0.06	0.05	-0.06	0.05
ZR	0.32	-0.07	0.05	-0.12	-0.24	-0.08	0.24	0.06	1.00	0.72	-0.06	-0.06
Y	0.35	0.10	0.18	0.03	-0.08	0.09	0.48	0.05	0.72	1.00	0.04	-0.03
NB	-0.18	-0.15	-0.08	0.28	-0.31	-0.18	-0.03	0.06	-0.06	-0.04	1.00	0.64
MO	-0.00	0.06	0.08	-0.13	-0.19	0.12	0.09	0.05	-0.06	-0.03	0.64	1.00
QUAR	0.12	-0.00	0.01	-0.15	0.03	-0.02	0.21	-0.12	-0.52	-0.38	-0.22	-0.21
GIBB	0.12	0.04	0.15	0.18	-0.24	-0.06	-0.21	0.12	-0.18	-0.16	0.16	0.22
KAOL	0.04	-0.09	-0.16	-0.25	0.26	0.23	0.23	-0.04	0.24	0.18	-0.44	-0.13
GOET	-0.15	0.04	0.06	0.22	-0.17	-0.08	-0.11	0.12	-0.20	-0.09	0.35	0.18
HEMA	0.00	0.02	-0.01	-0.02	0.01	-0.15	-0.12	-0.11	-0.18	-0.19	0.10	-0.08
RHG	0.15	-0.01	-0.05	-0.16	0.15	0.02	0.06	-0.14	0.10	0.02	-0.26	-0.16

	QUAR	GIBB	KAOL	GOET	HEMA	RHG
SI02	0.71	-0.57	0.81	-0.47	-0.36	0.26
AL203	-0.28	0.47	0.82	-0.61	-0.16	0.44
FE203	-0.31	0.13	-0.87	0.42	0.60	-0.14
TIO2	0.34	-0.05	0.38	-0.37	-0.15	0.25
MGO	0.03	-0.12	0.12	-0.07	-0.02	0.06
K2O	-0.02	-0.14	0.19	-0.29	0.19	0.30
MNO	-0.18	-0.04	-0.05	0.06	-0.09	-0.07
P	-0.15	0.16	-0.52	0.28	0.24	-0.14
V	-0.33	0.18	-0.42	0.31	0.17	-0.20
CR	-0.30	0.41	-0.29	0.11	0.10	-0.05
CO	0.18	-0.10	0.05	-0.07	0.02	0.07
NI	0.12	0.12	0.04	-0.15	0.00	0.15
CU	-0.00	0.04	-0.09	0.04	0.02	-0.01
ZN	0.01	0.15	-0.16	0.08	-0.01	-0.05
AS	-0.15	0.18	-0.25	0.22	-0.02	-0.18
BA	-0.03	-0.24	0.26	-0.17	0.01	0.15
SR	-0.02	-0.06	0.23	-0.06	-0.15	0.02
CE	-0.21	-0.21	0.23	-0.11	-0.12	0.06
B	-0.12	0.12	-0.04	0.12	-0.11	-0.14
ZR	0.52	-0.18	0.24	-0.20	-0.18	0.10
Y	0.38	-0.16	0.18	-0.09	-0.19	0.02
NB	-0.22	0.16	-0.44	0.39	0.10	-0.26
MO	-0.21	0.22	-0.13	0.18	-0.08	-0.16
QUAR	1.00	-0.48	0.16	-0.15	-0.16	0.07
GIBB	-0.48	1.00	-0.40	-0.11	0.22	0.17
KAOL	0.16	-0.40	1.00	-0.53	-0.37	0.31
GOET	-0.15	-0.11	-0.53	1.00	-0.48	-0.95
HEMA	-0.16	0.22	-0.37	-0.48	1.00	0.70
RHG	0.07	0.17	0.31	-0.95	0.70	1.00

Tableau XII - Matrice de corrélations géochimiques et minéralogiques pour le groupe des cuirasses siliceuses.

	S102	AL203	FE203	T102	MGO	K2O	MNO	P	V	CR	CO
S102	1.00	-0.49	-0.92	0.83	0.09	-0.21	0.16	-0.54	-0.60	-0.58	0.16
AL203	-0.49	1.00	0.25	-0.14	0.20	0.28	-0.12	-0.03	0.21	0.38	-0.21
FE203	-0.92	0.25	1.00	-0.86	-0.18	0.18	-0.15	-0.58	0.63	0.55	-0.10
T102	0.83	-0.14	-0.86	1.00	0.26	-0.09	0.21	-0.48	-0.59	-0.49	0.20
MGO	0.09	0.20	-0.18	0.26	1.00	0.31	-0.04	-0.15	-0.08	-0.03	-0.04
K2O	-0.21	0.28	0.18	-0.09	0.31	1.00	0.07	0.08	-0.10	0.07	-0.02
MNO	0.16	-0.12	-0.15	0.21	-0.04	0.07	1.00	-0.04	-0.17	-0.23	-0.78
P	-0.54	-0.03	-0.58	-0.48	-0.15	0.08	-0.04	1.00	0.57	0.27	-0.08
V	-0.60	0.21	0.63	-0.59	0.08	0.10	-0.17	0.57	1.00	0.65	-0.22
CR	-0.58	0.38	0.55	-0.49	-0.03	0.07	-0.23	0.27	0.65	1.00	-0.23
CO	0.16	-0.21	-0.10	0.20	-0.04	-0.02	0.78	-0.08	-0.22	-0.23	1.00
NI	-0.18	0.41	0.08	0.07	0.20	0.10	0.03	0.06	-0.04	0.27	0.21
CU	-0.26	0.17	0.28	-0.18	-0.05	0.06	0.08	0.24	0.13	0.14	0.01
ZN	0.07	0.07	-0.09	0.21	0.17	0.09	0.15	0.11	-0.13	0.04	0.18
AS	-0.51	0.15	-0.50	-0.51	0.07	0.15	-0.10	0.33	-0.65	0.50	-0.13
BA	0.13	-0.03	-0.14	0.21	0.06	0.19	0.97	-0.10	-0.15	-0.15	0.76
SR	0.05	0.22	-0.12	0.15	0.40	0.26	0.14	-0.05	0.03	0.07	0.07
CE	0.33	-0.14	-0.32	0.39	0.08	0.07	0.84	-0.12	-0.28	-0.32	0.64
B	0.12	-0.01	-0.16	0.16	0.09	-0.30	-0.03	-0.14	0.11	0.26	0.07
ZR	0.90	-0.43	-0.85	0.84	0.09	-0.27	0.07	-0.44	-0.50	-0.42	0.07
Y	0.87	-0.43	-0.83	0.87	0.17	-0.20	0.35	-0.36	-0.53	-0.53	0.32
NB	-0.34	0.00	0.44	-0.38	-0.10	0.05	-0.12	0.51	-0.89	0.47	-0.15
MO	-0.43	0.42	0.35	-0.33	0.19	0.42	-0.12	0.25	0.57	0.45	-0.17
QUAR	0.27	-0.69	-0.83	0.73	0.02	-0.25	0.17	-0.44	-0.58	-0.58	0.19
GIBB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KAOL	-0.49	1.00	0.25	-0.14	0.20	0.28	-0.12	-0.03	0.21	0.38	-0.21
GOET	-0.55	-0.16	0.42	-0.55	-0.14	-0.15	-0.08	0.44	-0.29	0.18	-0.07
HEMA	-0.64	0.37	0.82	-0.58	-0.11	0.28	-0.10	0.35	-0.50	0.48	-0.07
RHG	-0.12	0.42	0.31	-0.04	0.03	0.27	-0.01	-0.03	0.17	0.23	0.02

	NI	CU	ZN	AS	BA	SR	CE	B	ZR	Y	NB	MO
S102	-0.18	-0.26	0.07	-0.51	0.13	0.05	0.33	-0.12	0.80	0.87	-0.34	-0.43
AL203	0.41	0.17	-0.07	0.15	-0.03	-0.22	-0.14	-0.01	-0.43	-0.43	0.44	0.42
FE203	0.08	-0.28	-0.09	-0.50	-0.14	-0.12	-0.32	-0.18	-0.85	-0.83	0.38	-0.33
T102	0.07	-0.18	0.21	-0.51	0.21	0.15	0.39	0.18	0.84	0.87	-0.38	-0.33
MGO	0.20	-0.05	0.17	0.07	0.08	0.40	0.08	0.09	0.09	0.17	-0.10	0.19
K2O	0.10	0.06	0.09	0.15	0.19	0.26	0.07	-0.30	-0.27	-0.20	0.05	0.22
MNO	0.03	0.08	0.15	-0.10	0.97	0.14	0.84	-0.03	0.07	0.35	-0.12	-0.72
P	0.08	0.24	0.11	0.53	-0.10	-0.06	-0.12	-0.14	-0.44	-0.36	0.51	0.25
V	-0.04	0.13	-0.13	0.65	-0.15	0.03	-0.28	0.11	-0.50	-0.53	0.89	0.57
CR	0.27	0.14	0.04	0.50	-0.15	0.07	-0.32	0.28	-0.42	-0.53	0.47	0.45
CO	0.21	0.01	0.18	-0.13	0.78	0.07	0.64	0.07	0.07	0.32	-0.15	0.17
NI	1.00	0.23	0.67	0.09	0.08	0.18	0.04	0.18	-0.12	-0.04	-0.10	0.12
CU	0.23	1.00	0.21	0.05	0.09	-0.03	0.03	-0.13	-0.27	0.21	0.06	0.03
ZN	0.67	0.21	1.00	0.04	0.17	0.31	0.22	-0.08	0.08	0.21	-0.13	-0.06
AS	0.09	0.05	0.04	1.00	-0.06	0.31	-0.18	0.11	-0.44	-0.39	0.58	0.61
BA	0.08	0.09	0.17	-0.06	1.00	0.27	0.82	0.00	0.03	0.32	-0.11	-0.04
SR	0.18	-0.03	0.31	0.31	0.27	1.00	0.27	0.10	0.01	0.21	0.01	0.35
CE	0.04	0.03	0.22	0.18	0.82	0.27	1.00	-0.03	0.25	0.58	-0.19	-0.13
B	0.18	-0.13	-0.08	0.11	0.00	0.10	-0.03	1.00	0.28	0.20	0.10	0.08
ZR	-0.12	-0.27	0.06	-0.44	0.03	0.01	0.25	0.28	1.00	0.86	-0.25	-0.36
Y	-0.04	-0.21	0.21	-0.39	0.32	0.21	0.58	0.20	0.86	1.00	-0.30	-0.36
NB	-0.10	0.06	-0.13	0.58	-0.11	0.01	-0.19	0.10	-0.25	-0.30	1.00	0.61
MO	0.12	0.03	-0.06	0.51	-0.04	0.35	-0.13	0.08	-0.36	-0.36	0.61	1.00
QUAR	-0.28	-0.27	0.04	-0.47	0.12	-0.02	0.31	0.10	0.87	0.84	-0.29	-0.48
GIBB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KAOL	0.41	0.17	0.07	0.15	-0.03	0.22	-0.14	-0.01	-0.43	-0.43	0.00	0.42
GOET	-0.07	0.07	-0.09	0.37	-0.12	-0.14	-0.20	-0.02	-0.43	-0.41	0.17	0.13
HEMA	0.14	0.24	-0.03	0.31	-0.07	-0.04	-0.22	-0.18	-0.65	-0.64	0.37	0.30
RHG	0.20	0.14	0.07	-0.02	0.03	0.07	-0.02	-0.11	-0.18	-0.19	0.15	0.15

	QUAR	GIBB	KAOL	GOET	HEMA	RHG
S102	0.97	0.00	-0.49	-0.55	-0.64	-0.12
AL203	-0.69	0.00	1.00	0.16	0.37	-0.42
FE203	-0.83	0.00	0.25	-0.42	0.85	-0.24
T102	0.73	0.00	-0.14	-0.55	0.84	-0.04
MGO	0.02	0.00	0.20	-0.14	0.28	0.03
K2O	-0.25	0.00	0.28	-0.14	0.11	0.27
MNO	-0.17	0.00	-0.12	-0.15	-0.11	-0.01
P	-0.44	0.00	-0.03	0.08	0.35	-0.03
V	-0.59	0.00	0.21	0.10	0.50	0.17
CR	-0.59	0.00	0.38	0.19	0.48	0.23
CO	-0.21	0.00	-0.21	-0.07	-0.18	0.02
NI	-0.26	0.00	0.41	-0.07	0.14	0.20
CU	-0.27	0.00	0.17	-0.07	-0.24	0.14
ZN	-0.04	0.00	0.07	-0.09	-0.03	0.07
AS	-0.47	0.00	-0.15	0.37	-0.31	-0.02
BA	0.12	0.00	-0.03	-0.12	-0.07	0.03
SR	-0.02	0.00	-0.22	-0.14	-0.04	0.07
CE	0.31	0.00	-0.14	-0.20	-0.22	-0.02
B	0.10	0.00	-0.01	0.02	-0.18	-0.11
ZR	0.87	0.00	-0.43	-0.43	-0.85	-0.18
Y	0.84	0.00	-0.43	-0.41	-0.84	-0.18
NB	-0.29	0.00	0.00	0.17	0.37	0.15
MO	-0.48	0.00	0.42	-0.13	0.30	0.15
QUAR	1.00	0.00	-0.69	-0.41	-0.64	-0.22
GIBB	0.00	1.00	0.00	-0.00	0.00	0.00
KAOL	-0.69	0.00	1.00	-0.16	0.37	-0.42
GOET	-0.41	0.00	-0.16	1.00	-0.18	-0.69
HEMA	-0.64	0.00	0.37	-0.18	1.00	-0.78
RHG	-0.22	0.00	-0.42	-0.69	-0.78	1.00

Tableau XIII - Matrice de corrélations géochimiques et minéralogiques pour le groupe des sols gravillonnaires.

	S102	AL203	FE203	TiO2	MGO	K2O	MNO	P	V	CR	CO
S102	1.00	-0.56	-0.94	0.87	0.11	-0.31	-0.06	-0.37	-0.72	-0.88	-0.01
AL203	-0.56	1.00	0.31	-0.27	0.20	-0.28	-0.08	-0.07	0.21	0.20	-0.03
FE203	-0.94	0.31	1.00	-0.91	-0.19	-0.35	-0.07	-0.43	0.77	-0.74	0.04
TiO2	0.87	-0.27	-0.91	1.00	0.32	-0.13	-0.01	-0.36	-0.75	-0.61	-0.28
MGO	0.11	0.20	-0.19	0.32	1.00	0.24	0.08	-0.02	-0.13	-0.14	-0.26
K2O	-0.31	-0.28	-0.35	-0.13	0.24	1.00	0.20	0.32	-0.05	-0.05	-0.05
MNO	-0.06	-0.08	0.07	-0.01	0.08	0.20	1.00	0.59	-0.10	-0.08	0.43
P	-0.37	-0.07	0.43	-0.36	-0.02	0.32	0.59	1.00	0.24	0.00	0.10
V	-0.72	0.21	0.77	-0.75	-0.13	-0.05	-0.10	0.24	1.00	0.00	0.00
CR	-0.68	0.20	0.74	-0.61	-0.14	0.11	0.08	0.15	0.00	1.00	0.01
CO	-0.01	-0.03	0.04	-0.04	0.26	-0.05	0.43	0.10	0.00	0.01	1.00
NI	-0.24	0.25	0.18	-0.08	0.28	0.23	0.54	0.10	-0.04	0.14	0.28
CU	-0.45	0.21	0.43	-0.29	0.07	0.44	0.68	0.10	0.08	0.30	0.20
ZN	-0.03	0.03	0.01	-0.10	0.22	0.27	0.56	0.10	-0.23	-0.03	0.13
AS	-0.54	0.16	0.54	-0.51	-0.12	0.22	0.42	0.15	0.40	0.43	-0.05
BA	-0.28	0.26	0.23	-0.09	0.39	0.53	0.36	0.70	0.10	0.10	0.35
SR	-0.24	0.21	0.20	-0.10	0.47	0.42	0.42	0.42	0.08	0.20	0.11
CE	0.09	-0.04	-0.11	0.16	0.17	-0.16	0.17	0.36	-0.20	-0.21	0.36
B	0.38	-0.14	-0.37	0.37	0.34	-0.26	-0.06	-0.34	-0.12	-0.18	-0.42
ZR	0.24	-0.57	-0.86	0.82	0.06	-0.39	-0.13	-0.36	-0.63	-0.58	-0.08
Y	0.90	-0.47	-0.87	0.85	0.17	-0.25	-0.05	-0.22	-0.67	-0.63	-0.05
NB	0.38	-0.14	-0.46	-0.43	-0.20	-0.12	-0.09	-0.17	0.73	-0.43	-0.10
MO	-0.57	0.30	0.53	-0.49	-0.09	0.15	-0.10	0.21	-0.55	-0.43	-0.10
QUAR	0.97	-0.74	-0.85	0.78	0.04	-0.33	-0.02	-0.28	-0.64	-0.61	0.01
GIBB	-0.23	0.05	0.20	-0.21	-0.05	-0.06	-0.01	0.10	0.24	0.27	-0.00
KAOL	-0.55	1.00	0.30	-0.26	0.20	0.28	-0.08	-0.07	0.20	0.19	-0.03
GOET	-0.58	-0.10	0.34	-0.59	-0.11	-0.01	0.11	0.37	0.50	0.42	-0.11
HEMA	-0.86	0.40	0.54	-0.82	-0.26	0.29	0.04	0.34	0.69	0.68	0.08
RHG	-0.47	0.54	0.52	-0.38	0.11	0.27	-0.04	0.08	0.33	0.20	0.16

	NI	CU	ZN	AS	BA	SR	CE	B	ZR	V	NB	MO
S102	-0.24	-0.45	-0.03	-0.54	-0.28	-0.24	-0.09	0.38	-0.94	-0.90	-0.38	-0.57
AL203	0.25	0.21	0.03	0.18	0.28	0.21	-0.04	-0.14	-0.57	-0.47	-0.14	0.30
FE203	0.18	0.43	0.01	0.18	-0.23	0.20	-0.11	-0.37	0.86	0.87	-0.46	-0.53
TiO2	-0.06	-0.29	0.10	-0.51	-0.09	-0.10	0.18	0.37	-0.82	-0.85	-0.43	-0.49
MGO	0.28	0.07	0.22	-0.12	0.39	0.25	0.17	-0.34	-0.06	-0.17	-0.20	-0.09
K2O	0.23	0.44	0.27	0.22	0.39	0.33	0.16	-0.26	-0.39	-0.25	-0.12	-0.15
MNO	0.56	0.62	0.34	0.15	0.70	0.43	0.25	-0.06	-0.13	-0.05	-0.09	-0.10
P	0.54	0.65	0.39	0.24	0.70	0.38	0.25	-0.34	-0.36	-0.22	-0.17	0.21
V	-0.04	0.08	-0.23	0.40	0.10	0.08	-0.20	-0.12	-0.63	-0.67	0.73	0.55
CR	0.14	0.30	-0.03	0.43	0.10	0.20	-0.21	-0.18	-0.56	-0.63	0.43	0.43
CO	0.46	0.20	0.13	-0.05	0.35	0.11	0.36	0.42	-0.08	-0.05	-0.10	-0.10
NI	1.00	0.69	0.75	0.21	0.58	0.49	0.65	0.01	-0.25	-0.05	-0.10	0.14
CU	0.69	1.00	1.68	0.42	0.56	0.47	0.58	-0.28	-0.46	-0.28	-0.04	-0.15
ZN	0.75	1.68	1.00	0.08	0.42	0.44	0.61	-0.18	-0.04	-0.13	-0.16	-0.05
AS	0.21	0.42	0.09	1.00	-0.19	0.47	0.09	-0.25	-0.52	-0.42	-0.35	0.49
BA	0.48	0.56	0.42	-0.19	1.00	0.57	0.58	-0.08	-0.35	-0.17	-0.06	0.01
SR	0.49	0.47	0.44	0.47	0.57	1.00	0.69	-0.03	-0.25	-0.06	0.01	0.17
CE	0.65	0.58	0.61	0.09	0.58	0.62	1.00	-0.01	0.02	0.27	-0.16	-0.14
B	0.01	-0.28	-0.18	-0.25	-0.08	-0.03	-0.01	1.00	0.40	0.35	-0.16	-0.28
ZR	-0.25	-0.46	-0.04	-0.52	-0.35	-0.25	0.02	0.40	1.00	0.85	-0.27	-0.47
Y	-0.05	-0.28	-0.13	-0.42	-0.17	-0.06	0.27	0.35	0.85	1.00	-0.34	-0.48
NB	-0.10	-0.04	-0.16	-0.35	-0.06	0.01	-0.16	-0.27	0.27	-0.34	1.00	-0.61
MO	-0.14	0.15	-0.05	-0.49	0.01	0.17	-0.14	-0.28	-0.47	-0.48	-0.61	1.00
QUAR	0.26	-0.42	-0.03	-0.48	-0.30	-0.26	0.08	0.35	0.82	0.86	-0.27	-0.55
GIBB	0.07	0.22	0.10	0.18	-0.09	-0.01	-0.05	-0.02	-0.18	-0.17	0.16	0.18
KAOL	0.25	0.21	0.03	0.15	0.28	0.21	-0.04	-0.14	-0.57	-0.46	-0.14	0.29
GOET	0.07	0.27	0.02	0.45	0.01	0.04	-0.01	-0.32	-0.50	-0.48	0.48	0.39
HEMA	0.18	0.47	0.00	0.24	0.26	0.22	-0.12	-0.30	-0.80	-0.82	0.34	0.45
RHG	0.19	0.55	0.04	0.13	0.14	0.17	-0.08	-0.10	-0.46	-0.48	0.00	0.22

	QUAR	GIBB	KAOL	GOET	HEMA	RHG
S102	0.97	-0.23	-0.55	-0.58	-0.86	-0.47
AL203	-0.74	0.05	-0.50	-0.10	-0.40	-0.54
FE203	0.85	-0.20	0.30	0.58	0.82	0.52
TiO2	0.78	-0.21	-0.26	-0.58	-0.82	-0.38
MGO	-0.04	-0.05	0.20	-0.28	-0.11	0.11
K2O	-0.33	-0.06	0.28	0.01	0.29	0.27
MNO	-0.02	-0.01	-0.08	0.11	0.04	-0.04
P	-0.28	0.10	-0.07	0.37	0.34	0.08
V	-0.64	0.24	0.20	0.50	0.66	0.33
CR	-0.61	0.27	0.19	0.42	0.65	0.40
CO	0.01	-0.00	-0.03	0.11	0.08	0.16
NI	-0.26	0.07	0.23	0.07	0.18	0.19
CU	-0.42	0.22	0.21	0.27	0.39	0.25
ZN	-0.03	0.10	0.03	0.02	0.00	0.04
AS	-0.49	0.16	0.15	0.45	0.44	0.13
BA	-0.30	-0.09	0.26	0.09	0.24	0.24
SR	-0.26	-0.01	0.21	-0.04	0.22	0.17
CE	0.08	-0.05	0.04	-0.01	-0.12	-0.08
B	0.35	-0.02	-0.14	-0.32	-0.30	-0.10
ZR	0.27	-0.18	-0.57	-0.50	-0.80	-0.46
Y	0.18	-0.17	-0.46	-0.48	-0.82	-0.48
NB	0.15	-0.16	-0.14	-0.48	-0.34	0.00
MO	-0.55	0.18	-0.29	-0.38	-0.46	0.22
QUAR	1.00	-0.19	-0.73	-0.44	-0.81	-0.53
GIBB	-0.19	1.00	0.01	-0.36	0.09	-0.08
KAOL	-0.73	0.01	1.00	-0.11	0.40	-0.54
GOET	-0.44	0.38	-0.11	1.00	0.24	-0.36
HEMA	-0.81	0.08	-0.40	0.24	1.00	-0.76
RHG	-0.53	-0.08	-0.54	-0.36	0.78	1.00

Tableau XIV - Matrice de corrélations géochimiques et minéralogiques pour le groupe des sols plats.

	S102	AL203	FE203	TiO2	MGO	K2O	MNO	P	V	CR	CO
S102	1.00	-0.76	-0.66	-0.28	-0.34	-0.18	-0.23	0.05	-0.66	-0.46	-0.25
AL203	-0.76	1.00	0.50	0.54	0.33	0.24	0.14	-0.20	0.14	0.61	0.20
FE203	-0.66	0.50	1.00	0.18	0.32	0.20	0.42	0.09	0.14	0.28	0.44
TiO2	-0.28	0.54	0.18	1.00	0.13	0.12	0.02	-0.09	0.05	0.28	0.09
MGO	-0.34	0.33	0.32	0.13	1.00	0.15	-0.01	0.10	0.33	0.23	0.05
K2O	-0.18	0.24	0.20	0.12	0.15	1.00	0.16	0.02	0.23	0.16	0.08
MNO	-0.23	0.14	0.42	0.02	-0.01	0.16	1.00	-0.04	0.35	0.22	0.88
P	0.05	-0.20	0.09	-0.09	0.10	0.02	-0.04	1.00	0.05	0.02	-0.04
V	-0.66	0.14	0.14	0.05	0.33	0.23	0.36	0.05	1.00	0.77	0.40
CR	-0.46	0.61	0.28	0.28	0.23	0.16	0.22	0.02	0.77	1.00	0.27
CO	-0.25	0.20	0.44	0.09	0.05	0.08	0.88	-0.04	0.40	0.27	1.00
NI	-0.66	0.20	0.50	0.43	0.31	0.24	0.23	-0.09	0.14	0.21	0.36
CU	-0.60	0.64	0.53	0.43	0.24	0.21	0.24	0.20	0.14	0.14	0.30
ZN	-0.24	0.40	0.21	0.20	0.09	0.08	0.01	0.17	0.16	0.28	0.04
AS	-0.39	0.21	0.21	0.20	0.17	0.10	-0.03	0.21	0.11	0.28	0.03
BA	-0.30	0.24	0.44	0.13	0.11	0.23	0.23	0.06	0.10	0.28	0.87
SR	-0.43	0.59	0.25	0.12	0.25	0.31	0.10	0.15	0.10	0.27	0.14
CE	-0.40	0.37	0.45	0.16	-0.03	0.18	0.10	-0.08	0.08	0.27	0.14
B	0.39	-0.37	-0.45	-0.14	-0.12	-0.18	-0.07	-0.05	-0.08	0.27	0.84
ZR	0.33	-0.35	-0.02	-0.23	-0.20	-0.22	-0.15	-0.06	-0.08	0.27	-0.07
Y	-0.30	-0.44	0.07	-0.23	0.07	-0.15	-0.20	0.02	0.05	0.27	-0.16
NB	-0.29	0.22	0.19	0.21	0.05	-0.04	-0.02	0.04	0.08	0.27	-0.24
MO	-0.41	0.31	-0.09	0.23	-0.09	-0.24	-0.03	0.05	0.08	0.27	-0.04
QUAR	0.95	-0.93	-0.62	-0.42	-0.35	-0.22	-0.20	0.12	-0.67	0.00	-0.24
GIBB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KAOL	-0.76	1.00	0.50	0.54	0.33	0.24	0.14	-0.20	0.14	0.61	0.20
GOET	-0.67	0.32	0.32	0.02	0.22	0.12	0.32	0.15	0.05	0.51	0.33
HEMA	-0.52	0.61	0.31	0.29	0.36	0.25	0.44	-0.01	0.17	0.51	0.41
RHG	-0.04	0.61	0.36	0.45	0.17	0.25	0.15	-0.15	0.44	0.51	0.20

	NI	CU	ZN	AS	BA	SR	CE	B	ZR	Y	NB	MO
S102	-0.66	-0.60	-0.24	-0.39	-0.30	-0.43	-0.40	-0.39	0.33	-0.30	-0.29	-0.41
AL203	0.60	0.64	0.40	0.21	0.24	0.59	0.37	-0.37	-0.35	0.42	0.22	0.31
FE203	0.50	0.54	0.24	0.21	0.44	0.25	0.45	-0.14	-0.02	0.46	0.18	0.09
TiO2	0.43	0.40	0.25	0.20	0.13	0.42	0.16	0.05	-0.23	0.44	0.21	0.25
MGO	0.31	0.24	0.08	0.17	0.11	0.28	0.03	-0.12	-0.20	0.07	0.05	0.09
K2O	0.24	0.21	0.08	0.10	0.23	0.21	0.31	0.18	-0.22	0.15	-0.04	0.24
MNO	0.23	0.24	0.01	-0.03	0.23	0.10	0.87	0.00	-0.15	0.20	0.02	-0.03
P	0.09	0.20	0.17	-0.21	0.06	0.15	-0.08	0.05	-0.06	0.02	0.04	0.05
V	0.54	0.67	0.29	0.18	0.41	0.30	0.47	-0.08	-0.01	0.41	0.21	0.08
CR	0.49	0.59	0.26	0.26	0.29	0.27	0.30	0.05	0.13	0.45	0.30	0.02
CO	0.36	0.30	0.04	0.03	0.27	0.14	0.34	-0.07	-0.16	0.24	0.00	-0.04
CU	0.60	1.00	0.72	0.34	0.28	0.49	0.38	-0.30	-0.18	0.40	0.35	0.43
ZN	0.30	0.72	1.00	0.24	0.31	0.47	0.40	-0.19	-0.17	0.50	0.27	0.27
AS	0.39	0.34	0.24	1.00	-0.06	0.33	0.33	-0.12	-0.19	0.18	0.07	0.01
BA	0.28	0.31	0.06	-0.06	1.00	0.24	0.03	-0.15	-0.18	0.29	0.39	0.73
SR	0.49	0.47	0.33	0.28	0.24	1.00	0.80	-0.02	-0.32	0.48	0.04	0.04
CE	0.38	0.40	0.12	0.28	0.30	0.80	1.00	-0.23	-0.54	0.41	0.24	0.24
B	-0.30	-0.19	-0.12	-0.03	-0.32	-0.31	-0.01	1.00	-0.30	0.11	0.05	0.09
ZR	0.18	0.17	-0.19	-0.18	-0.32	-0.54	-0.30	-0.31	1.00	0.21	-0.10	-0.30
Y	0.40	0.50	0.07	0.29	0.29	0.41	0.05	-0.02	0.04	1.00	0.08	0.10
NB	0.35	0.22	0.07	0.39	-0.03	0.24	-0.10	-0.10	-0.04	0.08	1.00	-0.49
MO	0.43	0.27	0.01	0.39	-0.04	0.24	-0.09	-0.30	-0.25	0.10	-0.39	1.00
QUAR	-0.77	-0.66	-0.34	-0.33	-0.29	-0.54	-0.41	0.40	0.36	-0.38	-0.28	-0.39
GIBB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KAOL	0.80	0.64	0.40	0.21	0.24	0.59	0.37	-0.37	-0.35	0.00	0.22	0.31
GOET	0.67	0.32	0.32	0.02	0.22	0.12	0.32	-0.14	-0.04	0.25	0.21	0.14
HEMA	0.52	0.61	0.31	0.29	0.48	0.34	0.50	-0.11	-0.07	0.41	0.13	0.02
RHG	0.49	0.42	0.35	-0.11	0.19	0.35	0.24	-0.03	-0.07	0.35	-0.00	-0.07

	QUAR	GIBB	KAOL	GOET	HEMA	RHG
S102	0.95	0.00	-0.76	-0.67	-0.52	-0.04
AL203	-0.93	0.00	1.00	0.32	0.61	0.61
FE203	-0.62	0.00	0.50	0.32	0.31	0.36
TiO2	-0.42	0.00	0.54	0.02	0.29	0.45
MGO	-0.35	0.00	0.33	0.22	0.36	0.17
K2O	-0.22	0.00	0.24	0.12	0.25	0.25
MNO	-0.20	0.00	0.14	0.32	0.44	0.15
P	0.12	0.00	-0.20	0.15	0.01	-0.15
V	-0.67	0.00	0.80	0.80	0.87	0.44
CR	-0.51	0.00	0.51	0.55	0.56	0.43
CO	-0.24	0.00	0.20	0.23	0.47	0.20
NI	-0.77	0.00	0.80	0.83	0.77	0.49
CU	-0.66	0.00	0.64	0.50	0.65	0.49
ZN	-0.34	0.00	0.40	0.33	0.35	0.04
AS	-0.33	0.00	0.21	0.29	0.08	-0.11
BA	-0.29	0.00	0.24	0.33	0.48	0.19
SR	-0.54	0.00	0.59	0.12	0.24	0.36
CE	-0.41	0.00	0.47	0.33	0.50	0.24
B	0.40	0.00	-0.37	-0.14	-0.11	-0.03
ZR	0.33	0.00	-0.35	0.04	-0.11	-0.07
Y	0.35	0.00	0.42	0.25	0.41	0.38
NB	-0.28	0.00	0.22	0.21	0.13	-0.00
MO	-0.39	0.00	0.31	0.14	0.02	-0.07
QUAR	1.00	0.00	-0.93	-0.54	-0.60	-0.32
GIBB	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KAOL	-0.93	0.00	1.00	0.32	0.61	0.61
GOET	-0.67	0.00	0.32	1.00	0.67	0.67
HEMA	-0.60	0.00	0.31	0.67	1.00	0.65
RHG	-0.32	0.00	0.45	0.67	0.65	1.00

été réalisée en éliminant les individus atypiques et en conservant :

- pour les sols de flats, les échantillons à moins de 10 % Fe_2O_3 ;
- pour les sols gravillonnaires, les échantillons à plus de 10 % et moins de 50 % Fe_2O_3 ;
- pour les cuirasses, les échantillons à plus de 10 % et moins de 62% Fe_2O_3 , situés au dessous de la droite de mélange goethite-gibbsite.

L'examen des tableaux de corrélations montre une certaine stabilité des associations géochimiques lorsque l'on passe d'un groupe d'échantillons à l'autre. On distingue nettement quatre associations principales autour des éléments majeurs, silice, alumine, fer et manganèse. Ces quatre pôles peuvent être rapportés aux phases minéralogiques quartz, kaolinite, goethite-hématite et hydroxydes de manganèse.

1. Le pôle siliceux correspond à la phase à quartz et minéraux lourds, caractérisée par l'association de la silice et du quartz avec les éléments Zr, Y, TiO_2 , Ce, B. Le zirconium apparaît comme le meilleur marqueur de cette association. En effet, le titane est aussi lié au pôle alumineux, notamment dans les classes des cuirasses alumineuses et des sols de flats où la kaolinite est bien exprimée. Le cerium et dans une moindre mesure l'yttrium, sont également liés au pôle manganésifère.

2. Le pôle ferrifère est principalement caractérisé par P, V, Cr, Nb, Cu, As, Mo. La séparation des phases oxydes et hydroxydes par le calcul normatif indique une affinité plus marquée du phosphore et de l'arsenic pour la goethite tandis que le chrome et le cuivre sont plutôt liés à l'hématite.

3. Le pôle alumineux, surtout exprimé dans la kaolinite est lié d'une part au titane et d'autre part aux éléments alcalins et alcalino-terreux K_2O , MgO , Ba, Sr. Le nickel participe également à cette association avec une affinité plus marquée pour le magnésium. Dans la classe des cuirasses alumineuses la gibbsite est corrélée avec le chrome.

4. Le pôle manganésifère qui se rattache parfois à l'un ou l'autre des trois pôles précédents, est surtout caractérisé par l'association de Mn avec Co, Ba, Ce.

F. CARTOGRAPHIE

Les distributions des teneurs des éléments et des minéraux ont été représentées après interpolation par moyennes mobiles à l'aide d'une échelle de couleurs allant du gris clair au rouge-magenta. Les cartes de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Quartz-Gibbsite, Kaolinite, Zr et V sont données comme exemples représentatifs des principaux modes de régionalisation des teneurs (fig. 22 à 27).

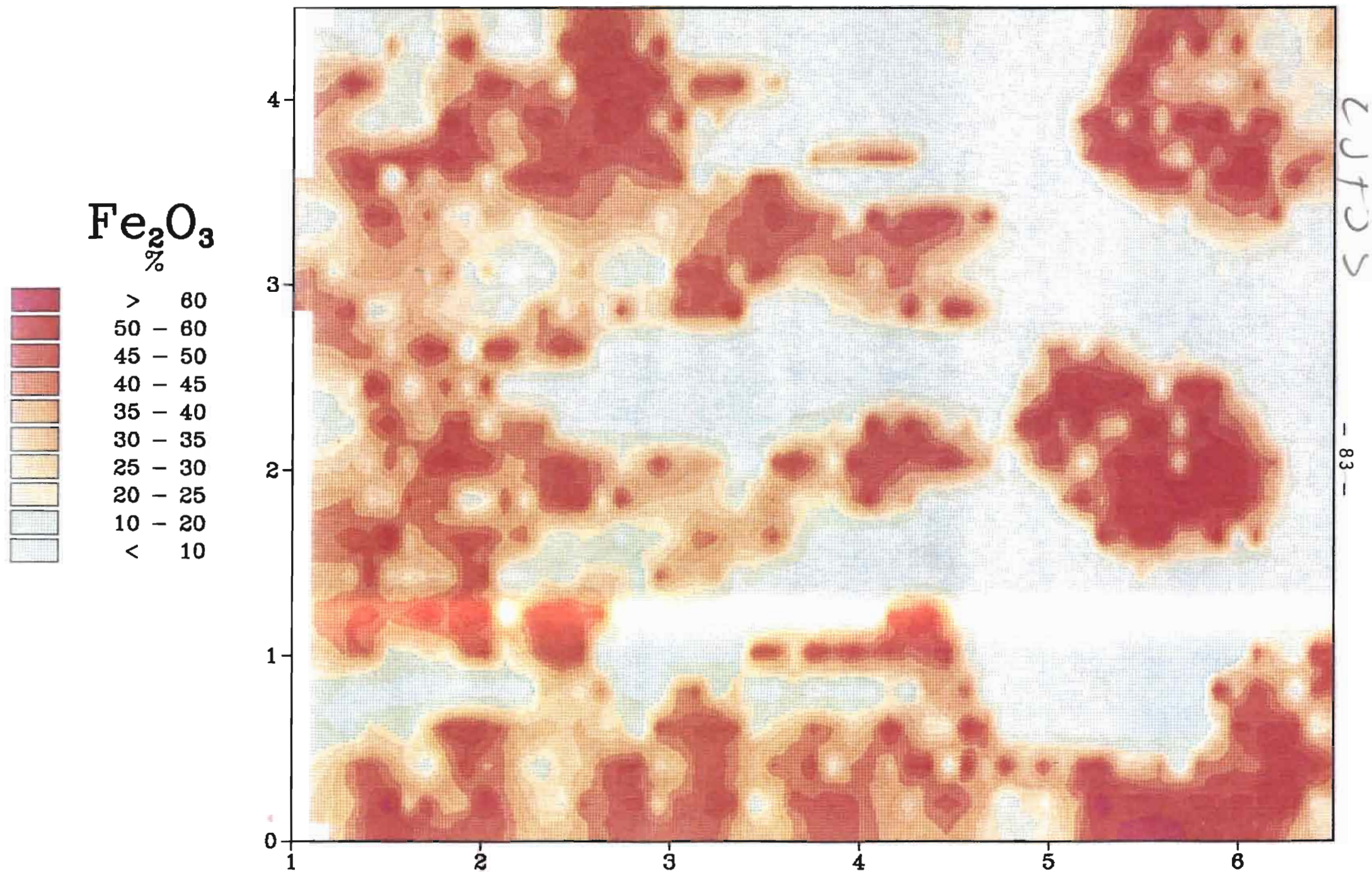
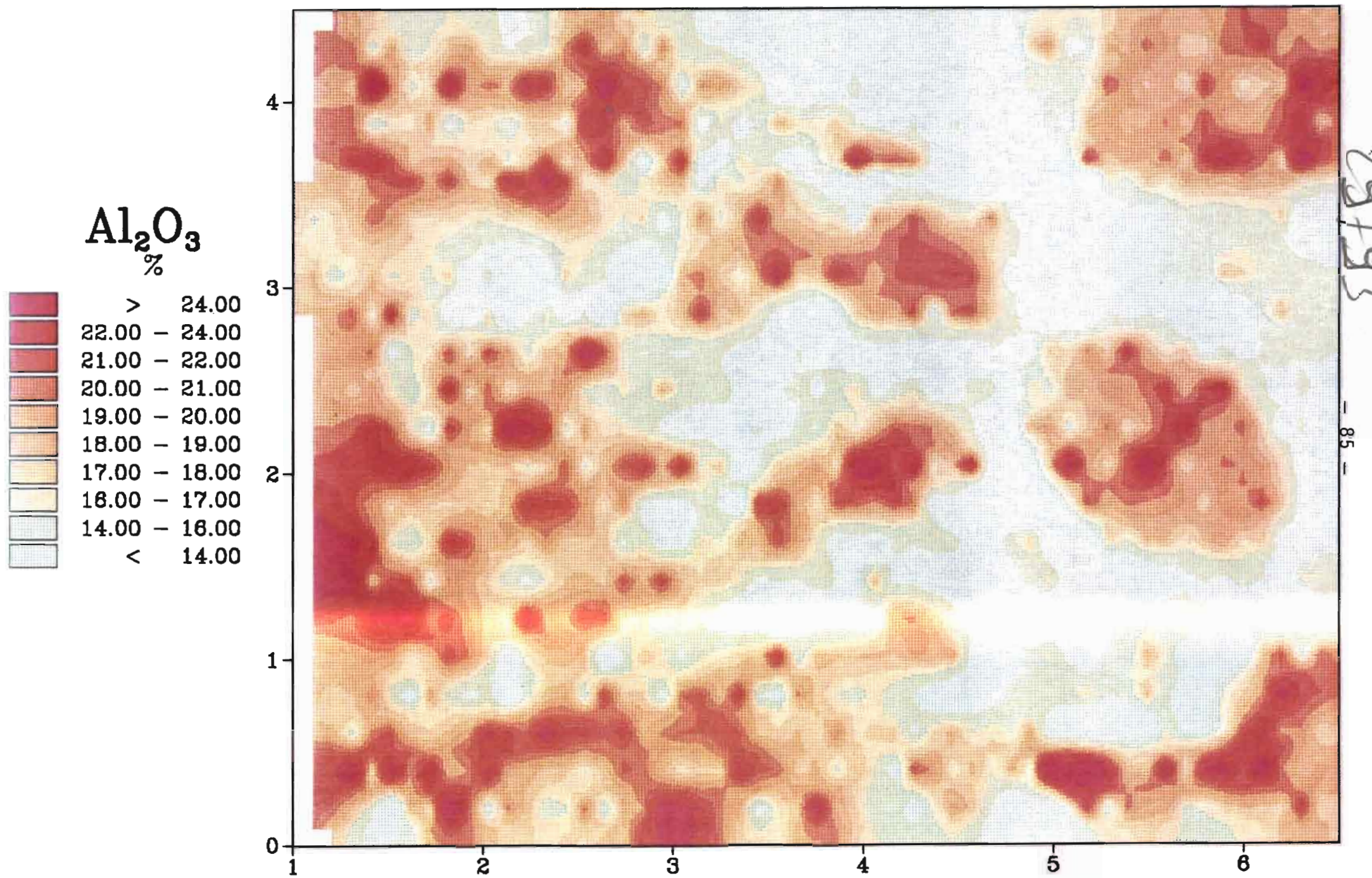


Fig. 22 - Prospect de Dagadamou: Carte des teneurs en fer.



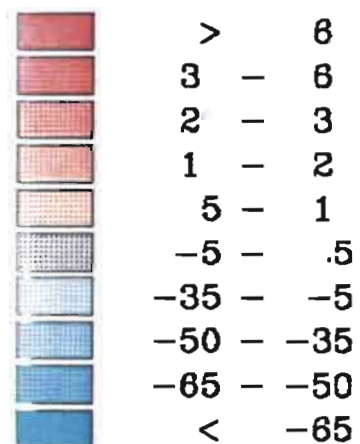
20753

- 85 -

Fig. 23 - Prospect de Dagadamou: Carte des teneurs en alumine.

Gibbsite

%



Quartz

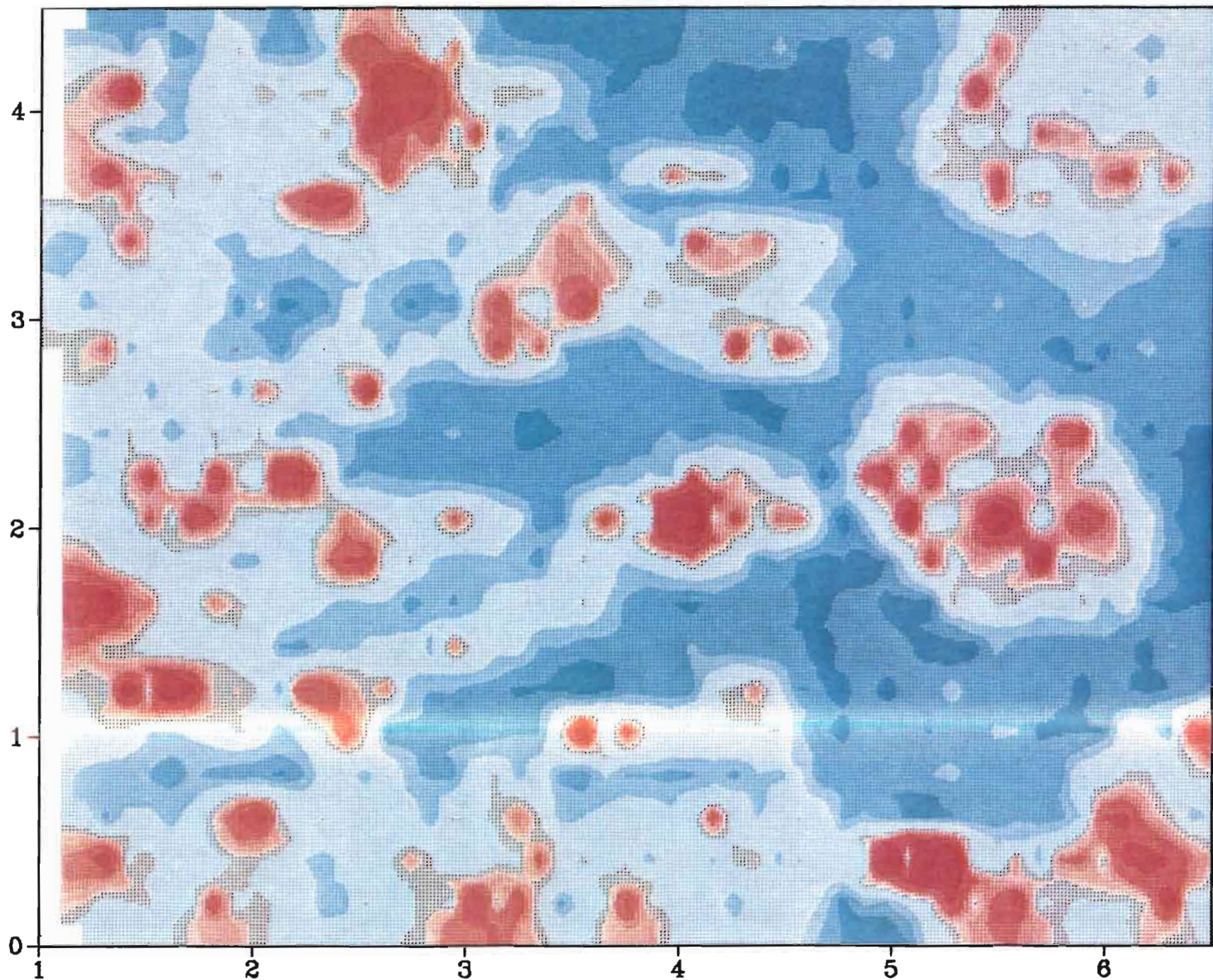


Fig. 24 - Prospect de Dagadamous: Carte des teneurs en quartz et gibbsite.

Kaolinite %

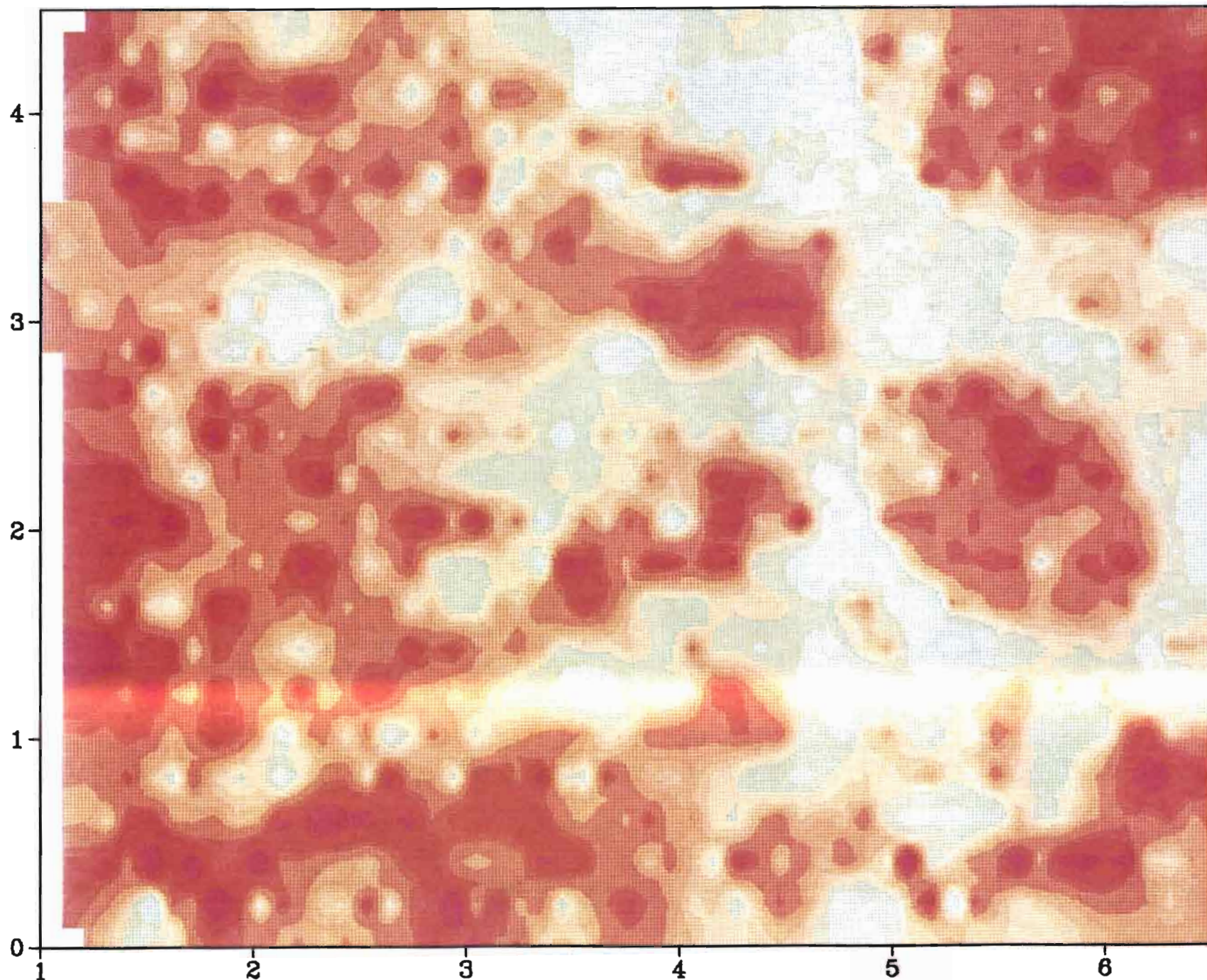
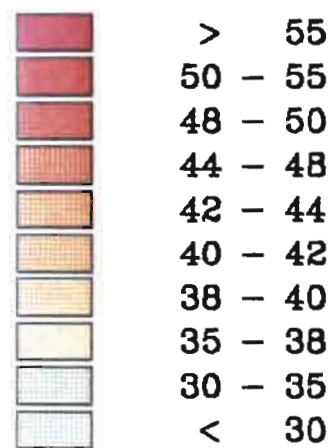
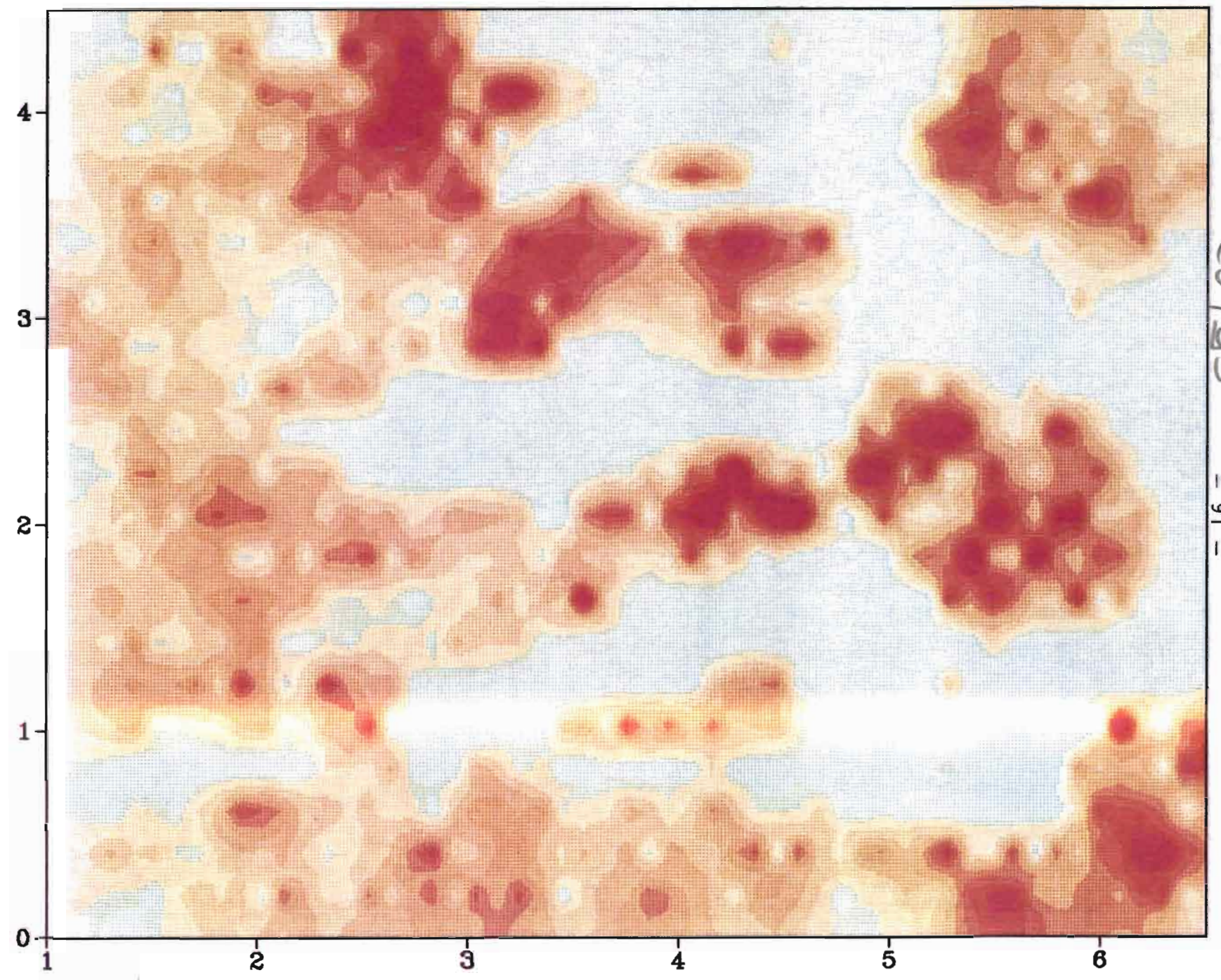
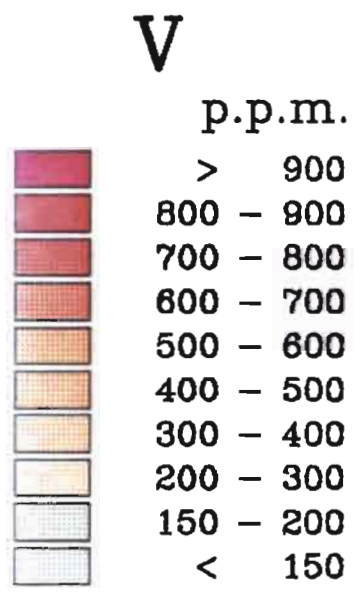


Fig. 25 - Prospect de Dagadamou: Carte des teneurs en kaolinite.



29733

- 91 -

Fig. 26 - Prospect de Dagadamou: Carte des teneurs en vanadium.

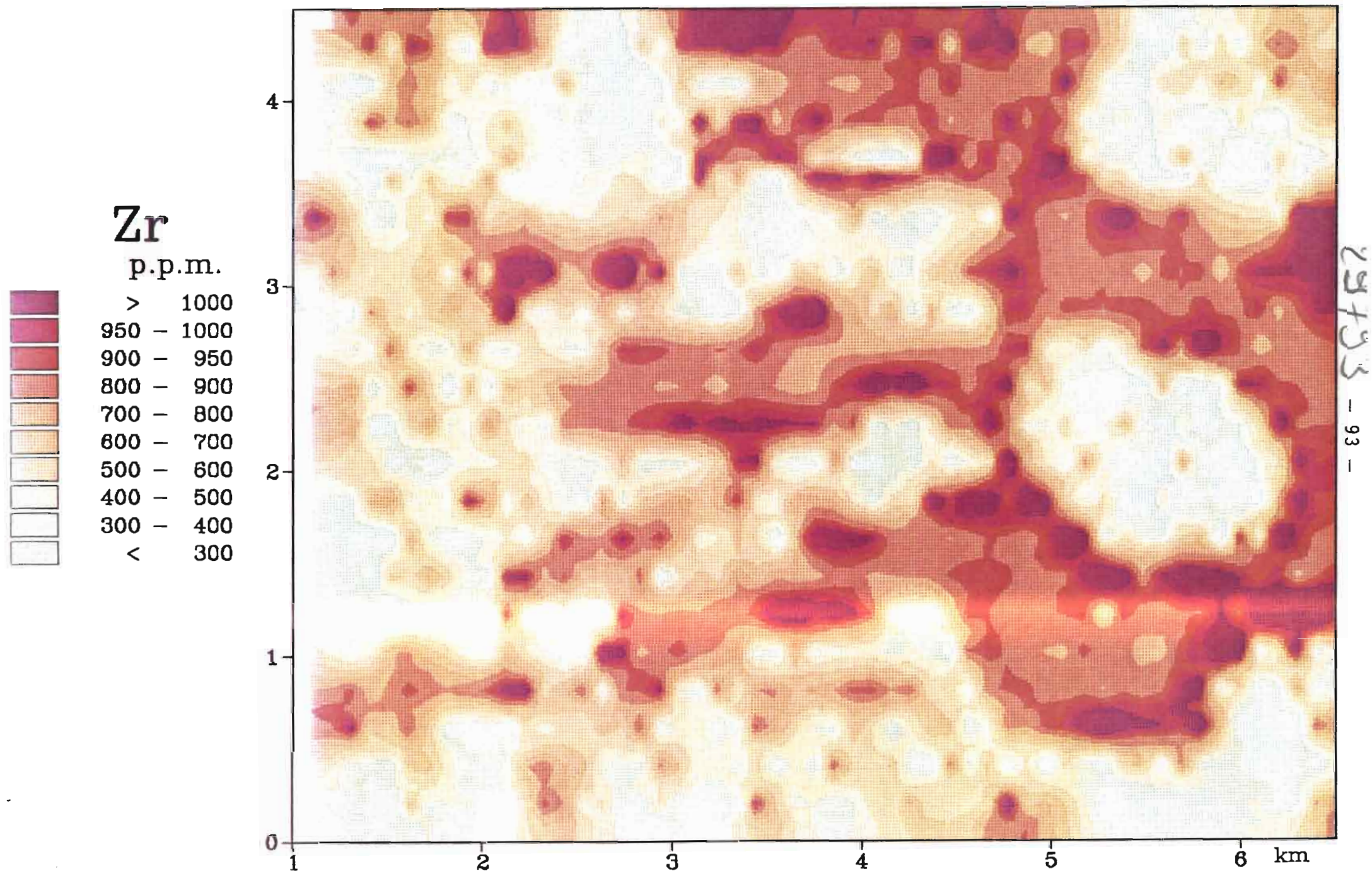


Fig. 27 - Prospect de Dagadamou: Carte des teneurs en zirconium.

La zonalité la mieux marquée pour la plupart des éléments reflète le contraste de compositions entre les plateaux cuirassés et les sols des vallées. Les cuirasses affleurantes se dessinent donc en rouge sur les cartes de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Cr, V, P, Cu, As, Mo, Nb, tandis que les vallées apparaissent en gris clair. On observe la disposition inverse sur les cartes de SiO_2 , TiO_2 , Y, Zr et Ce.

Des différenciations plus fines se manifestent également dans chacun de ces deux ensembles.

- Dans les vallées, le zirconium et le quartz se concentrent préférentiellement en bordure des plateaux cuirassés en soulignant leurs contours par un liseré de fortes teneurs. Cette zonalité s'observe plus particulièrement à l'Ouest du secteur où un halo de fortes concentrations entoure une butte isolée près du village de Dagadamou. On a vu sur les images de télédétection SPOT que ce halo géochimique correspond à des sols dénudés à forte réflectance autour des plateaux.

- Dans les cuirasses, les teneurs en V, Nb, Mo sont plus élevées dans la moitié E-NE de la carte que dans la partie W-SW. La limite entre ces deux zones dessine une structure d'orientation NNW-SSE que l'on voit également sur les cartes de Cr, As et Sr. Elle révèle peut-être l'existence d'une différenciation lithologique du substratum, sécante par rapport à l'orientation des traits morphologiques majeurs du paysage.

II - CARTOGRAPHIE GEOCHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DES CUIRASSES DE LA REGION DE KANGABA

A. PRESENTATION DES DONNEES

Un échantillonnage systématique des cuirasses affleurantes de la région de Kangaba (fig. 1) a été réalisé dans le cadre de la convention, au cours des campagnes de terrain de 1985 et 1986.

Les résultats présentés dans ce rapport ne concernent que les 187 échantillons de cuirasses récoltés en 1985, au cours de la première campagne. Les analyses des prélèvements de la campagne 1986 sont en cours et viendront prochainement compléter cette première série de données.

Les échantillons recueillis ont été décrits par quatre types de paramètres : observations de terrain, observations pétrographiques macroscopiques, analyses chimiques et analyses minéralogiques aux rayons X.

1. Les observations de terrain (annexe 1)

La liste des observations codées, concernant la situation topographique et morphologique des prélèvements, leur représentativité et le type de formation échantillonnée, figure en annexe 1 de ce rapport.

La répartition statistique des échantillons en fonction de ces paramètres de terrain (tableau XV) reflète les orientations prises en fonction des objectifs de cartographie des cuirasses : ce sont principalement les sommets des reliefs cuirassés dominants, qui ont été échantillonnés et assez souvent en rebord de plateau. On constate, en effet, que cette situation est généralement celle des faciès d'altérations les plus évolués. Ici, 9 échantillons de bauxites et 5 échantillons de carapaces ont été distingués des autres prélèvements de dalles cuirassées ferrugineuses. La représentativité des échantillons au niveau du site de prélèvement est souvent considérée comme faible ou moyenne car ce sont des faciès bien différenciés qui ont été choisis de préférence, même si leur extension est limitée.

Tableau XV - Statistiques de répartition des échantillons de cuirasses, en fonction des paramètres descriptifs de terrain

Paramètres de terrain	Modalités	Codes	Effectifs	Fréquences (%)
Situation topographique dans le paysage	Relief élevé	1	107	57
	Relief moyen	2	48	26
	Relief bas	3	15	8
	Butte témoin	4	17	9
Situation topographique locale	Sommet	1	102	55
	Versant	2	53	29
	Bas de pente	3	32	16
Situation morphologique	Surface	1	109	58
	Rebord	2	78	42
Type de formation	Cuirasse	1	173	93
	Carapace	2	5	3
	Bauxite	7	9	5
Représentativité de l'échantillon	Bonne	1	109	58
	Moyenne	2	56	30
	Faible	3	22	12

2. Observations pétrographiques (annexe 1)

Les caractères macroscopiques des échantillons représentés par les codes pétrographiques sont résumés dans le tableau XVI.

On remarque, à la lecture de ce tableau que 80 % des cuirasses échantillonnées sont de type nodulaire ou pseudo-nodulaire. Les nodules sont généralement abondants ou assez abondants et de couleur violette, tandis que la matrice est plutôt rouge ou brune. Des grains de quartz se voient également dans la moitié des échantillons tantôt en gros grains, tantôt en petits grains, mais rarement en abondance. La porosité des échantillons, se traduit le plus souvent par des pores de grande taille ou des vacuoles.

3. Analyses chimiques (annexe 2)

Les analyses chimiques ont été réalisées par spectrométrie d'émission ICP au Laboratoire du CSGS à Strasbourg (Samuel et al. , 1985). Les résultats présentés en annexe 3 portent sur 9 éléments majeurs exprimés en pourcentage d'oxyde (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O_3 , K_2O , MnO_2 , P_2O_5 et TiO_2), 12 éléments en traces (Sr, Ba, V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Sc, Y, Zr, Nb) et 5 Terres Rares (La, Ce, Eu, Yb, Lu) exprimés en ppm. La perte en poids de l'échantillon après séchage à l'étuve à 110° C, appelée "P 110", et le pourcentage de perte au feu après chauffage à 1000° C, "P 1000" sont également mesurés. La somme des pourcentages d'oxydes et de la perte au feu ("SOM") est toujours très proche de 100 %.

4. Analyses minéralogiques (annexe 3)

L'analyse minéralogique a été réalisée par diffractométrie sur poudre au Laboratoire de Rayons X du CSGS. Les teneurs en quartz, kaolinite, gibbsite, boehmite, goethite, hématite ont été estimées à partir des mesures des hauteurs de pics sur les diffractogrammes. Des coefficients d'étalonnage empiriques, établis par Ph. Larqué et Y. Besnus, ont été utilisés pour relier la hauteur du pic caractéristique d'un minéral à sa teneur dans l'échantillon. La précision de cette méthode d'analyse semi-quantitative, a été vérifiée en comparant les teneurs en éléments majeurs calculées à partir de la composition minéralogique qu'elle fournit avec les teneurs mesurées par spectrométrie ICP. On observe ainsi une bonne corrélation, ($r = 0,80$ à $0,84$) entre les teneurs en silice, alumine et fer, obtenues par les deux méthodes, ainsi qu'entre la perte au feu (P 1000) et la teneur en eau entrant dans la structure des minéraux hydratés (gibbsite, kaolinite, boehmite et goethite). Les écarts observés sur les diagrammes de corrélation entre les deux types d'analyses (fig. 28), correspondent essentiellement à une sous-estimation des teneurs élevées en fer et en silice, par le dosage minéralogique. En revanche, les minéraux alumineux et hydroxylés sont plutôt sous-estimés au niveau des faibles teneurs ; ce qui peut s'expliquer par la présence de kaolinite ferrifère ou par une mauvaise sensibilité du dosage de ce minéral aux rayons X lorsqu'il est mal cristallisé.

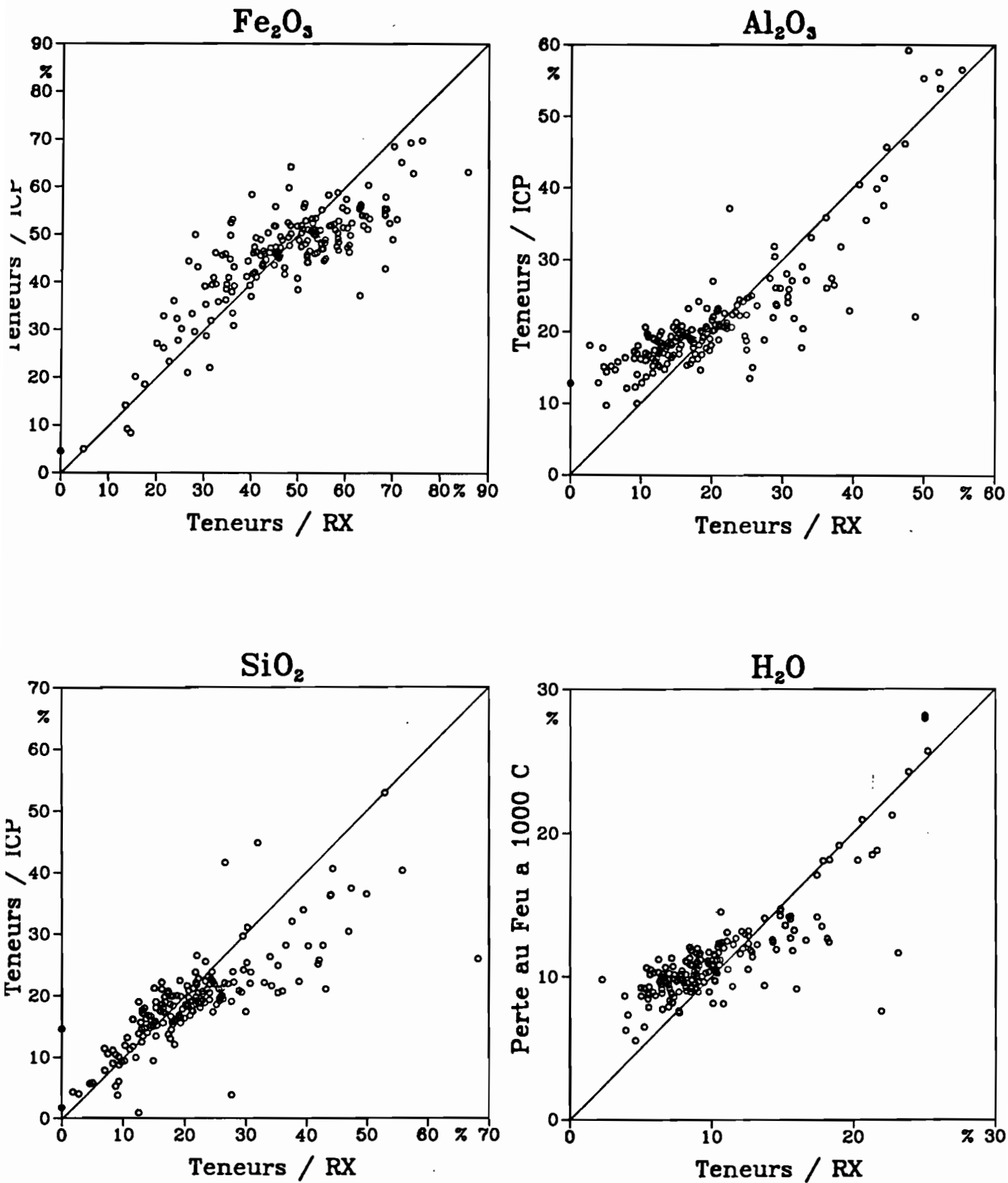


Fig. 28 - Diagrammes de corrélation entre les teneurs en oxydes, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 et H_2O , calculées à partir des analyses minéralogiques par rayons X et les teneurs mesurées par ICP.

Tableau XVI - Statistiques de répartition des échantillons de cuirasses en fonction des paramètres pétrographiques.

Paramètre Pétrographique	Modalités	Codes	Effectifs	Fréquences (%)
Homogénéité	Bonne	1	68	37
	Moyenne	2	95	51
	Faible	3	24	12
Organisation	Massive	1	21	11
	Pseudo-nodulaire	2	59	32
	Nodulaire	3	90	48
	Lamellaire	4	2	1
	Pseudo-Conglomératique	5	4	2
	Pisolithique	6	3	2
	Complexe	7	8	4
Porosité	Friable	1	1	1
	Invisible	2	17	9
	Fine	3	5	3
	Grossière	4	70	37
	Vacuolaire	5	94	50
Couleur de la matrice	Indéterminée	0	6	3
	Rouge	1	62	33
	Violette	2	50	27
	Brunes	3	63	34
	Jaune	4	4	2
	Blanche	7	2	1
Constituants grossiers	Absents	0	93	50
	Nodules	1	87	47
	Concrétions	2	3	1
	Éléments bauxitiques	4	3	1
	Lithoreliques	5	1	1
Couleur des constituants grossiers	Absents	0	93	50
	Rouges	1	8	4
	Violet	2	67	36
	Brunes	3	17	9
	Blancs	7	2	1
Taille des constituants grossiers	Absents	0	94	50
	Grands	1	12	6
	Petits	2	26	14
	Hétérogènes	3	55	30
Quantité d'éléments grossiers	Absents	0	98	52
	Très abondants	1	2	1
	Abondants	2	57	31
	Assez abondants	3	26	14
	Assez rares	4	3	2
Rares	5	1	1	
Taille des grains de Quartz	Absents	0	91	49
	Grands	1	29	16
	Moyens	2	17	9
	Petits	3	38	20
	Hétérogènes	4	12	6
Quantités de grains de Quartz	Absents	0	91	49
	Abondants	2	2	1
	Assez Abondants	3	16	9
	Assez rares	4	29	15
	Rares	5	29	15
Très rares	6	20	11	

Comme dans l'étude précédente, sur le prospect de Dagadamou, on a également utilisé le paramètre minéralogique correspondant au rapport hématite/(goethite + hématite), RHG, exprimé en pourcentage.

B. DISTRIBUTIONS DES TENEURS DES ELEMENTS ET DES MINERAUX

Les paramètres statistiques des teneurs des éléments et des minéraux dans les échantillons de cuirasses de Kangaba sont présentés dans le tableau XVII.

Tableau XVII - Paramètres statistiques des distributions de teneurs des éléments et des minéraux dans les échantillons de cuirasses de Kangaba.

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	SKEWNESS	KURTOSIS	N
SiO2	19.04	7.47	0.69	52.67	0.98	3.40	167
Al2O3	21.79	6.84	9.73	61.58	2.51	7.06	167
Fe2O3	45.74	10.89	4.61	69.63	-1.32	2.93	167
MGO	0.11	0.07	0.02	0.40	1.17	2.83	167
CaO	0.20	0.02	0.20	0.34	7.73	61.72	167
Na2O	0.06	0.02	0.05	0.25	9.70	37.69	167
K2O	0.38	0.31	0.05	1.97	1.94	6.44	167
MnO2	0.05	0.05	0.01	0.58	7.90	76.81	167
P2O5	0.30	0.14	0.10	1.01	2.27	8.99	167
TiO2	0.67	0.17	0.27	1.75	1.79	9.09	167
P110	0.97	0.39	0.18	2.27	0.56	-0.02	167
P1000	11.39	3.64	8.53	30.15	2.68	9.20	167
SOM	99.53	0.76	98.18	101.19	0.09	-0.95	167
SR	29.56	24.27	4.00	201.00	4.29	23.27	167
BA	109.76	66.01	8.00	676.00	2.74	11.53	167
V	649.89	422.35	112.00	2825.00	1.79	4.66	167
NI	47.66	39.57	1.00	346.00	3.73	21.24	167
CO	13.71	7.39	5.00	46.20	1.45	3.76	167
CR	990.69	679.64	92.20	4727.00	2.20	7.03	167
ZN	56.26	44.67	3.10	320.00	3.67	17.02	167
CU	51.51	42.72	1.00	289.00	2.93	10.37	167
SC	26.56	13.49	7.10	92.00	1.95	5.09	167
Y	12.22	3.29	4.00	26.00	0.97	3.62	167
ZR	263.97	82.90	89.30	630.00	0.58	1.31	167
LA	21.30	45.63	2.50	592.00	10.89	133.46	167
CE	100.14	56.52	15.80	295.00	1.49	2.19	167
EU	2.74	1.75	1.00	8.90	1.48	1.96	167
YB	3.44	1.22	1.10	8.20	1.01	2.14	167
LU	0.13	0.10	0.10	1.00	4.81	33.33	167
NB	12.94	8.51	2.00	43.00	1.91	6.61	167
QUAR	8.28	11.50	0.00	65.00	1.95	3.66	164
KAOL	28.63	12.33	0.00	63.00	0.14	0.09	164
GIBB	12.52	15.87	0.00	67.00	1.71	2.36	164
BOEH	0.96	3.55	0.00	37.00	7.03	62.02	164
GOET	19.32	12.52	0.00	76.00	1.51	4.02	164
HEMA	29.71	12.12	0.00	70.00	0.18	0.21	164
RHG	61.62	16.06	0.00	100.00	-0.62	1.10	163

On remarque que les teneurs en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ et la perte au feu à 1000° C représentant en moyenne 98 % de la composition des échantillons. Le fer est l'élément prépondérant, sauf dans le cas des cuirasses bauxitiques où l'alumine domine nettement, ou bien dans le cas des cuirasses les plus siliceuses, à quartz abondant. Les minéraux principaux sont l'hématite et la kaolinite qui ont une teneur moyenne de 30 % environ. Avec la goethite ils sont présents, mais en proportions très variables, dans presque tous les échantillons. Les minéraux quartz,

gibbsite, boehmite, plus rares, sont parfois abondants et atteignent respectivement des teneurs de 65 %, 67 % et 37 % dans les échantillons les plus différenciés provenant de cuirasses quartzieuses ou bauxitiques.

Les forts coefficients d'asymétrie et d'aplatissement observés, reflètent l'étalement important des histogrammes de fréquences des éléments pour les teneurs élevées. Seule, la distribution du fer présente une dissymétrie négative. Les valeurs les plus élevées des deux coefficients, correspondent aux éléments dont la teneur de fond très basse, atteint la limite de détection de l'analyse ; c'est le cas notamment de Ca, Na, Mn, La, Lu et de la boehmite. Pour d'autres éléments comme Sr, Ni, Zn, Cu, le caractère très dissymétrique des distributions s'explique plutôt par la présence de valeurs "anormales" relativement élevées.

C'est pour atténuer le poids de ces valeurs extrêmes dans le calcul des teneurs moyennes des différentes catégories d'échantillons que le codage des rangs sera utilisé par la suite.

C. RELATIONS ENTRE LES PARAMETRES DE TERRAIN ET LA COMPOSITION DES ECHANTILLONS

Les compositions moyennes des classes d'échantillons définies en fonction des paramètres de terrain ont été comparées afin de préciser les caractères de différenciation liés au relief, à la situation topographique et morphologique ou au faciès des cuirasses échantillonnées. Ces comparaisons de moyennes ont été réalisées sur le fichier des rangs. Dans ce fichier, pour chaque élément, les teneurs sont classées par ordre croissant puis remplacées par leur rang. On donne un rang moyen aux ex-aequos

Ainsi, les distributions des éléments deviennent uniformes avec des valeurs comprises entre 1 pour la teneur la plus faible, et 187 pour la teneur la plus élevée. Cette transformation atténue l'influence des valeurs extrêmes sur la moyenne et permet d'effectuer les comparaisons sur une même échelle de valeurs pour tous les éléments.

1. Influence du relief

Les rangs moyens des teneurs pour les quatre types de relief (élevé, moyen, bas et butte témoin) sont représentés sur la figure 29. Les éléments sont rangés de bas en haut dans l'ordre croissant des moyennes pour les reliefs élevés. On voit bien sur cette figure un changement graduel de composition des cuirasses depuis les zones basses jusqu'aux reliefs moyens et élevés. Il se traduit essentiellement par un enrichissement relatif de quartz, silice, zirconium, perte en eau à 110° C, magnésium, potassium, goethite, baryum, yttrium, cobalt, niobium et manganèse dans les cuirasses basses ; tandis que scandium, vanadium, perte au feu à 1000° C, chrome, alumine, rapport hématite/goethite, cerium, gibbsite, ytterbium, europium, kaolinite, hématite, fer et phosphore se concentrent davantage dans les cuirasses des reliefs les plus élevés.

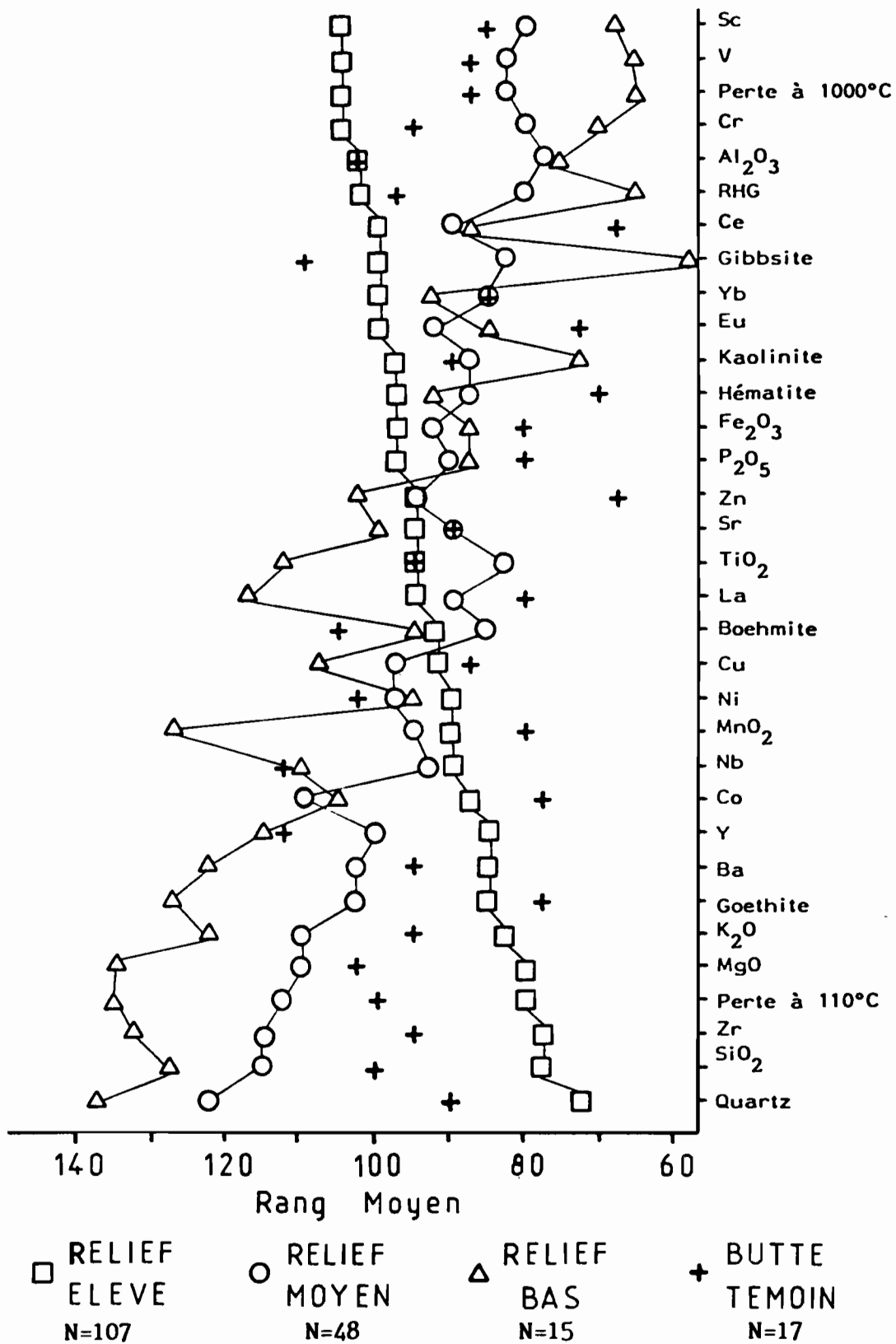


Fig. 29 - Comparaison des rangs moyens des teneurs des éléments dans les cuirasses appartenant à différents types de reliefs.

Les buttes témoins présentent des compositions intermédiaires par rapport aux reliefs moyens et élevés mais se distinguent aussi par leur pauvreté en fer, goethite, hématite, phosphore, zinc, manganèse, cobalt, cerium et leur richesse en hydroxydes d'alumine, gibbsite et boehmite. Cependant, la faible représentation des buttes témoins au niveau de l'échantillonnage (17 échantillons seulement) limite la signification de ces observations.

2. Influence de la topographie

Les variations de teneurs des cuirasses en fonction de la situation topographique sont décrites sur la figure 30. On constate à peu près le même type de différenciation, avec des contrastes légèrement plus faibles que celui décrit précédemment en fonction du type de relief. Les cuirasses de sommet présentent un rapport hématite/goethite élevé et sont plus riches en alumine, gibbsite, chrome, kaolinite, perte au feu à 1000° C, titane, scandium, phosphore, strontium, hématite, boehmite. En revanche, les cuirasses de bas de pente ont des teneurs moyennes plus élevées en cuivre, manganèse, yttrium, perte au feu à 110° C, zirconium, zinc, goethite, quartz, silice, cobalt, nickel, cerium. Les cuirasses de versants s'opposent aux cuirasses de bas de pente par des teneurs faibles en strontium et titane.

3. Influence du site de prélèvement en surface ou en rebord de cuirasse

Les rangs moyens des teneurs pour les deux classes de prélèvements "surface" et "rebord" de cuirasse, représentés sur la figure 31, ne sont pas très contrastés. On notera toutefois une abondance relative de manganèse, chrome, scandium, kaolinite, cuivre, cerium, nickel, titane, ytterbium, yttrium, strontium, alumine, perte au feu à 1000° C, vanadium, europium, boehmite, gibbsite, phosphore et cobalt sur les rebords de cuirasses. Tandis que quartz, zirconium, fer, hématite et le rapport hématite/goethite y sont au contraire plus faibles.

4. Influence du faciès de cuirasse

Les différences de teneurs moyennes des quelques échantillons de type "carapace" ou "bauxite" par rapport aux cuirasses ferrugineuses sont représentées sur la figure 32.

Les bauxites se reconnaissent comme des matériaux très différenciés qui concentrent sélectivement gibbsite, alumine, titane, boehmite, strontium et lanthane au détriment des autres éléments et surtout du fer. En revanche les faciès de type "carapace" sont plus riches en goethite, yttrium, quartz, manganèse, zinc, baryum, nickel, perte en eau à 110° C, silice, cerium, potassium, magnésium, strontium.

Le rapport hématite sur goethite élevé dans les bauxites est au contraire faible dans les carapaces par rapport aux cuirasses.

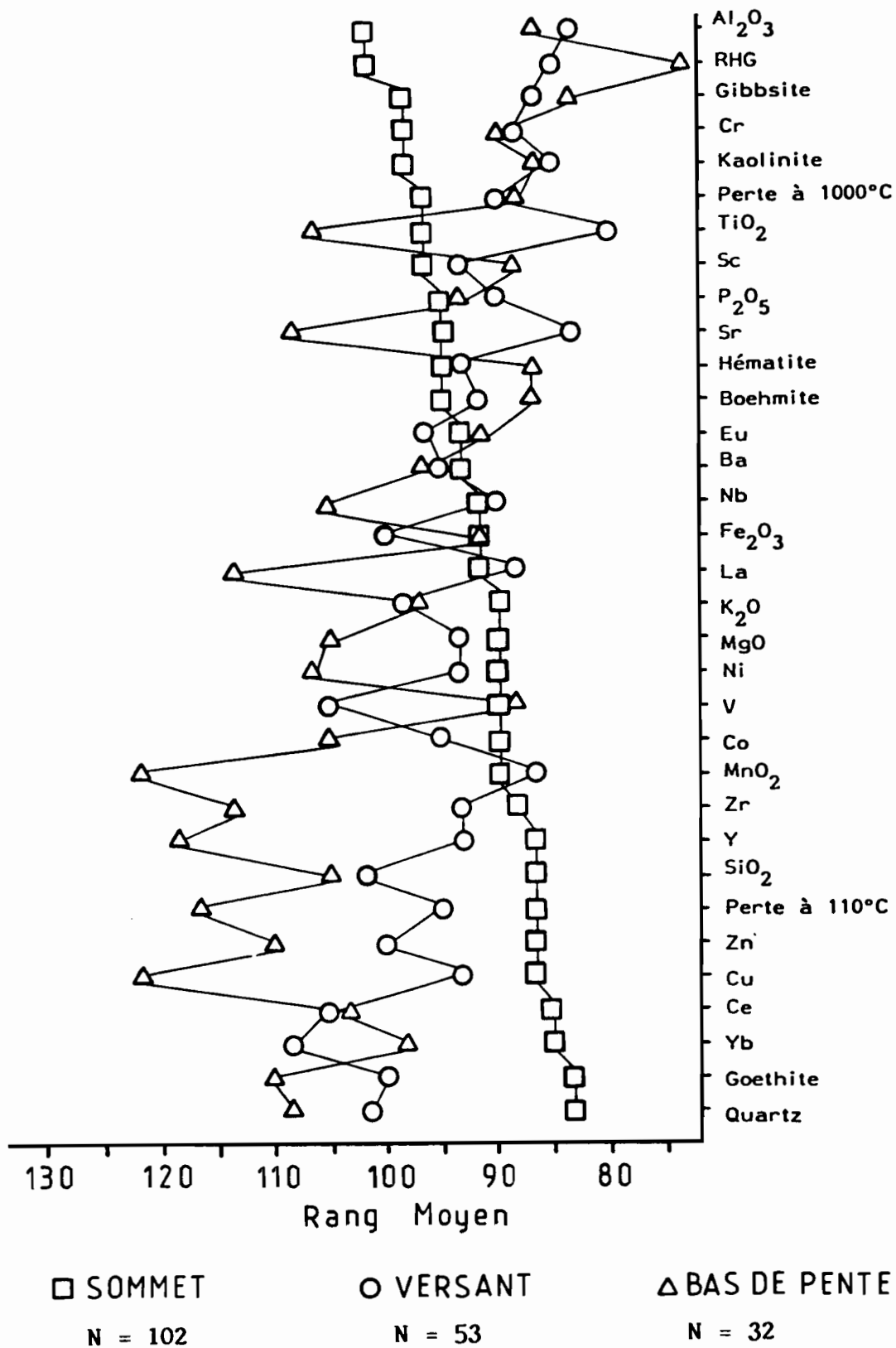


Fig. 30 - Comparaison des rangs moyens des teneurs des éléments en fonction de la situation topographique des prélèvements sur cuirasse.

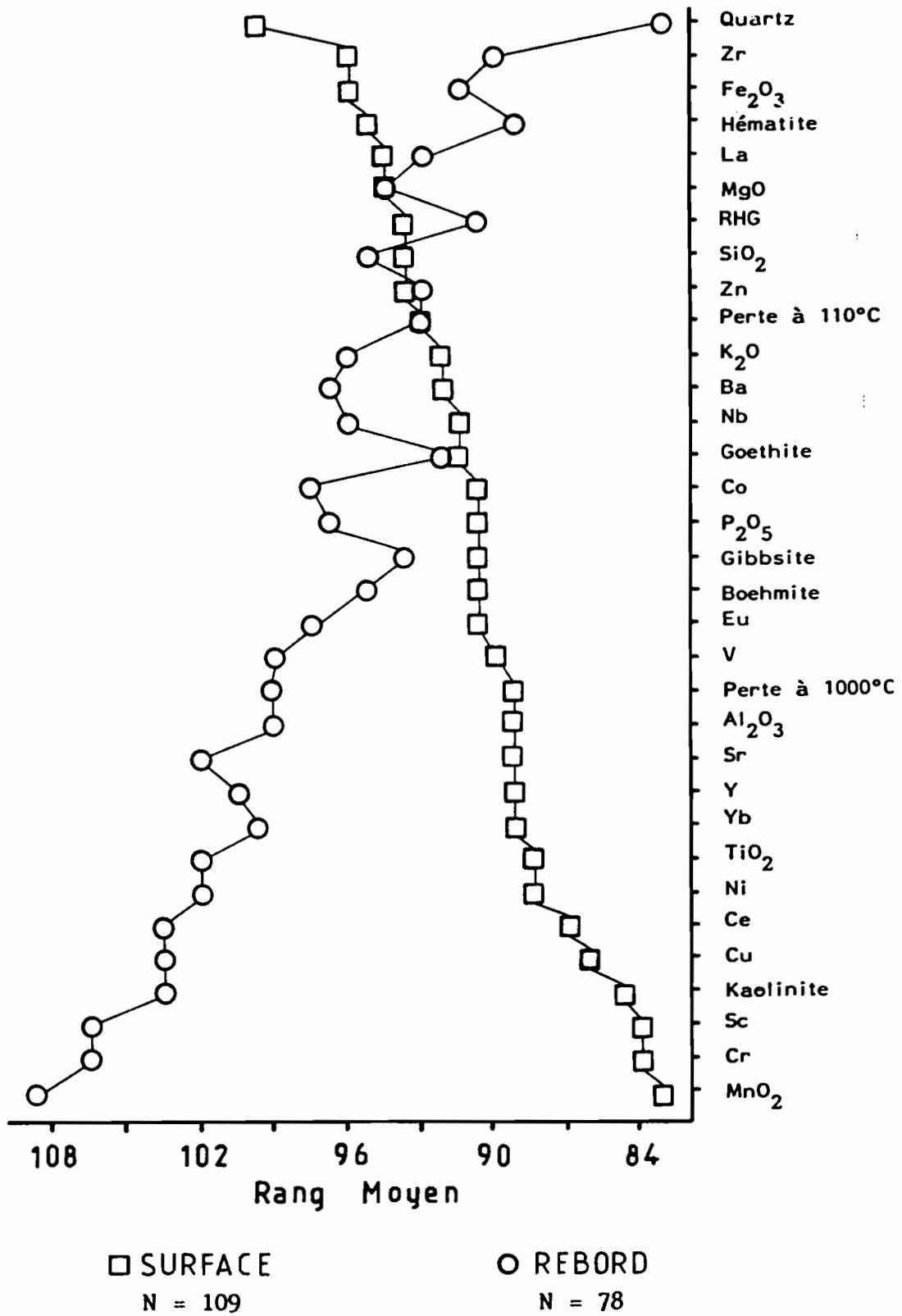


Fig. 31 - Comparaison des rangs moyens des teneurs des éléments pour les prélèvements de surface et de rebord de cuirasse.

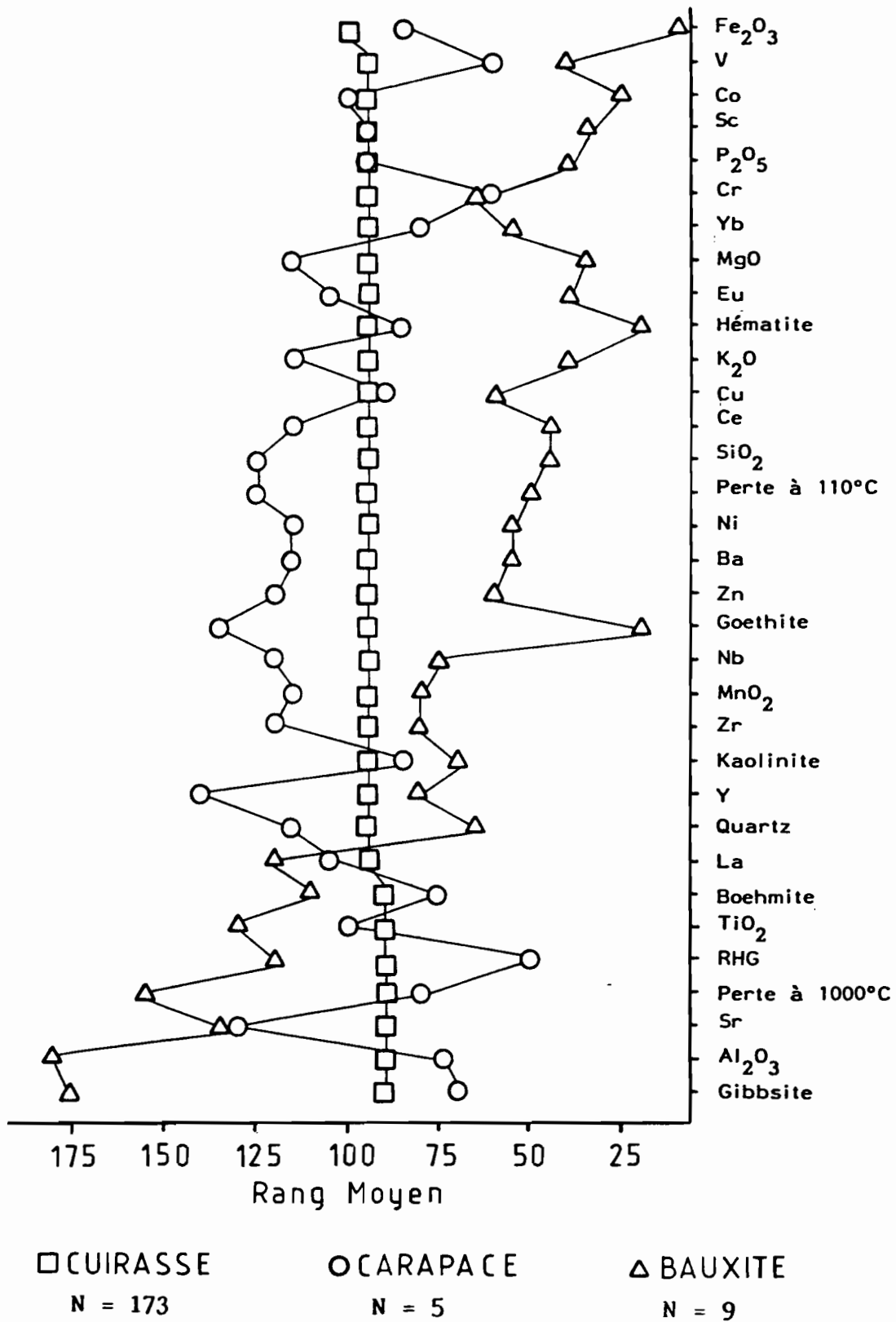


Fig. 32 - Comparaison des rangs moyens des teneurs des éléments pour les trois types de formations échantillonnées : cuirasses s.s., carapaces et bauxites.

Le strontium est l'un des seuls éléments que l'on retrouve avec des teneurs relativement élevées, aussi bien dans les carapaces que dans les bauxites, ce qui est surprenant pour cet élément réputé

D. ASSOCIATIONS GEOCHIMIQUES ET MINERALOGIQUES

Les associations entre éléments et minéraux sont décrites à partir de la matrice de corrélation (tabl. XVIII), suivant la méthode de détermination des groupes à intercorrélations positives proposée par Y. Besnus et Ch. Mosser (1976), en adoptant un seuil de corrélation de 0,2. Les associations ainsi définies sont regroupées par familles (tabl. XX) et ordonnées à partir des facteurs déterminés par l'analyse en Composantes Principales après rotation orthogonale VARIMAX (tabl. XIX).

Le facteur 1 traduit le contraste de concentration entre les cuirasses alumineuses à tendance bauxitique et les cuirasses ferrifères.

Le facteur 2 indique que les cuirasses à goéthite abondante sont également plus riches en P, Co, Zn, Cu, Ni.

Le facteur 3 caractérise une association d'éléments traces V, Cr, Sc, Ce, Yb, Eu, faiblement associés avec la kaolinite (V) ou avec la goéthite (Ce-Sc).

Le facteur 4 regroupe une majorité d'éléments alcalins (K) et alcalino-terreux (Mg, Sr, Ba) avec la silice et l'yttrium, il dénote une meilleure préservation du stock primaire des minéraux silicatés (feldspaths, micas ...) dans certains échantillons.

Le facteur 5 marque une différenciation des cuirasses pauvres en hématite mais riches en goéthite, quartz et minéraux lourds tels que le zircon (Zr, Y).

Le facteur 6 représente également une association d'éléments peu mobiles (Zr, Y et Ti) généralement retenus ensemble dans la phase à minéraux lourds (zircons, rutile, ...), mais situés cette fois dans des cuirasses pauvres en goéthite. Ce facteur, comme le précédent correspond à des échantillons dont l'humidité, mesurée par la perte en eau au séchage à 110° C, est plus élevée.

Le facteur 7 reflète une différenciation des cuirasses bauxitiques, caractérisée par une accumulation en boémite, titane et lanthane. L'yttrium et le zirconium paraissent également corrélés à ce facteur mais à un faible degré.

Le facteur 8 correspond à l'association Cr, Sc, Cu, Ni légèrement liée à la kaolinite par le chrome et le scandium et qui marque sans doute un faciès de cuirasse sur roche mère à caractère basique.

Le facteur 9 est caractéristique des phénomènes de coprécipitation de cobalt, baryum et nickel avec les oxydes de manganèse.

On voit donc, par cette étude des associations géochimiques que la différenciation des cuirasses de la région de Kangaba présente des tendances assez variées. La répartition géographique de ces pôles de différenciation sera examinée sur les cartes de distribution des éléments et des minéraux.

Tableau XVIII - Matrice de corrélations des éléments et des minéraux dans les cuirasses de Kangaba.

	SI02	AL203	FE203	MGO	CAO	NA2O	K2O	MNO2	P2O5	TIO2	P110	P1000	SOM
SI02	1.00	-0.44	-0.18	0.42	-0.04	0.08	-0.34	-0.02	-0.18	-0.14	-0.30	-0.47	0.02
AL203	-0.44	1.00	-0.79	0.41	-0.08	-0.14	0.34	-0.09	-0.25	-0.55	-0.35	-0.82	-0.17
FE203	-0.18	-0.79	1.00	0.19	0.09	0.12	0.17	-0.08	-0.03	-0.45	0.08	-0.59	0.23
MGO	0.42	0.41	0.19	1.00	0.01	0.18	0.85	0.08	-0.03	-0.15	0.28	-0.50	-0.20
CAO	-0.04	-0.08	0.09	0.01	1.00	0.01	0.01	-0.03	-0.00	-0.11	-0.13	-0.03	-0.03
NA2O	0.05	-0.14	0.12	0.18	0.01	1.00	0.00	-0.03	-0.07	-0.14	-0.02	-0.18	-0.05
K2O	0.34	-0.34	0.17	0.85	-0.01	0.00	1.00	0.04	-0.10	-0.18	0.08	-0.45	-0.15
MNO2	0.02	-0.09	0.06	0.08	-0.03	-0.03	0.08	1.00	0.05	-0.01	0.15	-0.08	-0.07
P2O5	-0.18	-0.25	-0.35	-0.03	-0.00	-0.07	-0.10	0.05	1.00	-0.21	0.20	-0.07	-0.12
TIO2	-0.14	-0.55	-0.45	-0.15	-0.11	-0.14	-0.18	0.01	-0.07	1.00	0.02	-0.30	-0.07
P110	-0.30	-0.25	-0.08	-0.28	-0.13	-0.02	-0.08	0.15	0.20	0.02	1.00	-0.23	-0.17
P1000	-0.47	-0.82	-0.67	-0.50	-0.03	-0.18	-0.45	-0.08	-0.07	-0.30	-0.23	1.00	-0.13
SOM	0.02	-0.17	0.23	0.20	-0.03	-0.05	0.15	-0.07	0.12	-0.07	-0.17	-0.13	1.00
SR	-0.06	-0.01	0.04	0.21	0.13	0.77	0.35	-0.06	-0.02	-0.13	-0.19	-0.06	-0.10
BA	-0.27	-0.27	0.13	0.77	0.09	0.31	0.67	-0.33	-0.12	-0.16	-0.00	-0.37	-0.03
V	-0.07	-0.16	0.24	0.03	0.15	-0.13	0.04	-0.15	-0.12	-0.04	-0.17	-0.19	-0.08
NI	-0.05	-0.20	0.21	0.03	-0.07	-0.07	-0.08	0.10	0.50	-0.12	0.16	-0.04	0.05
CO	-0.15	-0.38	0.28	0.19	-0.08	-0.02	-0.08	-0.45	0.39	-0.17	0.30	-0.23	0.05
CR	-0.16	-0.03	0.06	0.18	0.09	-0.16	-0.18	-0.01	0.12	0.11	-0.05	0.04	-0.21
ZN	-0.24	-0.28	0.44	-0.04	0.09	-0.07	-0.05	0.05	0.53	-0.34	0.02	-0.15	0.09
CU	-0.01	-0.32	0.30	0.06	0.18	0.00	0.03	0.14	0.12	-0.34	-0.01	-0.13	-0.01
SC	-0.25	-0.21	0.47	0.11	0.13	0.02	-0.03	0.02	0.19	-0.18	-0.25	-0.11	-0.10
Y	-0.27	-0.03	0.15	0.34	0.16	-0.03	0.27	0.14	0.09	0.38	0.27	-0.08	0.07
ZR	-0.43	0.07	-0.27	0.13	0.10	-0.10	-0.08	0.09	-0.07	0.50	0.51	-0.08	0.07
LA	-0.22	-0.21	-0.09	-0.14	-0.02	-0.04	-0.15	0.07	0.10	-0.17	-0.08	-0.20	-0.02
CE	-0.05	-0.20	0.23	0.01	0.17	-0.11	0.01	0.10	0.08	0.47	-0.23	-0.18	-0.13
EU	-0.09	-0.07	0.10	-0.08	0.09	-0.13	-0.01	-0.07	-0.02	-0.14	-0.18	-0.02	-0.24
YB	0.01	-0.11	-0.12	-0.05	-0.20	-0.17	-0.06	-0.12	-0.09	0.15	-0.11	-0.15	-0.18
LU	-0.01	0.15	-0.14	-0.07	-0.05	-0.09	-0.11	0.09	-0.12	0.02	0.14	-0.08	-0.10
NB	0.00	0.13	-0.14	-0.12	-0.17	-0.14	-0.20	-0.03	0.13	0.39	0.28	0.07	-0.08

	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	LA	CE	EU	YB	LU	NB
SI02	-0.06	0.27	-0.07	-0.08	0.15	-0.16	-0.24	-0.01	-0.25	0.27	0.33	-0.22	-0.05	-0.09	0.01	-0.01	0.00
AL203	0.01	0.27	-0.16	-0.20	0.38	0.03	-0.26	-0.32	-0.21	-0.03	-0.07	-0.20	-0.23	-0.07	-0.11	-0.15	0.13
FE203	0.04	0.13	0.24	0.21	0.18	-0.08	0.44	0.30	0.37	0.15	0.27	-0.08	0.01	-0.10	0.12	-0.14	-0.12
MGO	0.21	0.77	0.03	0.03	0.48	-0.18	-0.04	0.32	0.11	-0.34	-0.13	-0.14	-0.01	-0.08	0.05	-0.07	-0.14
CAO	0.13	0.09	0.18	-0.07	-0.08	0.09	0.18	0.13	0.18	-0.10	-0.10	-0.02	0.17	-0.08	0.20	-0.05	-0.17
NA2O	0.77	0.31	-0.13	-0.07	-0.02	-0.18	0.07	0.00	0.02	-0.00	-0.10	-0.04	-0.13	-0.11	-0.17	-0.09	-0.14
K2O	0.35	0.87	-0.04	-0.08	0.05	-0.18	0.05	0.03	0.27	0.14	0.05	-0.15	0.01	-0.00	0.06	-0.11	-0.20
MNO2	0.06	0.33	0.15	0.10	0.45	0.01	0.05	0.14	0.02	0.07	0.09	0.07	0.10	0.00	-0.09	0.07	-0.03
P2O5	0.02	0.12	-0.12	0.50	0.11	-0.12	0.53	0.34	0.15	0.08	-0.07	-0.05	-0.06	-0.12	-0.12	0.09	0.13
TIO2	-0.13	0.16	-0.04	-0.17	0.17	0.11	0.32	-0.15	-0.18	0.38	0.30	0.47	-0.14	-0.02	-0.15	0.02	0.39
P110	-0.19	0.00	-0.17	0.18	0.30	-0.05	-0.02	-0.01	-0.25	0.27	0.31	-0.08	-0.23	-0.18	-0.11	0.14	0.28
P1000	0.08	0.37	-0.08	-0.04	0.23	-0.04	-0.15	-0.13	-0.11	-0.08	-0.08	-0.20	-0.13	-0.02	-0.15	-0.10	-0.07
SOM	0.00	0.45	0.09	0.05	0.05	-0.21	0.09	0.01	-0.11	0.07	-0.22	-0.02	0.03	-0.08	-0.13	-0.04	-0.21
SR	0.00	0.00	-0.07	-0.01	-0.03	-0.15	-0.04	-0.03	0.08	0.03	-0.06	-0.11	0.13	-0.07	-0.13	-0.11	-0.25
BA	0.27	0.00	0.09	-0.08	0.12	0.14	-0.04	0.01	0.01	-0.06	-0.11	-0.08	0.08	0.08	0.04	-0.09	-0.11
V	0.07	0.09	0.00	0.15	0.12	0.30	0.14	0.01	0.28	0.06	-0.13	-0.08	0.05	-0.07	0.08	-0.08	-0.11
NI	-0.01	-0.08	-0.15	0.00	0.51	0.03	0.32	0.02	0.36	-0.01	-0.14	-0.08	0.11	0.05	-0.18	-0.02	0.01
CO	-0.03	0.17	-0.12	0.21	0.00	0.08	0.08	0.20	0.02	0.09	-0.10	-0.01	0.11	0.08	0.18	-0.02	0.10
CR	-0.15	0.14	0.30	0.01	0.06	0.00	0.03	0.00	0.42	0.00	-0.03	0.01	0.29	-0.18	0.33	-0.02	-0.10
ZN	-0.09	-0.04	-0.14	0.13	0.38	0.00	0.02	0.00	0.24	-0.02	-0.31	-0.04	0.03	-0.06	0.18	-0.03	-0.13
CU	-0.03	0.01	-0.01	0.23	0.00	0.42	0.00	-0.01	0.47	-0.01	-0.44	-0.04	0.05	0.02	0.02	-0.03	-0.18
SC	0.08	0.01	0.38	0.42	0.02	0.51	0.02	0.24	0.47	0.23	0.59	0.05	-0.43	-0.21	0.27	-0.08	-0.24
Y	-0.03	0.28	-0.08	0.01	0.20	-0.05	-0.02	-0.01	-0.23	0.00	0.24	-0.00	-0.00	-0.01	0.00	0.04	0.15
ZR	-0.22	-0.13	-0.14	-0.14	0.10	-0.03	0.31	-0.34	-0.44	0.59	0.00	0.19	-0.18	-0.04	0.00	0.09	0.45
LA	0.02	-0.11	0.08	0.03	-0.01	0.00	0.04	-0.04	0.05	0.24	0.00	0.19	0.03	0.00	0.00	-0.01	0.18
CE	0.03	0.17	0.09	0.05	0.11	0.29	0.03	0.05	0.03	-0.00	-0.16	0.03	1.00	0.45	0.67	-0.04	-0.08
EU	-0.06	0.07	0.06	-0.18	0.06	0.18	-0.06	0.02	0.25	-0.01	-0.04	0.00	-0.04	-0.04	0.00	-0.04	0.12
YB	-0.13	0.08	-0.04	-0.15	-0.01	0.33	-0.16	0.02	0.27	0.26	0.13	0.00	-0.07	-0.07	-0.01	1.00	0.26
LU	-0.04	-0.11	-0.08	-0.08	-0.02	0.02	-0.09	-0.03	-0.04	-0.04	0.09	0.01	-0.04	-0.04	-0.01	0.00	0.09
NB	-0.21	-0.25	-0.11	0.01	0.10	0.10	-0.13	-0.18	-0.24	0.16	0.45	0.15	-0.08	0.12	0.09	0.28	1.00

	QUAR	KADL	GIBB	BOEH	GOET	HEMA	RHG
SI02	0.85	-0.18	-0.44	-0.27	0.08	-0.23	-0.30
AL203	0.26	-0.08	-0.82	-0.38	-0.52	0.31	-0.35
FE203	-0.17	-0.00	-0.63	-0.17	0.45	0.28	-0.12
MGO	0.31	-0.02	-0.41	-0.10	0.04	-0.21	-0.03
CAO	-0.07	-0.00	-0.05	-0.04	0.16	0.01	-0.05
NA2O	0.01	-0.08	-0.15	-0.06	0.01	0.27	0.08
K2O	0.17	0.11	-0.38	-0.10	0.02	0.22	0.01
MNO2	0.11	-0.22	-0.04	-0.01	0.17	-0.00	-0.15
P2O5	0.00	-0.28	-0.14	-0.08	0.45	-0.02	-0.32
TIO2	-0.05	-0.02	-0.35	0.44	-0.39	-0.11	-0.24
P110	-0.42	-0.14	-0.21	0.00	0.11	-0.10	-0.19
P1000	-0.23	-0.18	-0.81	0.21	-0.23	-0.46	0.09
SOM	-0.10	0.01	-0.08	-0.00	-0.11	0.27	0.19
SR	0.10	0.07	-0.33	-0.12	0.00	0.28	0.08
BA	0.10	0.07	-0.33	-0.12	0.00	0.28	0.08
V	-0.26	-0.30	-0.22	-0.10	0.01	-0.23	0.07
NI	-0.02	-0.04	-0.08	-0.10	0.00	0.12	-0.31
CO	0.24	-0.18	-0.24	-0.10	0.30	-0.12	-0.35
CR	-0.23	-0.19	-0.04	-0.01	0.00	-0.07	-0.15
ZN	-0.10	-0.21	-0.12	-0.03	0.14	-0.06	-0.24
CU	0.00	-0.02	-0.22	-0.13	0.00	-0.21	-0.48
SC	0.40	-0.18	-0.16	-0.04	0.13	0.33	-0.18
Y	0.41	-0.28	-0.05	0.00	0.14	0.17	-0.25
ZR	0.14	-0.20	-0.04	0.15	0.04	-0.14	-0.08
LA	-0.07	-0.21	-0.18	0.34	-0.03	-0.02	0.04
CE	-0.14	-0.10	-0.12	0.32	0.07	0.00	-0.17
EU	0.17	0.09	0.06	0.18	0.06	0.10	0.01
YB	-0.08	0.17	-0.04	0.08	0.00	-0.06	-0.07
LU	0.07	-0.01	0.12	0.01	0.10	0.10	-0.03
NB	0.00	-0.39	-0.09	0.09	-0.03	-0.18	0.03
QUAR	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KADL	-0.23	1.00	0.30	0.25	-0.25	-0.38	-0.18
GIBB	0.30	0.30	1.00	0.68	0.26	0.29	0.25
BOEH	-0.10	-0.25	-0.25	1.00	0.21	-0.08	0.18
GOET	0.10	0.45	0.26	0.21	1.00	0.24	0.22
HEMA	-0.32	0.08	0.38	0.08	0.24	1.00	0.52
RHG	-0.34	0.19	0.29	0.18	0.22	0.52	1.00

Tableau XIX - Analyse en Composantes Principales: matrice de corrélation factorielle après rotation.

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9
KAOL	-11	-34 *	7	12	-29	17	-44 *	82 *	-24
BOEH	12	-14	-16	-5	-8	0	72 *	3	-2
GIBB	85 *	-5	-9	-20	-16	-1	17	-15	2
GOET	-33 *	55 *	14	-14	39 *	-33 *	0	13	13
HEMA	-57 *	-10	6	22	-84 *	4	8	-24	2
QUAR	-13	0	-15	8	80 *	14	-8	-26	9
SI02	-27	-24	-10	24	69 *	15	-35 *	5	-2
AL2O3	85 *	-25	-9	-12	-20 *	10	28	-3	-7
MGO	-32 *	-4	-4	80 *	25	7	-8	-2	8
FE2O3	-81 *	37 *	15	-1	-28	-17	-1	-1	8
TIO2	32 *	-29	2	-3	-1	54 *	60 *	12	-1
K2O	-24	-8	1	66 *	13	-8	-8	-1	0
P1000	88 *	0	-5	-27	-10	-6	13	-4	-1
P110	-28	13	-24	-1	37 *	49 *	-2	-2	17
P2O5	-10	83 *	0	-9	-1	11	2	0	-1
SR	8	13	-6	82 *	-26	-19	4	-14	-16
BA	-16	-10	10	89 *	2	-11	-8	-3	27
V	-20	-18	82 *	1	-13	-8	-8	18	-18
NI	1	71 *	-18	5	-3	13	-10	40 *	11
CO	-14	53 *	3	12	16	21	-14	9	57 *
CR	1	9	27	-16	-7	8	9	76 *	3
ZN	-15	78 *	-9	-1	-14	-19	3	-3	0
CU	-12	43 *	-2	-3	21	-39 *	-4	56 *	13
SC	-16	23	32 *	-3	-24	-41 *	10	58 *	-1
Y	7	13	18	36 *	58 *	30 *	40 *	-10	4
ZR	-4	-19	0	-4	48 *	69 *	32 *	-14	8
LA	11	11	3	-3	-5	10	71 *	0	1
CE	-8	9	79 *	4	-3	-15	-3	13	8
EU	4	0	79 *	-4	-11	6	-13	-7	13
YB	-9	-13	91 *	3	11	11	8	15	-9
NB	9	9	5	-20	4	75 *	5	0	-3
MNO2	-2	2	0	7	4	-3	7	0	85 *

NOTE: PRINTED VALUES ARE MULTIPLIED BY 100 AND ROUNDED TO THE NEAREST INTEGER
VALUES GREATER THAN 0.292643 HAVE BEEN FLAGGED BY AN *.

Tableau XX - Associations géochimiques et minéralogiques définies par les groupes à intercorrélations positives et les facteurs de l'Analyse en Composantes Principales après rotation.

Groupes à intercorrélations positives	Facteurs de l'A.C.P.	% de variance expliquée
Al-Ti-Perte à 1000°C-Gibbsite-Boehmite	Facteur 1 positif: Perte à 1000°C-Al-Gibbsite-Ti	12%
Fe-V-Sc Fe-V-Hématite	Facteur 1 négatif: Fe-Goethite-Hématite	
Fe-P-Co-Zn-Cu-Ni-Goethite	Facteur 2: P-Zn-Ni-Co-Goethite-Cu-Fe	10%
V-Cr-Sc-Ce-Yb V-Kaolinite V-Sc-Ce-Eu-Yb Ce-Sc-Goethite	Facteur 3: Yb-Ce-Eu-V	10%
Si-Mg-K-Ba-Y Mg-K-Ba-Sr Na-K-Sr-Ba	Facteur 4: Ba-K-Mg-Sr	10%
Si-Mg-Y-Perte à 110°C-Quartz Si-Y-Perte à 110°C-Zr-Quartz	Facteur 5: Quartz-Si-Y-Zr-Goethite -Perte à 110°C <-> Hematite	9%
Ti-Y-Perte à 110°C-Zr-Quartz Ti-Nb-Zr Perte à 110°C-Nb	Facteur 6: Nb-Zr-Ti-Perte à 110°C- -Y <-> Sc-Cu-Goethite	8%
Ti-La-Boehmite	Facteur 7: Boehmite-La-Ti-Y-Zr	7%
Ni-Cr-Cu-Sc	Facteur 8: Cr-Sc-Cu-Kaolinite-Ni	6%
Mn-Ba Mn-Co Perte à 110°C-Co-Quartz	Facteur 9: Mn-Co-Ba	5%

E. CARTES DES TENEURS DES ELEMENTS ET DES MINERAUX DANS LES CUIRASSES

Sur les cartes géochimiques et minéralogiques figurant en annexe 4 de ce rapport, les échantillons ont été représentés par des cercles de taille proportionnelle à leur teneur. Cette méthode simple de cartographie, permet de bien localiser les teneurs les plus élevées. Elle montre aussi la variabilité locale importante des concentrations, qui reflète l'hétérogénéité des formations cuirassées affleurantes. Cet aspect, joint au morcellement de la couverture de prélèvements réalisée au cours de cette première campagne, gêne la perception des structures régionales. Cependant, une zonalité des teneurs se voit bien, notamment pour les minéraux, mais aussi pour certains éléments majeurs et traces. Ces grandes unités régionales des faciès minéralogiques et géochimiques des cuirasses sont représentées sur la carte synthétique de la figure 33. On distingue ainsi quatre types principaux de cuirasses : (1) alumineuses, (2) goéthitiques, (3) hématitiques, (4) quartzieuses.

1. Les cuirasses les plus alumineuses se rencontrent dans la moitié sud-ouest du secteur. Dans cette zone on observe un gradient de différenciation minéralogique correspondant à la succession d'Est en Ouest des trois faciès à kaolinite, gibbsite et boémite.

La bande de fortes teneurs en kaolinite, de 5 km de large environ, s'étend du Sud au Nord entre Guilingoué, Bagama, Arguinéla, Kofoulaté, sur sa bordure ouest, et Dioulafoundou, Bouloumbé, Diabani, Kodani et Sikaya sur sa bordure est. Elle recoupe l'extrémité orientale des plateaux de Banankoro et de la Dinkolé.

Les cuirasses à boémite se répartissent à l'Ouest de cette zone à kaolinite, depuis la partie occidentale du plateau de Banankoro au Sud, jusqu'aux reliefs de la région de Faboula au NW de Kofoulaté.

Les cuirasses à boémite sont également riches en gibbsite mais ce troisième faciès s'étend plus largement vers l'Est, notamment sur le plateau de la Dinkolé et au Sud vers Diélibougou et Dioulafoundou, sur les derniers plateaux cuirassés en rebord de la vallée du Niger.

2. La seconde unité, plus au Nord, correspond à l'échantillonnage effectué sur les plateaux situés de part et d'autre de la piste entre Kofoulaté et Kourémalé. Cette zone se distingue par de fortes teneurs en goéthite ; elle est également riche en manganèse ($MnO_2 > 0,1 \%$) et en éléments traces Cu, Ni, Cr, Sc indiquant un faciès géochimique à caractère plus basique.

3. La troisième unité se situe à l'opposé des précédentes, dans la partie nord-est du secteur. Elle s'étend depuis Tigan et Kobilani, à l'Est de Dagadamou, jusque dans la région de Béréa au Nord. Elle se caractérise par des teneurs élevées en hématite et en éléments alcalins terreux, Mg, K, B, Sr, Na. Cette différenciation est plus accentuée autour de Béréa, à la limite Nord-Est de l'échantillonnage. Au Sud de cette zone, l'échantillon 147 se distingue par des teneurs relativement élevées en boehmite et gibbsite.

4. Le quatrième ensemble correspond à une zone de relief bas, le long de la vallée du Niger et qui s'étale plus largement au centre dans la région de Dindéré et de Dagadamou. Dans cette zone, les cuirasses montrent fréquemment des teneurs en quartz plus élevées que dans les autres secteurs. Deux échantillons (n° 87 et 84) au Sud-Ouest de Kéniégoué présentent également de fortes teneurs (60 % environ) en goethite.

Les anomalies géochimiques en éléments traces sont assez largement dispersées parmi les quatre grands ensembles de cuirasses décrits ci-dessus et représentés sur la figure 33. Cependant, dans le cas du cuivre et du zinc les échantillons de teneur supérieure à 100 ppm se regroupent aussi sur quatre secteurs. La liste de ces valeurs anormales en cuivre et zinc figure dans le tableau XXI pour les quatre groupes.

Tableau XXI - Liste des échantillons à teneurs supérieures à 100 p.p.m. en zinc ou en cuivre, regroupés en 4 zones.

NOTR	INDR	ZN	CU	CR	V	NI	CO	MNO2	GOET	QUAR	
PML2	29204	146	81	974	1097	43	15	0.06	28	8	I
PML6	29209	41	102	911	580	58	18	0.03	29	15	
PML32	30209	71	209	92	112	66	10	0.02	28	38	
PML37 1	30214	320	27	110	297	193	23	0.05	48	0	
PML39 1	30215	308	68	291	267	92	17	0.07	0	0	
PML48 2	29235	23	129	3523	868	40	5	0.03	37	2	
PML49 2	30224	284	199	1669	517	348	48	0.03	51	0	
PML58 2	30270	135	101	611	510	85	15	0.05	36	0	
PML91	29252	127	27	598	585	74	16	0.03	20	0	
PML93	30300	276	26	424	454	144	20	0.02	41	0	
PML94	30301	67	269	1955	854	91	10	0.03	13	0	II
PML102	29258	130	41	815	931	76	27	0.03	15	1	
PML112	29267	113	52	1077	983	22	18	0.10	32	5	III
PML122	29274	136	240	2038	1282	28	10	0.03	76	2	
PML123 1	29275	153	186	762	511	61	20	0.25	71	2	IV
PML125 1	30455	58	115	2669	823	86	19	0.08	28	23	
PML125 2	30456	75	265	1943	801	68	17	0.05	55	3	
PML128	30459	121	223	1937	994	130	28	0.08	36	0	
PML129	30460	109	129	2709	825	116	33	0.11	28	3	
PML131	30462	62	161	4727	1937	101	22	0.05	35	3	
PML132	29299	103	64	1095	728	96	8	0.08	27	8	IV
PML150 1	29308	158	100	233	311	27	18	0.02	18	7	

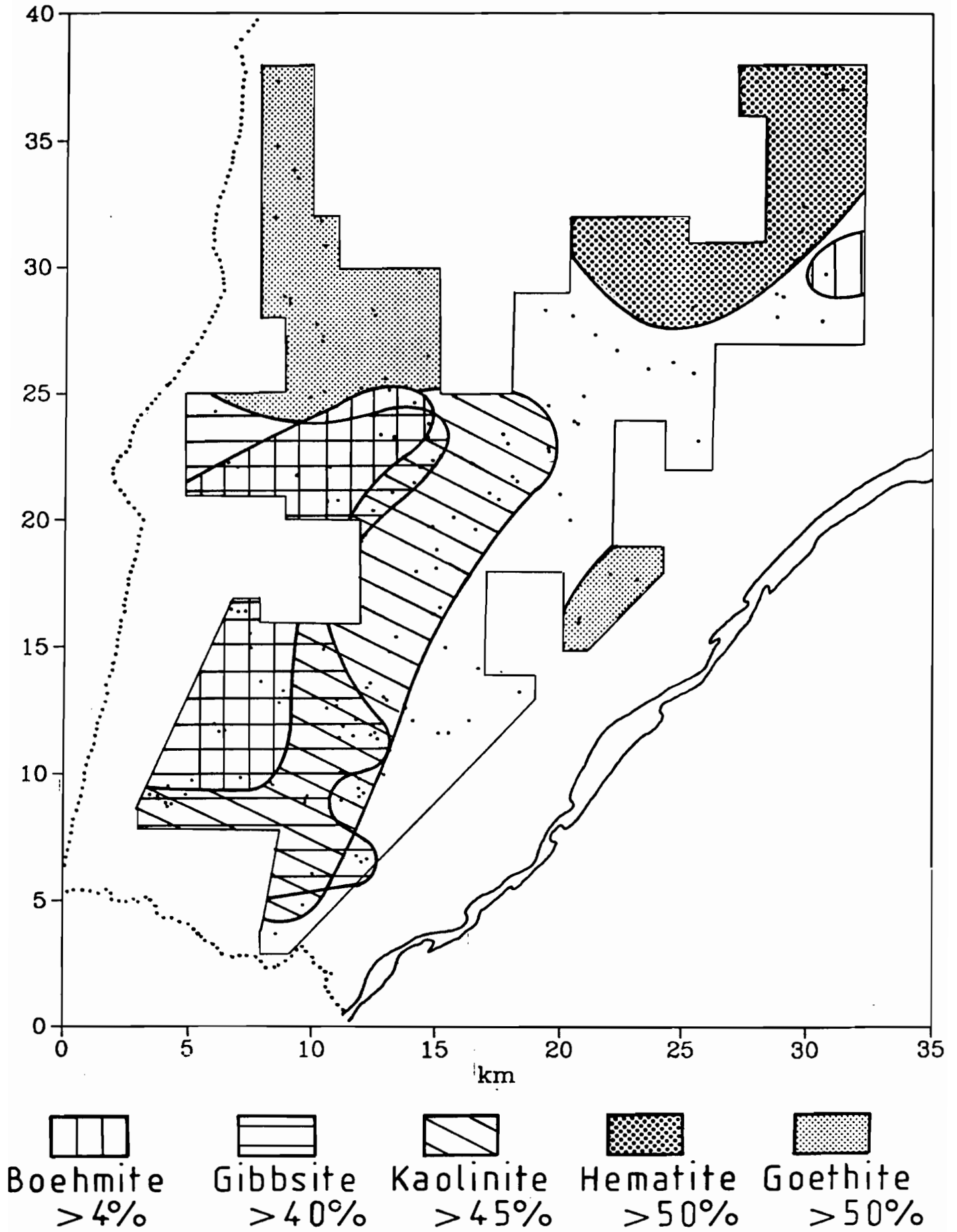


Fig. 33 - Carte de synthèse des faciès minéralogiques et géochimiques des cuirasses de la région de Kangaba.

Le groupe I correspond à 8 points anormaux répartis sur le secteur de Banankoro. Les échantillons n° 2 et 6 marquent la minéralisation principale de Banankoro et de la Dinkolé. Les échantillons 48 et 49 situés au Nord de la Dinkolé, près de Bagama se distinguent par un environnement plus basique indiqué par de fortes teneurs en Cr, Ni et Co. Vers l'Ouest les échantillons 37 et 39 correspondent à des anomalies en zinc ($Zn > 300$ ppm) qui peuvent être exaltées par les phénomènes de coprécipitation sur les minéraux manganésifères assez abondants. En revanche, le caractère filonien de l'anomalie en cuivre de l'échantillon 32 est souligné par les teneurs élevées en quartz.

Les anomalies en cuivre de ce secteur ne sont pas isolées, elles sont entourées par d'autres échantillons à teneurs relativement élevées, compris entre 60 et 100 ppm, notamment dans la partie Est autour des minéralisations connues de Banankoro et de la Dinkolé. Ce secteur se distingue aussi très bien par un groupe de points à fortes valeurs en europium ($Eu > 7$ ppm) dont la signification n'est pas encore connue.

Les anomalies du groupe II correspondent aux trois échantillons 91, 93 et 94, à l'Est de Kofoulaté dans le domaine des cuirasses riches en kaolinite, et à l'échantillon 102 un peu plus au Nord en limite de la zone à gibbsite et boehmite.

Les anomalies du groupe III se situent, au Nord de Kofoulaté, dans le secteur des cuirasses riches en goethite, dont le caractère basique est marqué par de fortes teneurs en chrome, nickel et manganèse. Dans un tel contexte, le quartz que l'on observe dans la plupart des échantillons, serait plutôt d'origine filonienne.

Le groupe IV ne comporte en fait qu'une seule anomalie isolée mais bien contrastée et située dans la partie est, au Sud de Béréa (n° 150).

III - CONCLUSIONS

Les cartes géochimiques et minéralogiques réalisées à l'échelle régionale sur le district de Kangaba et à une échelle plus détaillée sur le prospect de Dagadamou, montrent bien le mode de distribution des éléments dans le paysage latéritique. L'influence du relief est très nette et joue à la fois au niveau de la topographie locale et régionale. Elle reflète les différences de comportement des éléments, décrites par de nombreux auteurs sur des toposéquences de profils d'altérations latéritiques. On observe ici, un gradient de différenciation depuis les cuirasses bauxitiques des sommets les plus élevés, à boehmite et gibbsite et qui passent à des faciès plus riches en kaolinite ou en hématite lorsque l'on descend vers les cuirasses basses où se concentrent davantage la goethite, le quartz et les éléments les plus mobiles.

Les études morphologiques à partir des photos aériennes et des images de télédétection montrent aussi que les cuirasses alumineuses correspondent

à une zone de hauts plateaux où les entailles du réseau hydrographique forment des talus d'érosion bien marqués.

Sur le prospect de Dagadamou, l'effet du relief se marque davantage par le contraste entre les dépôts sablo-argileux très siliceux qui s'accumulent dans les vallées et les dépressions des plateaux cuirassés. Cet enrichissement en quartz et minéraux lourds est maximum au pied des buttes cuirassées. On l'observe aussi de façon moins prononcée dans les cuirasses basses de la région de Kangaba, où il correspond peut-être à une contamination par infiltration des matériaux détritiques superficiels fins.

Le relief apparaît donc, comme le facteur le plus évident de différenciation de la couverture d'altération latéritique, mais il ne rend pas compte de toutes les variations de teneurs observées. Ainsi, par exemple, l'hématite qui s'accumule dans les cuirasses évoluées, est cependant présente en fortes teneurs avec les éléments alcalins et alcalino-terreux dans les cuirasses de la région de Béréa au NE de la zone échantillonnée.

De nombreux autres types de différenciation des cuirasses sont distingués sur les cartes des teneurs et par la diversité des associations géochimiques, minéralogiques. Un problème essentiel pour l'interprétation de ces faciès d'altération est de faire la part entre les caractères hérités du substratum et ceux qui sont acquis au cours de l'évolution complexe de ces formations latéritiques. Deux démarches complémentaires semblent s'imposer pour progresser dans cette interprétation :

(1) L'extension de la couverture d'échantillonnage vers le Nord est nécessaire pour mieux délimiter les grandes unités régionales des faciès cuirassés qui se dessinent sur les cartes de teneurs établies à partir de cette première campagne de prélèvement. La reconnaissance de ces unités et de leur lithodépendance facilitera la recherche des structures géologiques du substratum.

(2) Des études plus détaillées sur le terrain et en laboratoire autour des anomalies géochimiques les plus contrastées, notamment en cuivre et zinc, préciseraient leur signification géologique et leur relation éventuelle avec une minéralisation primaire.

CHAPITRE V

MORPHOSCOPIE ET GEOCHIMIE DE L'OR ELUVIAL DANS LES LATERITES

Le but de cette étude est d'observer l'évolution des formes des grains d'or ainsi que leur chimie, depuis les filons porteurs de la minéralisation jusque dans la cuirasse. A partir de 200 échantillons gros volumes prélevés dans différents horizons latéritiques, nous avons pu recueillir 2000 paillettes dont 500 ont été sélectionnées et décrites sous binoculaire ou au Microscope Electronique à Balayage (MEB).

I - PRELEVEMENT ET PREPARATION DES ECHANTILLONS

La minéralisation aurifère est portée par des filons de quartz sub-verticaux discordants par rapport aux schistes birrimiens. Le quartz filonien étant très résistant à l'altération, il ne commence à être altéré que dans les horizons supérieurs du profil, pour se trouver complètement démantelé dans la cuirasse. L'or n'est réellement exposé à l'altération latéritique que dans les argiles bariolées ou tachetées et dans la cuirasse. C'est pourquoi, les échantillons ont été classés en 3 catégories reflétant le degré d'altération de la minéralisation et le type d'horizon : filons de quartz (situés dans la lithomarge kaolinique), horizons argileux (argiles bariolées et tachetées) et cuirasse.

Les échantillons ont été prélevés à intervalles réguliers dans des puits creusés dans la latérite. Pour récupérer suffisamment d'or visible, il a été nécessaire de prélever des gros volumes d'environ 40 kg et de les traiter de la manière suivante :

- broyage léger de l'échantillon ;
- lavage à la batée et récupération des concentrés ;
- séparation de la fraction lourde par liqueurs denses ;
- séparation de la fraction lourde non-paramagnétique ;
- tri à la loupe binoculaire.

Les paillettes ont été décrites à la loupe binoculaire ou au MEB. Les analyses chimiques des grains d'or ont été réalisées à la microsonde électronique CAMEBAX à partir de sections polies.

II - ETUDE STATISTIQUE DE LA MORPHOSCOPIE DES PAILLETES

L'étude des paillettes est menée à la fois à l'échelle de l'individu et à l'échelle des populations contenues dans les 3 catégories d'échantillons. Chacune des populations est caractérisée d'abord par sa granulométrie. Les paillettes sont mesurées sous binoculaire à l'aide d'un micromètre.

Dans un deuxième temps, une analyse morphoscopique est menée en décrivant successivement :

- la forme générale des paillettes (6 catégories ont été définies) ;
- la forme du contour ;
- l'éroussé des grains ;
- l'éclat des faces ;
- l'état de la surface.

Exemple de fiche morphoscopique établie pour chaque paillette.

n° échantillon :

n° paillette :

type d'échantillon : - 1 filon de quartz
- 2 horizon argileux
- 3 cuirasse

forme générale : - 1 polygonale - 2 ovale - 3 étoilée
- 4 allongée - 5 patatoïde - 6 sphérique

contour : - 1 régulier - 2 irrégulier - 3 déchiqueté

éclat : - 1 mat - 2 brillant

éroussé : - 1 nul - 2 moyen - 3 important

état des faces : - 1 xénomorphes - 2 automorphes
- 3 avec dépressions - 4 arrondies

A. LES RESULTATS

1. La granulométrie

L'analyse granulométrique fait apparaître de fortes variations de la taille des grains en fonction des différents horizons (fig. 34).

Dans les filons de quartz, la granulométrie est relativement hétérogène et plusieurs grains dépassent 1 mm. 60 % de la population se situe entre 450 et 1700 μ .

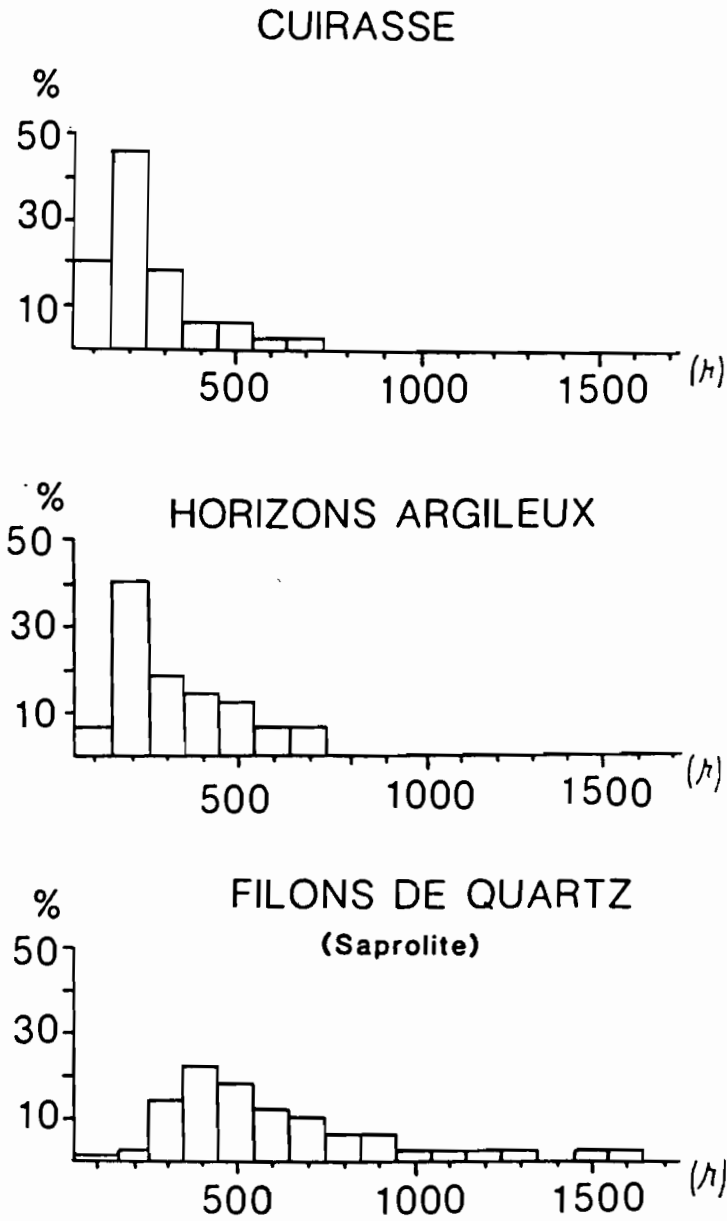


Fig. 34 - Granulométrie des paillettes d'or en fonction des horizon

Dans les horizons argileux, la granulométrie s'étale entre 100 et 750 μ avec un maximum à 200 μ . 25 % de la population se situe entre 450 et 750 μ .

Dans les cuirasses, la granulométrie tend à devenir plus homogène avec 85 % de la population inférieure à 300 μ .

L'examen des moyennes (Tabl. XXII indique une diminution progressive de la taille des paillettes de la lithomarge kaolinique où les filons sont intacts vers la cuirasse.

Tableau XXII

Granulométrie moyenne des paillettes
en fonction des horizons

	N	moyennes	écarts types
filons de quartz	138	600	306
horizons argileux	115	319	152
cuirasses	151	242	124

2. Les formes et les éclats

Les autres critères morphoscopiques indiquent également des variations de la forme des grains.

Dans les filons de quartz, les formes des paillettes sont principalement polygonales ou patatoïdes. Le contour des grains est plutôt déchiqueté ou irrégulier. L'éclat des faces est brillant. On observe deux types de faces, soit xénomorphe, soit à dépressions.

Les paillettes provenant des argiles bariolées ou tachetées présentent des caractéristiques différentes de celles provenant du protore. Les grains prennent des formes plutôt polygonales et les contours sont irréguliers, en revanche de nombreux grains ont un éclat mat. Plusieurs particules présentent des faces arrondies.

Dans la cuirasse, cette évolution morphoscopique se poursuit et les formes générales sont polygonales ou ovales. Les grains ont un éclat mat et des contours réguliers. Les faces sont essentiellement arrondies.

Ces variations morphoscopiques s'accompagnent d'une augmentation

progressive de l'émoissé. Dans les filons, l'émoissé est nul ; la fréquence des grains présentant des traces d'émoissé croît régulièrement et atteint 87 % dans la cuirasse (Fig. 35).

3. Analyse multivariée

a) Généralités

Les résultats statistiques précédents peuvent être synthétisés à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances multiples pour mettre en évidence les corrélations entre les différents critères morphoscopiques et définir certaines formes types de paillettes.

L'analyse factorielle des correspondances multiples est essentiellement un mode de représentation graphique de tri croisés de variables qualitatives. Elle vise à rassembler en un ou plusieurs graphes, la plus grande partie possible de l'information contenue dans un tableau de données, en s'attachant non pas aux valeurs absolues comme dans le paragraphe précédent, mais aux correspondances entre les différents caractères.

b) Interprétation de l'analyse

Le facteur 1 est représentatif de l'altération latéritique, il oppose les grains provenant de filons de quartz à ceux de la cuirasse. Les horizons argileux correspondant à un stade intermédiaire sans tendance véritable, figurent au centre du graphe. Dans les filons, les formes types sont patatoïdes ou allongées, le contour des paillettes est déchiqueté, l'éclat est brillant et l'émoissé est nul. Les faces présentent des petites dépressions, il n'y a pas de faces arrondies.

Dans les cuirasses, les formes sont généralement ovales, le contour est régulier, l'émoissé est important, l'éclat est mat et les faces sont arrondies (Fig. 36).

Le facteur 2 oppose de formes polygonales et xénomorphes aux formes étoilées souvent déchiquetées. Ces critères morphoscopiques sont représentatifs de formes primaires non émoissées observées dans les filons ou dans les horizons argileux.

4. Conclusion

La granulométrie des paillettes tend à s'homogénéiser et leur taille moyenne diminue avec l'avancement de l'altération. Ces phénomènes s'accompagnent de variations morphoscopiques importantes. Dans les filons, deux morphologies de particules dominent :

- des grains xénomorphes, de forme polygonale ;
- des particules de forme plutôt étoilées au contour déchiqueté avec des dépressions en surface.

La morphologie des paillettes se modifie au cours de l'altération, pour tendre vers des formes arrondies au contour régulier avec un émoissé

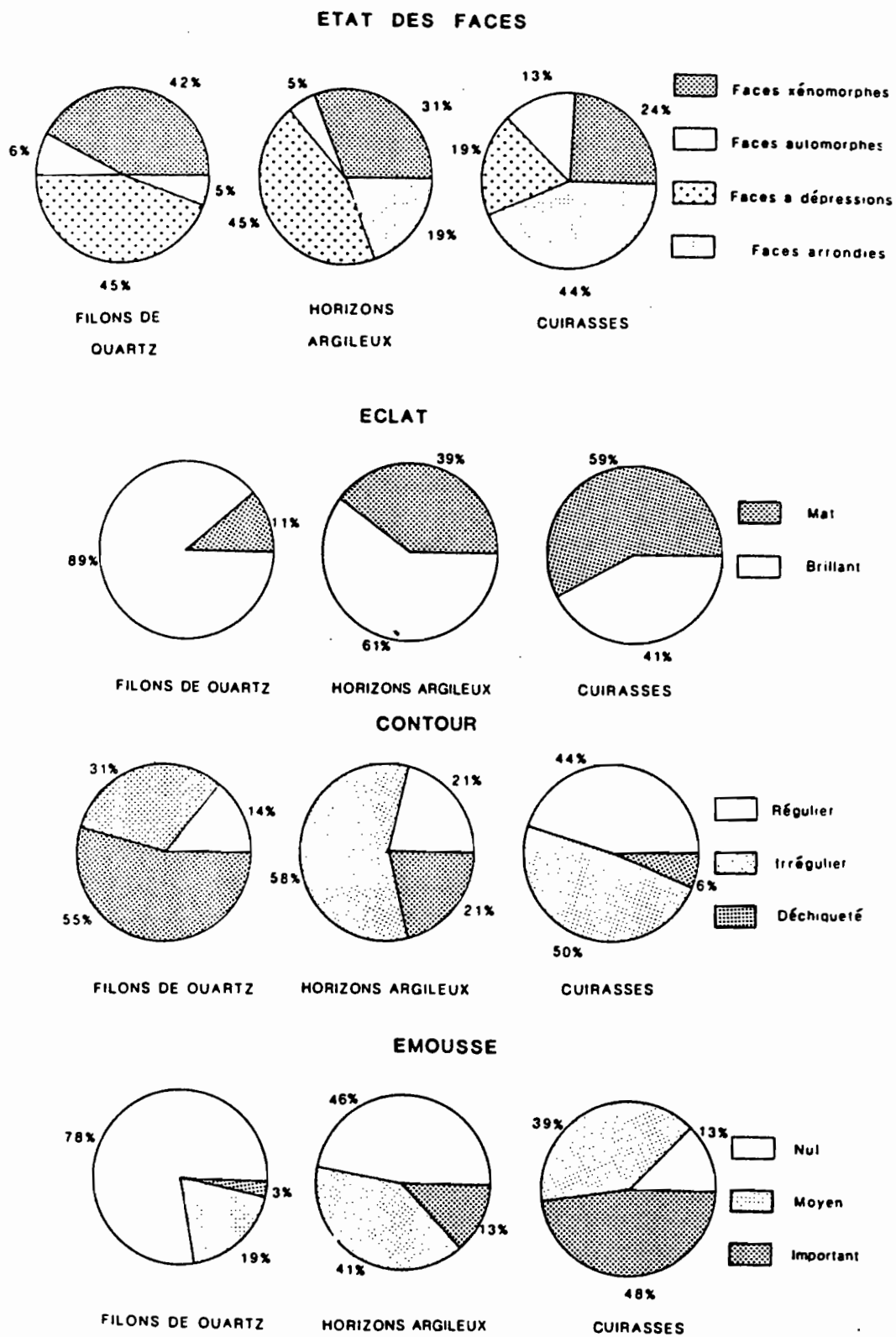


Fig. 35 - Evolution morphoscopique des paillettes provenant des filons de quartz, des horizons argileux et des cuirasses.

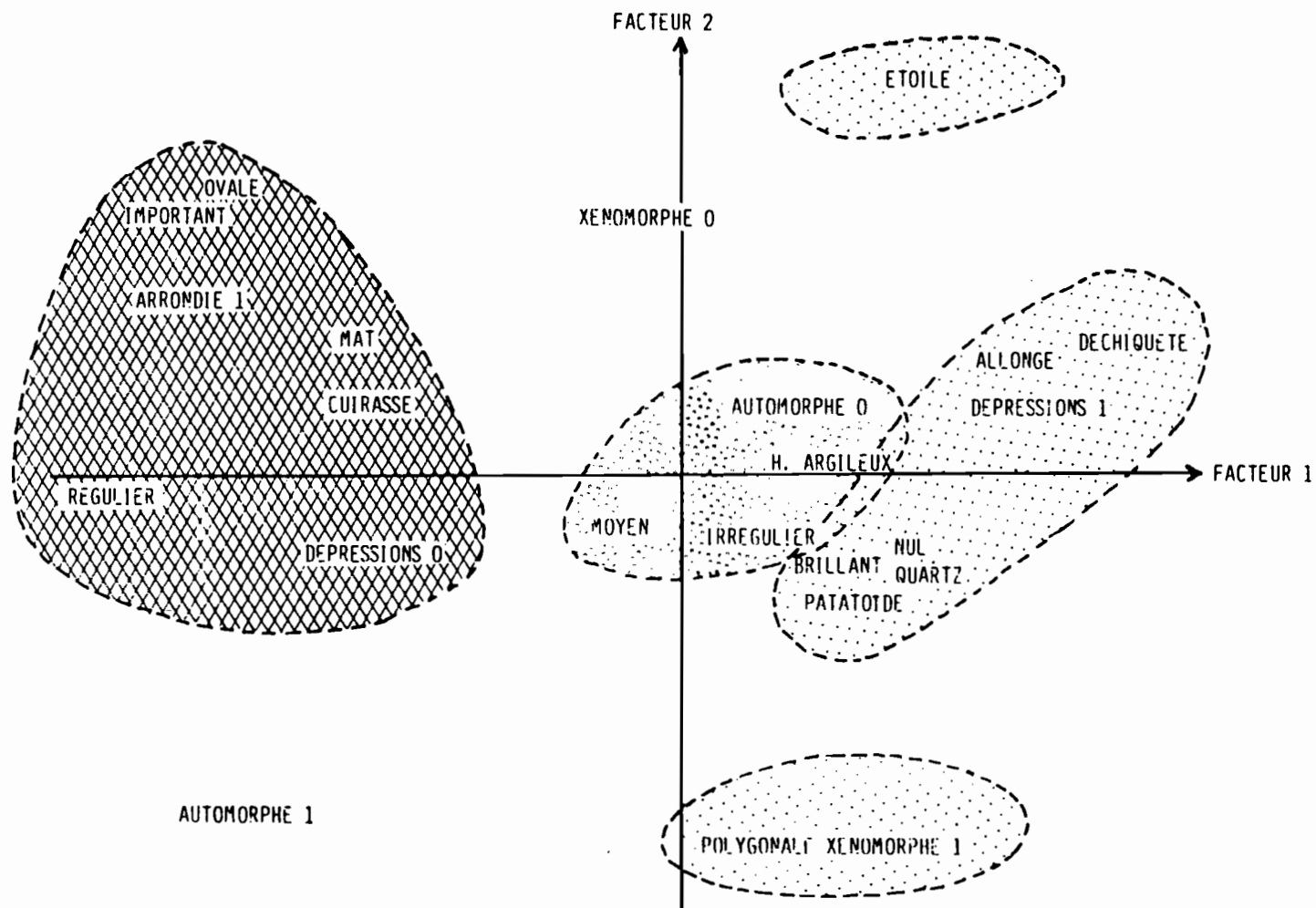


Fig. 36 - Analyse factorielle des Correspondances Multiples des caractères morphoscopiques des paillettes d'or. Représentation du plan factoriel F1-F2.
 Les types de faces sont codées 0 pour absence et 1 pour présence.

important. Les horizons argileux représentent un stade intermédiaire regroupant toutes les formes décrites dans les deux catégories précédentes.

III - CARACTERES EXOSCOPIQUES DES PAILLETES D'OR

Au cours de l'étude exoscopique, on s'attache surtout à suivre la disparition des formes primitives (stries d'accrétions, figures cristallines originelles, ...) et l'acquisition de formes secondaires liées à l'évolution supergène des paillettes (déformations mécaniques, recristallisations, ...).

Cet examen va de pair avec l'analyse de la composition des paillettes au moyen d'un détecteur TRACOR couplé au MEB. Seule la partie externe est analysée. Pour connaître la composition de l'intérieur de la paillette et ses variations, on a réalisé des sections polies qui ont été analysées à la microsonde électronique.

A. MORPHOSCOPIE DES FORMES PRIMITIVES

L'étude au MEB de la surface des particules confirme les observations sous binoculaire. Les grains aux contours déchiquetés ont des formes "spongieuses" avec de nombreux diverticules qui sont caractéristiques des morphologies d'or en milieu sulfuré.

Les grains xénomorphes présentent souvent des empreintes négatives de stries d'accrétion des quartz environnants. On observe également des faces cristallines automorphes avec des figures de croissance.

Les faces sont lisses, même à fort grossissement ce qui donne cet éclat brillant sous la loupe. La surface des paillettes est fréquemment recouverte par des placages de matériel argilo-ferrugineux.

La composition chimique des particules est relativement constante avec 5 à 10 % d'Ag, on dose également des traces de Fe, S, Ni et Cu. Certaines paillettes contiennent des inclusions de plomb.

B. INFLUENCE DE L'ALTERATION LATERITIQUE SUR LES PAILLETES

Sur les faces des grains émoussés, on observe de nombreux golfes de corrosion ce qui crée l'éclat mat des grains. Les diverticules des formes "spongieuses" disparaissent progressivement vers le haut du profil pour donner des formes arrondies aux paillettes dans la cuirasse. Il s'agit

d'un phénomène d'éroussé chimique. En section polie, les golfes de corrosion sont relativement profonds et constituent un réseau de "pores" remplis de matériel argilo-ferrugineux.

Parallèlement à ces observations sur la dissolution de l'or, plusieurs preuves de reprecipitations ont été mises en évidence : la taille de l'or néoformé est micronique et généralement associée au matériel latéritique ; il se présente sous différentes formes (planches photographique 5, 6 et 7) :

- Dendrites tapissant les cavités installées dans les oxydes de fer.
- Membranes microniques développées entre les parois des golfes de corrosion des paillettes.
- Microglobules associés à la matrice argilo-ferrugineuse.
- Développement d'un cortex d'or néoformé autour des grains primaires ayant subi un éroussé chimique important et remplissage de cavités.

L'or néoformé se distingue également de l'or primaire par son chimisme, car il est totalement dépourvu d'Ag ou d'autre métaux.

IV - CONCLUSION

Le comportement de l'or dans les latérites de Kangaba présente certaines analogies avec celui de l'or alluvial, comme par exemple, le développement d'un éroussé (HERAIL, 1984) mécanique dans les placers et chimique dans les latérites, ou la perte d'argent en bordure des grains (DESBOROUGH, 1970 ; HALBAUER et al., 1977).

Le phénomène de dissolution de l'or débute dans les argiles tachetées et s'accroît nettement dans la cuirasse où 87 % des grains présentent des traces d'éroussé. La quantité d'or remobilisé semble importante si l'on se réfère à la différence de taille moyenne des particules provenant de filons (600 μ) et de cuirasses (250 μ).

De tels processus ont déjà été mis en évidence pour les latérites australiennes (MANN, 1984 ; WEBSTER and MANN, 1984) ou au Brésil (EVANS, 1981).

L'or mis en solution va reprecipiter sous différentes formes microniques associées au matériel latéritique et sa composition chimique va se modifier, car l'or secondaire est en général d'une grande finesse (Fig. 37). Ces processus de dissolution-reprecipitation liés à la latéritisation ont sans doute pour effet de disperser l'or, principalement dans la cuirasse. Il s'agit d'un phénomène intéressant en prospection géochimique, car la latéritisation va jouer un rôle de dispersant chimique de l'or et peut créer des halos géochimiques en forme de champignons dans la cuirasse ferrugineuse et les horizons argileux.

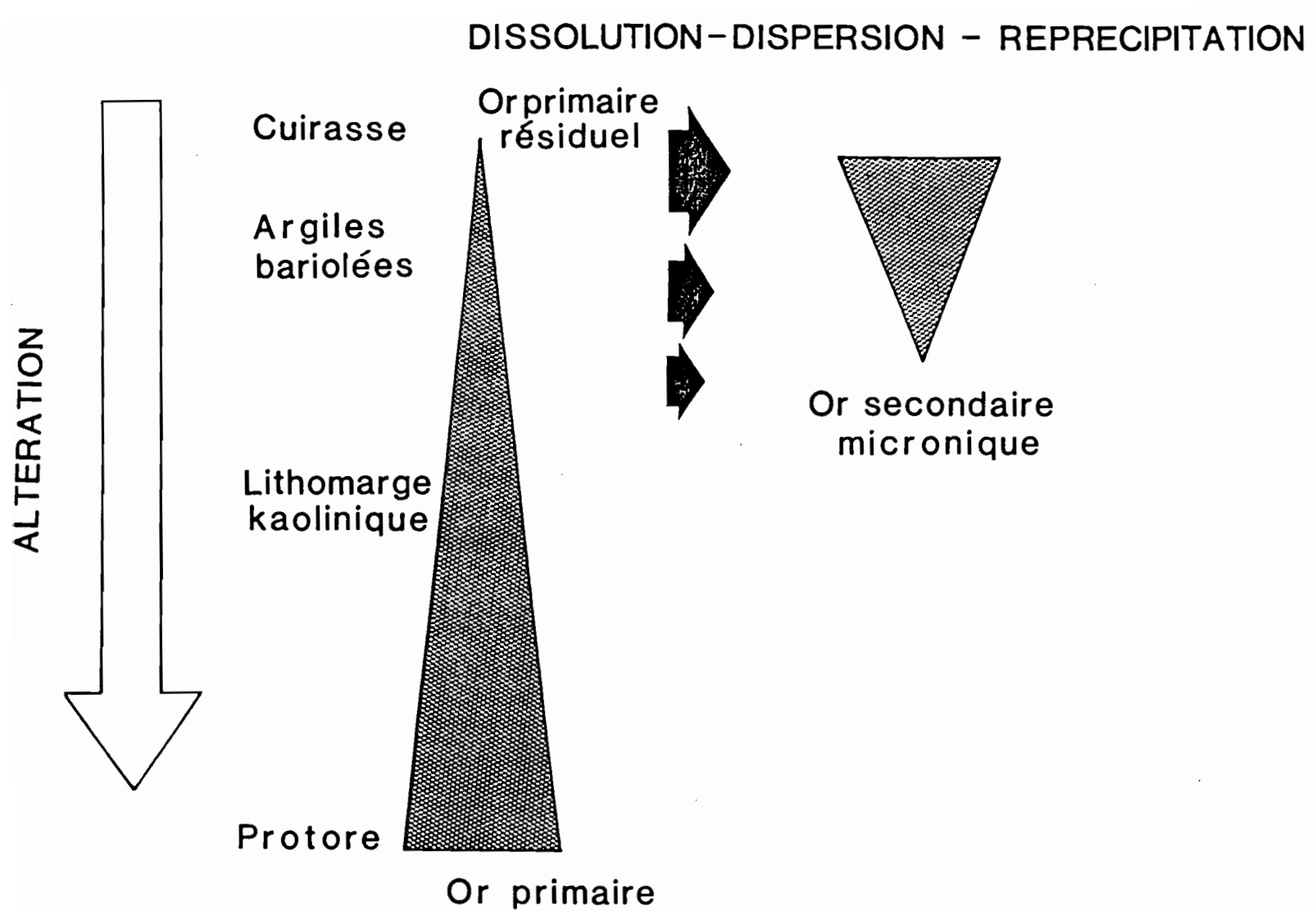


Fig. 37 - Schéma d'évolution de l'or dans un profil latéritique.

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE L'ETUDE

CONCLUSIONS GENERALES

Dans la région de Kangaba beaucoup a été fait dans la connaissance des cuirasses mais beaucoup reste à faire.

Ainsi, une carte morphologique régionale au 1/50.000e a été dressée. Deux morphologies caractéristiques de plateaux cuirassés ont été reconnues et sur chacune d'entre-elles une zone test a été choisie. La première à Banankoro, où les plateaux à cuirasse épaisse sont très découpés et à rebords formant talus. La deuxième à Dagadamou où l'on observe des croupes arrondies, faiblement pentées, sans rebords marqués. Les raisons de ces différences, bien que mal connues, paraissent liées à des variations lithologiques.

Les interprétations des images satellitaires SPOT sont en cours de réalisation et les contrôles radiométriques sur le terrain devraient faciliter la cartographie des terrains cuirassés.

Les différents types de cuirasses, rencontrés en surface, ont été étudiés, puis classés en fonction de leur position dans un profil type, en partant de la base, c'est-à-dire des faciès les plus récents, et en allant vers le sommet, où se trouvent les faciès les plus anciens, rajeunis par une série de transformations caractérisées par une importante goethitisation, puis gibbsitisation, puis kaolinitisation. Chacun de ces phénomènes est accompagné par son cortège d'éléments traces provenant, grosso modo, de la dissolution de matériaux situés au-dessus, ce qui risque d'altérer l'image géochimique des roches dont dérivent les cuirasses.

Les résultats obtenus permettent de répondre à deux grandes questions que se posent les géologues chargés de la prospection minière dans les régions cuirassées. Les profils sont-ils formés sur place ? Oui, pour la très grande partie d'entre eux, ce qui signifie que la prospection géochimique en surface est utile, sauf dans de très rares cas, sur des cuirasses de berges de marigots où il y a doute sur l'autochtonie des matériaux. Quels sont les faciès les plus favorables pour la prospection ? Bien sûr, les faciès les plus jeunes mais aussi, parmi les anciens, les moins rajeunis, les moins transformés, c'est-à-dire les faciès riches en hématite violette formés en premier ou ceux provenant de l'altération de matériel filonien.

Une bonne connaissance des différents faciès cuirassés est donc indispensable et cette connaissance doit être diffusée, ce qui a été en partie réalisé en formant des stagiaires au laboratoire.

Dans ces cuirasses, une importante quantité d'or est dissoute, comme le montrent les variations de la forme des paillettes dans les différents niveaux des profils, mais, cet or reprécipite dans le voisinage sous forme de très petits grains. Ainsi, la latéritisation va disperser l'or, tout en diminuant la taille de ses grains, deux facteurs très importants pour la prospection géochimique.

Les corrélations entre minéraux et éléments ont permis de caractériser des associations géochimiques liées à des variations, de la lithologie et du faciès des cuirasses.

Les cartes à l'échelle régionale montrent que le relief est le facteur le plus évident de la différenciation de la couverture latéritique. Il n'est pas le seul, car il n'explique pas, par exemple, les anomalies en cuivre, zinc et europium. Des associations minéralogiques et géochimiques correspondent à des différenciations régionales de faciès cuirassés, peut-être liées à la géologie du substratum. La délimitation de ces grandes unités régionales serait facilitée par l'extension de la couverture d'échantillonnage vers le Nord, alors que seul un travail détaillé autour des anomalies de cuivre, zinc et europium permettrait d'en comprendre la signification géologique.

PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE L'ETUDE

Deux régions nous paraissent intéressantes pour l'extension possible de ce travail (Fig. 38).

- La région de la Fié, d'une superficie de 400 km², est limitée par le Niger, la Fié et la Guinée. Une campagne de prospection semi-tactique, puis de sondages doit y démarrer bientôt. Elle possède, pour nous, les caractères intéressants suivants :

- * un cuirassement souvent très épais ;
- * des roches saines, différentes et plus apparentes que celle de Kangaba ;
- * une anomalie énorme en arsenic accompagnée de nombreuses petites anomalies en Or.

Nous voyons donc que, dans une zone proche de celle étudiée actuellement, il sera possible de trouver de nombreux profils cuirassés qui risquent d'être en partie différents de ceux rencontrés jusqu'ici, suite à une lithologie différente, cela dans un contexte favorable à l'étude de la dispersion de l'arsenic et de l'or.

- La région au Nord de Kangaba, d'une surface de 1600 km², forme un quadrilatère qui va de Kourémalé à Soumbarala (à 36 km au NW de Kourémalé) et de Kangaba à Digidala (à 34 km au N de Kangaba). Cette région complète vers le Nord celle déjà étudiée à l'Ouest de Kangaba jusqu'aux premiers plateaux des monts Mandingues (Famansa et

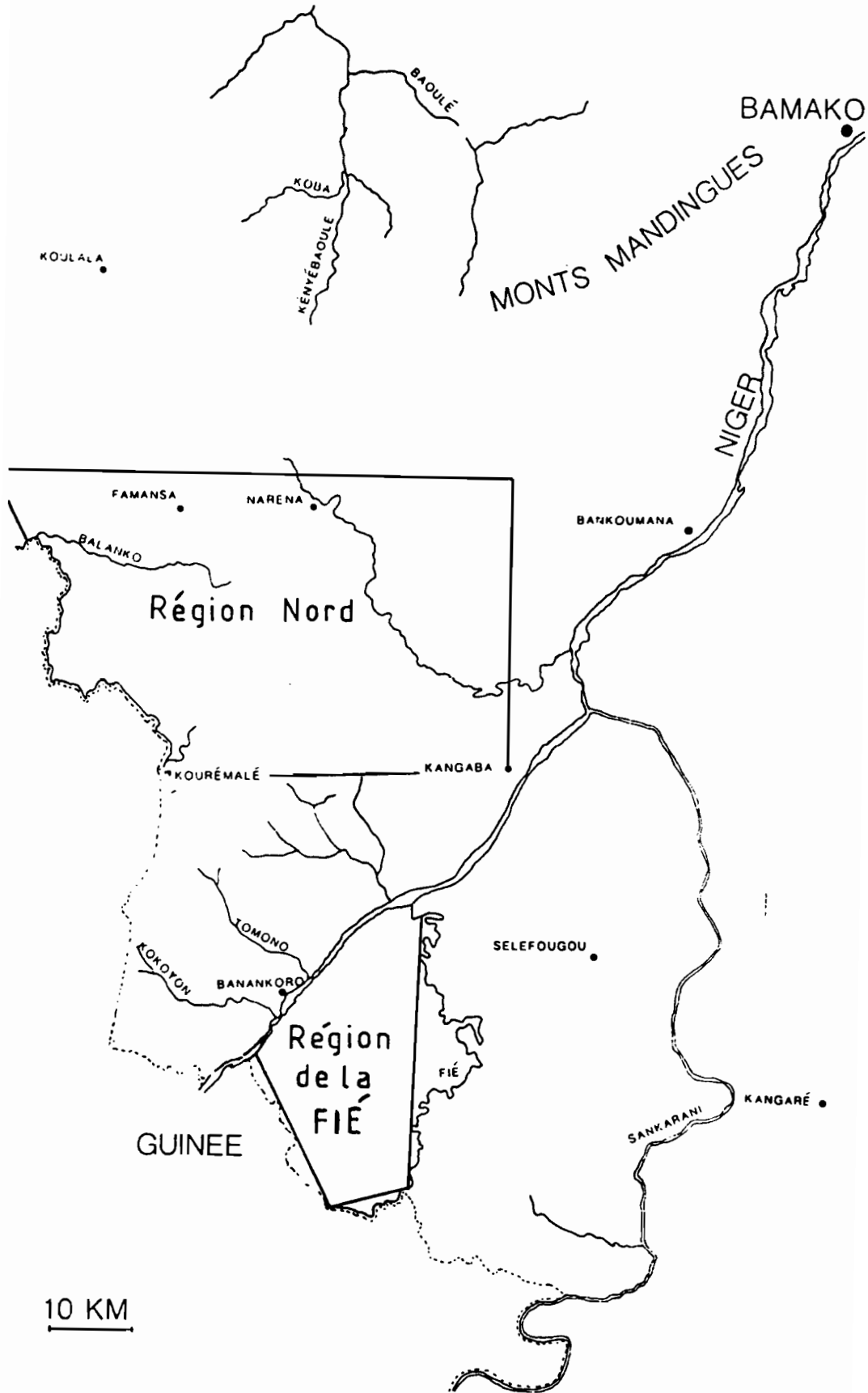


Fig. 38 - Régions proposées pour l'extension du projet.

Sélofarakourou). Ses caractères particuliers sont les suivants :

* sa morphologie différente de celle de Kangaba, représentée par un ensemble cuirassé relativement plat, parsemé de buttes témoins, venant buter contre les rebords fortement pentés des monts Mandingues bauxitisés;

* la diversité des roches que l'on y trouve, dolérite, grès, schistes, granodiorites ;

* la présence d'indice d'or dans la région de Balankoumana.

Nous voyons que cette région s'avère particulièrement intéressante, pour développer notre connaissance des faciès cuirassés formés sur roches mères variées, et pour étudier les relations entre cuirasses différentes comme les bauxitiques et les ferrugineuses, situées dans un contexte morphologique différent de celui observé au Sud.

Les recherches dans ces régions impliquent :

- un échantillonnage du matériel de surface, et son étude au laboratoire, pétrographie, minéralogie et géochimie ;
- une étude géophysique de certaines zones, afin de connaître les épaisseurs des différents faciès d'altération. Une campagne de sondages magnéto-telluriques vient de commencer ;
- un travail de restitution et d'interprétation d'images satellitaires utilisant toutes les possibilités de SPOT et THEMATIC MAPPER ;
- des mesures radiométriques sur des matériaux latéritiques, tant en laboratoire que sur le terrain;
- le suivi et l'étude de carottes de sondages ;
- le développement du programme de recherches sur l'or, avec une reconnaissance complète des placers de Kangaba, de la région Nord et de Kobada du côté de la Fié, et une étude détaillée de laboratoire portant sur les réactions de l'or à l'interface cuirasse-plasma argileux, cuirasse-sol.

Le travail, ainsi fait, doit se traduire par la création de cartes minéralogiques, pétrographiques, géochimiques, géophysiques, morphologiques, accompagnées de leurs interprétations. Sur le plan pratique, ces recherches sont destinées à la mise au point d'un modèle devant aider à la prospection de l'or et d'autres éléments utiles en zone cuirassée.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBROSI J.P. (1984) - Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques cuirassés ferrugineux de la région de Diouga , BURKINA FASO .
Thèse 3^e cycle , Poitiers, 209p .
- AUBREVILLE A. (1949) -Climats,forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. Edit. Marit. Colon.,Paris, 351 p.
- BASSOT J.P.,TRAORE H. (1980) -Le gisement d'or de Kalana,(République du MALI). Chr.Rech. Min.,457,pp 5-18.
- BESNUS Y.et MOSSER Ch.(1976) - Les groupes à intercorrélations positives : une méthode statistique pour déterminer la répartition des éléments chimiques entre les phases constitutives d'une roche. C.R.Acad.Sc.Paris,283-D, pp 587-590.
- BESSELES B. (1977) -Géologie de l'Afrique. Le craton ouest africain. Mém. B.R.G.M.,88, 402 p.
- BLACK R. (1967) - Sur l'ordonnance des chaines métamorphiques en Afrique Occidentale. Chron. Mines, 364, pp 225-238.
- BONHOMME M. (1962) -Contribution à l'étude géochronologique de la plateforme ouest africaine. Ann. Fac. Sci. Clermont Ferrand, 5, 62 p.
- BOULANGE B. (1984) -Les formations bauxitiques latéritiques de COTE D'IVOIRE. Travaux et documents, O.R.S.T.O.M.,Paris, 363 p.
- BOULET R. (1970) -La géomorphologie et les principaux types de sols en HAUTE VOLTA NORD. Cah. O.R.S.T.O.M.,Sér. Pédologie, 8, pp 245-272.
- BUCHSTEIN M., CISSE S., SISSOKO I. (1973) -Recherches géologiques et minières dans la région de Bougouni-Sikasso-Yanfolila.Rapp.B.R.G.M., Fr.,ref. 73 DAK 001, 111 p. (inédit).
- CASES J.M.,LIETARD U.,YVON J.,DELON J.F. (1982) -Etude des propriétés cristallochimiques, morphologiques et superficielles de kaolinites désordonnées.Bull.Minéral.,105, pp 439-455.
- COTTARD P.,DOMMANGET A.,KEITA M.,ZEEGERS H. (1981) -Prospection d'or, district de Kangaba.Campagne 1979-80.Rapp.B.R.G.M.,ref.81 RDM 003 AF (inédit).
- COTTARD P.,DOMMANGET A.et KEITA M. (1981) Prospection aurifère sur le permis Kéniéba-Kangaba. Campagne 1980-81. Rapp. B.R.G.M., 81 RDM 058 AF, (inédit).
- DANDJINO T. (1986) -SUBTIL-Logiciel de traitement d'images numérisées basé sur SPIDER et UNIRAS.Centre Calcul CNRS,Strasbourg,47p,multigr.
- DAVEAU S. (1962) -Principaux types de paysages morphologiques des plaines et plateaux soudanais de l'Afrique de l'Ouest. Inform. Géogr.,2, pp 61-72.
- DAVEAU S.,LAMOTTE M.,ROUGERIE R. (1962) -Cuirrasses et chaines birrimiennes en HAUTE VOLTA.Ann. Géogr.,387, pp 460-482.
- DARS R. (1961) - Les formations sédimentaires et les dolérites du Soudan Occidental (Afrique de l'Ouest).Mém. B.R.G.M., 12, 328 p.
- DESBOROUGH G.A. (1970) -Silver depletion indicated by microanalysis of gold from placer occurrence,Western United States.Econ.Geol., 65,pp 304-311.
- DOMMANGET A.,DIALLO M.,GUILLOUX L. (1985) -Un nouveau type de gisement d'or: Loulo (MALI). Chr. Rech. Min., 481, pp 5-18.
- DRESH J. (1953) -Plaines soudanaises.Rev. Géomorphol. dynam.,1, pp 39-44.
- EVANS D.L. (1981) -Lateritisation as a possible contributor to gold placers. Eng. Mining. J., 182, 8, pp 86-91.
- FOUCAULT A.,RAOULT J.-F. (1980) -Dictionnaire de géologie. Masson,Paris,331 p.

- FREYSSINET Ph. (1985) -Etude préliminaire des formations latéritiques de Kangaba (Sud-Mali).Mém.D.E.A.,ULP Strasbourg, 66 p ,multigr.
- GRANDIN G. (1976) -Aplanissements cuirassés et enrichissements des gisements de manganèse.Mém.O.R.S.T.O.M.,Paris,82, 268 p.
- GOLOUBINOW R. (1950) -Notice de la carte géologique de Bougouni Ouest au 1/500000.Gouv. Gén. Afr. Occ. Fr.,Dakar,NC 29. NE-O 27 .
- HALBAUER D. K. and UTTER T. (1977) -Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent rivers and the fossil placer of Witwatersrand. Min. Dep., 12, pp 293-306.
- HERAIL G. (1984) -Géomorphologie et géologie de l'or détritique. Piemonts et bassins intramontagneux du NW de l'ESPAGNE. CNRS Ed., Toulouse,456 p.
- JUNNER N.R. (1952) -Notes on the classification of the Precambrian of West Africa.Congr.Géol.Intern.,Alger, 20, pp 114-117.
- LEPRUN J.C. (1979) -Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Genèse - Transformation - Dégradation. Mém. Sci. Géol., 58, 224 p .
- LEROUX M. (1983) -Le climat de l'Afrique Tropicale. Champion Ed., Paris,633 p.
- LIETARD O. (1977) -Contribution à l'étude des propriétés physicochimiques, cristallographiques et morphologiques des kaolins. Thèse Sci., Inst. Nation. Polytechn. Lorraine, Nancy, 322 p.
- MANN A.W. (1984) -Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles. Some observations from Western Australia . Econ. Geol., 39, pp 38-49.
- MCFARLANE M.J. (1983) -Laterites in " Chemical sediments and geomorphology : precipitates and residua in the near surface environment " . Goudie and Pye Ed.,Academic Press, London,pp 7-58.
- MICHEL P. (1969) -Les fleuves du Sénégal et de la Gambie. Etude géomorphologique. Mém. O.R.S.T.O.M.,63, 752 p .
- NAHON D. (1976) -Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal Occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. Mém. Sci. Géol.,44, 232 p.
- PION J.C. (1979) -L'altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale sèche. Etude de quelques toposéquences en HAUTE VOLTA. Mém. Sci. Géol., 57, 220 p .
- RICHARD MOLLARD J. (1949) -L'Afrique Occidentale Française. Berger-Levrault Ed.
- ROCCI G.(1965) -Essai d'interprétation de mesures géochronologiques. La structure de l'Ouest Africain. Coll. Intern. CNRS, Géochronologie Absolue,Nancy, 151, pp 257-273
- ROCQUES M.(1948)-Le Précambrien de l'Afrique Occidentale Française. Bull. Soc. Géol. Fr.,5° sér., 18, pp 589-628.
- ROQUIN C., DANDJINOU T.,FREYSSINET Ph.,PION J.C. et TARDY Y.(1987)- Premiers résultats de cartographie des couvertures latéritiques par images SPOT, région de Dagadamou (Sud-Mali). C. R. Acad. Sci.Paris, t 304, sér.II, n°8, pp 321-326.

- SAMUEL J., ROUAULT R. et BESNUS Y. (1985) -Analyse multiélémentaire standardisée des matériaux géologiques en spectrométrie d'émission par plasma à couplage inductif. *Analisis*, 13, 7, pp 312-317.
- SPINDLER J.P. (1962) -Carte géologique de reconnaissance à 1/500000, feuille de Bougouni-Est, D.N.G.M., Bamako, MALI .
- THERA E. (1984) -Rapport de stage "Projet latérites". Etude pétrologique et géochimique des cuirasses de Kénieba, Kangaba et Bougouni Sikasso. C.S.G.S., Strasbourg, 53 p., multigr.
- VOGT J. (1968) -Etude de l'alluvionnement en HAUTE VOLTA. Rapp. B.R.G.M., 68 ABI. BOB. (inédit).
- WEBSTER J.G. and MANN A.W. (1984) -The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. *J. Geochem. Expl.*, 22, pp 21-42.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

PLANCHE 1.

Photo 1:

Région de Mansaya, à l'Ouest de Kangaba. Morphologie à relief contrasté, les plateaux cuirassés ont des pendages importants, des rebords bien marqués et sont limités par des talus non cuirassés.

Photo 2:

Rebord de plateau à faible dénivelé. Entaille en "marche d'escalier".

Photo 3:

Plateau de Banankoro, incliné en pente douce vers le Kokoyon.

Photo 4:

Bordure du plateau de Banankoro, vue de la topséquence du Kokoyon. La végétation est implantée sur le talus non cuirassé.



1



2



3



4

29793) -134-

PLANCHE 2

Photo 5:

Puit KOK 1 (0 à 0,30 m). Joint de circulation subhorizontal dans la cuirasse pseudonodulaire englobant des rognons de cuirasse massive.

Photo 6:

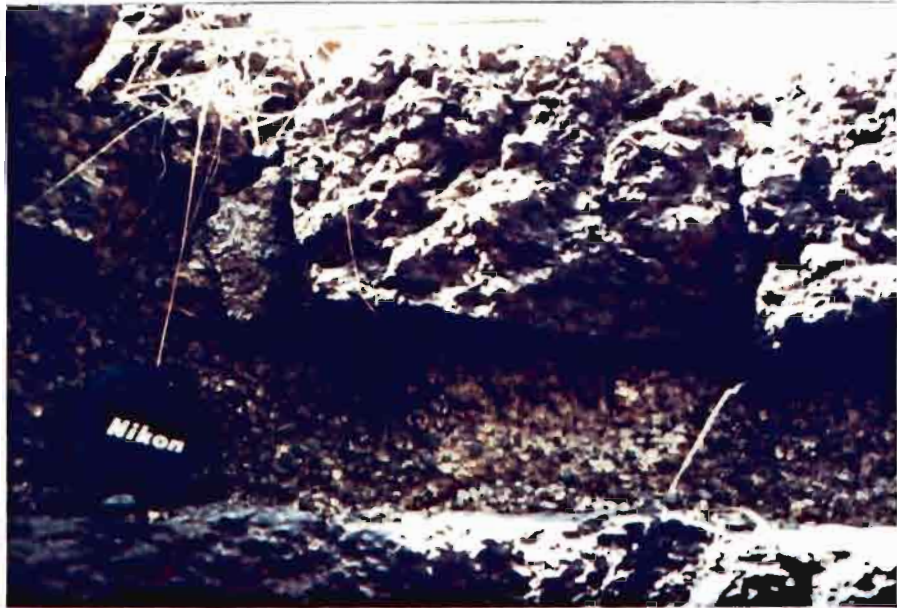
Puit KOK 1(vers 3 m de profondeur). Faciès de cuirasse pseudonodulaire englobant des rognons de cuirasse massive.

Photo 7:

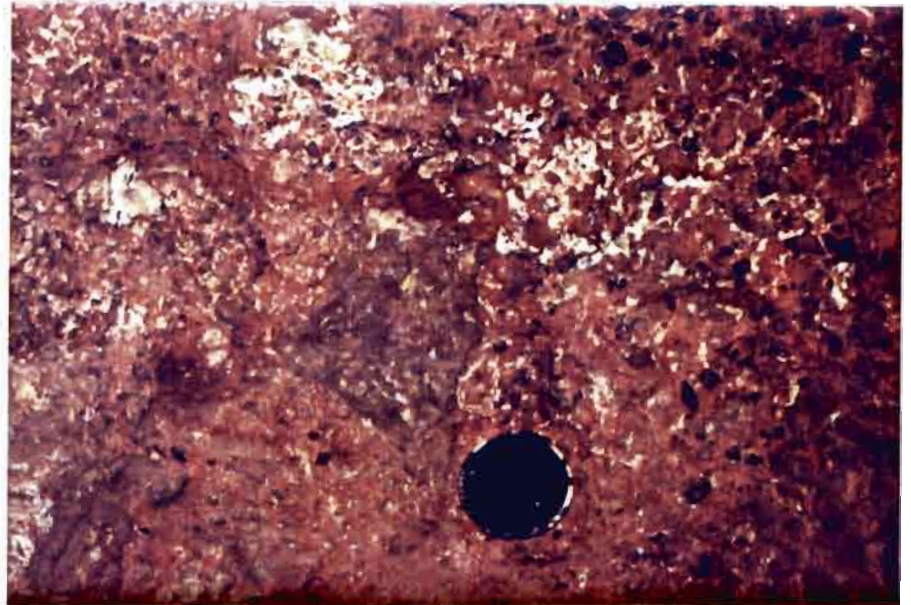
Puit KOK 1 (7,40 m à 7,80 m). Limite entre la lithomarge kaolinique blanche et les argiles bariolées. Vers 7,50m on observe des rognons de stockwerk cuirassés.

Photo 8:

Galerie SONAREM de Bagama à 20 m de profondeur. Niveau de lithomarge kaolinique à structures conservées. Les filons de quartz ne sont pas altérés.

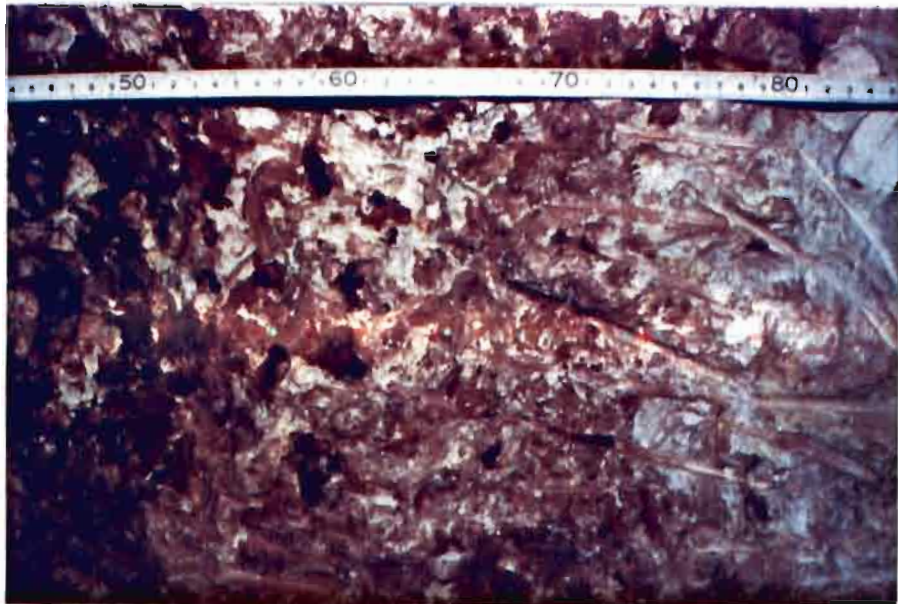


5



6

29793)_136-



7



8

PLANCHE 3

Photo 9: x 10

Cuirasse ferrugineuse massive.

Photo 10: x 10

Cuirasse ferrugineuse pseudonodulaire.

Photo 11: x10

Cuirasse ferrugineuse nodulaire. Les nodules possèdent un fin cortex goethitique.

Photo 12: x 10

Cuirasse ferrugineuse nodulaire à matrice jaune, riche en quartz très fins. Les gros nodules ne possèdent pas de cortex.

Photo 13: x 10

Cuirasse ferrugineuse complexe. Abondante matrice brun-jaune de goethite, isolant des petits îlots rouges d'hématite.

Photo 14: x10

Cuirasse ferrugineuse aluminisée. Gibbsite rose (au centre) envahissant du matériel d'altération de filon. Au milieu, canalicule rempli de matériel jaune, riche en kaolinite, formé postérieurement à la gibbsite.

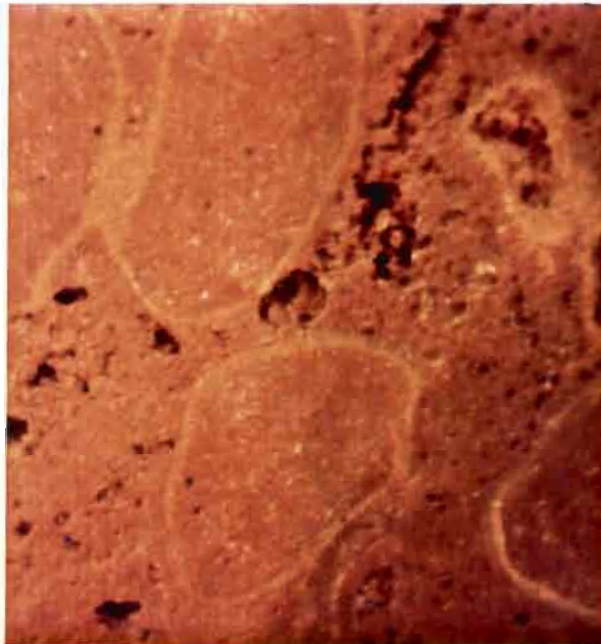
207051-100-



9



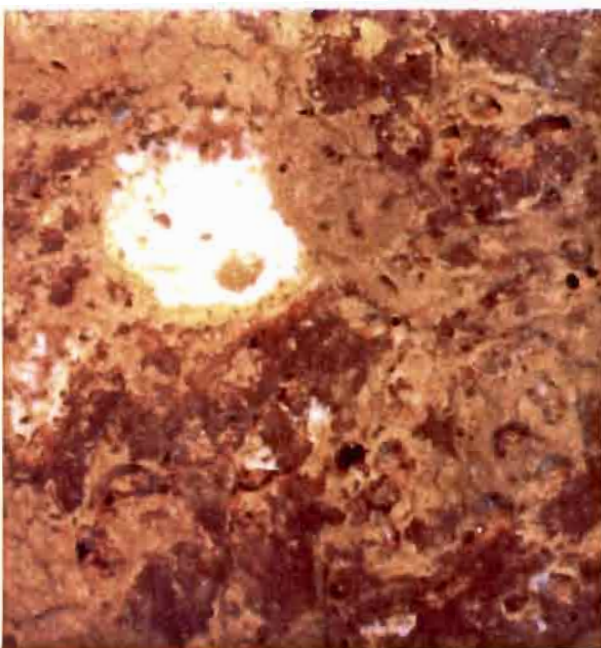
10



11



12



13



14

PLANCHE 4

Photo 15: x 200 Lumière naturelle réfléchié.

Plage hématitique contenant de nombreux restes de vermicules kaoliniques et des vides.

Photo 16: x 320 Lumière naturelle réfléchié

Depôts canaliculaires d hématite blanche à fort pouvoir réflecteur et de goéthite grise, dans une matrice argilo-goéthitique. Les vides sont abondants .

Photo 17: x100 Lumière polarisée transmise.

Gibbsitisation de cuirasse ferrugineuse. Réseau de gibbsite bien cristallisée isolant des îlots de gibbsite fine mêlée à de la kaolinite et du fer (îlots bruns).

Photo 18: x200 Lumière naturelle transmise .

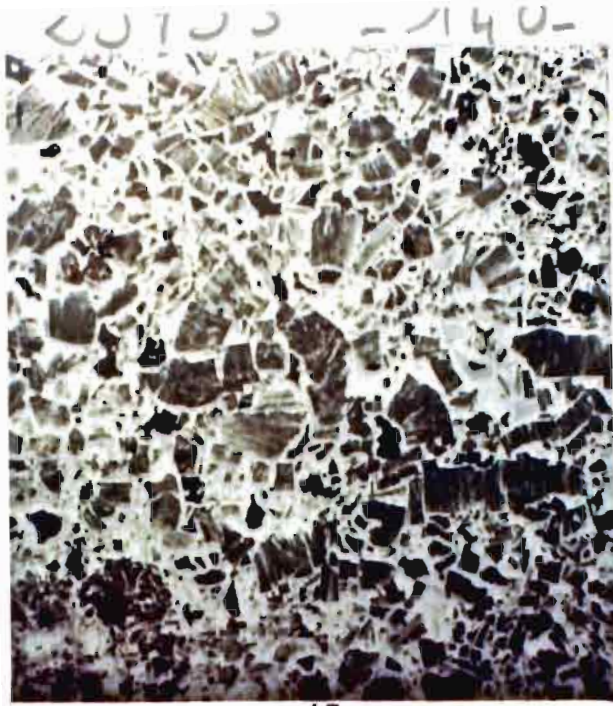
Cuirasse nodulaire à matrice jaune, argilo-goéthitique, riche en quartz fins. Epais cortex, complexe , argilo-goéthitique de nodule.

Photo 19: Microscope électronique à balayage.

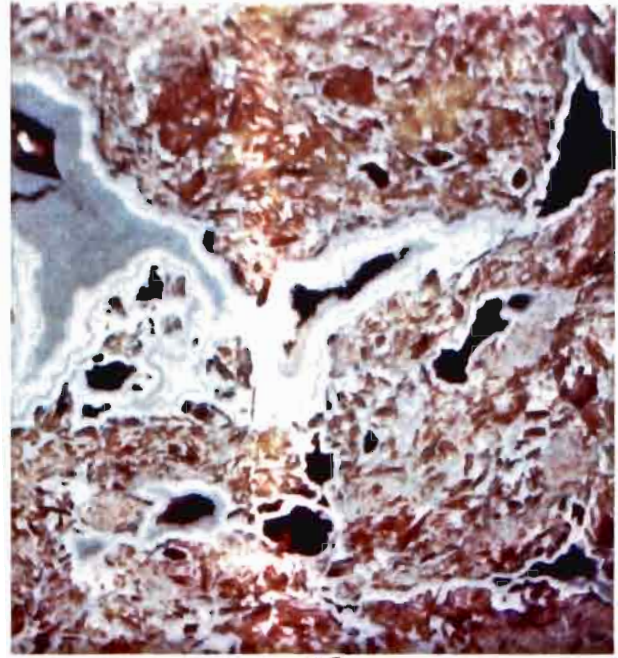
Placage de petites plaquettes d'hématite sur des kaolinites corrodées (grises).

Photo 20: Microscope électronique à balayage .

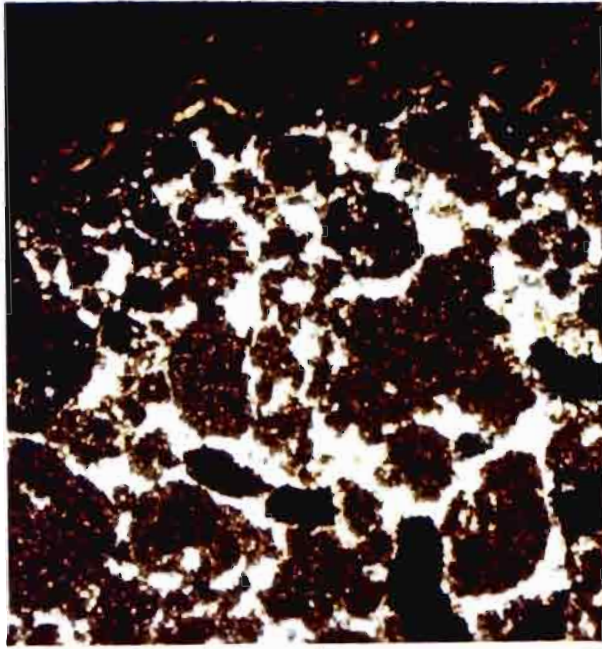
Idem photo 18. On voit : vers le haut ,un réseau d'hématite englobant de l'argile; au milieu, le cortex du nodule, contenant des microfissures concentriques, et en bas, la matrice ,poreuse, argilo-goéthitique, riche en quartz fins.



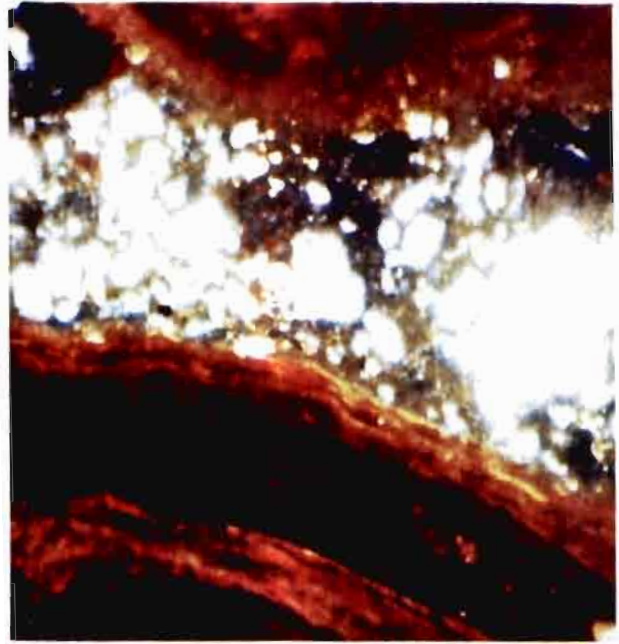
15



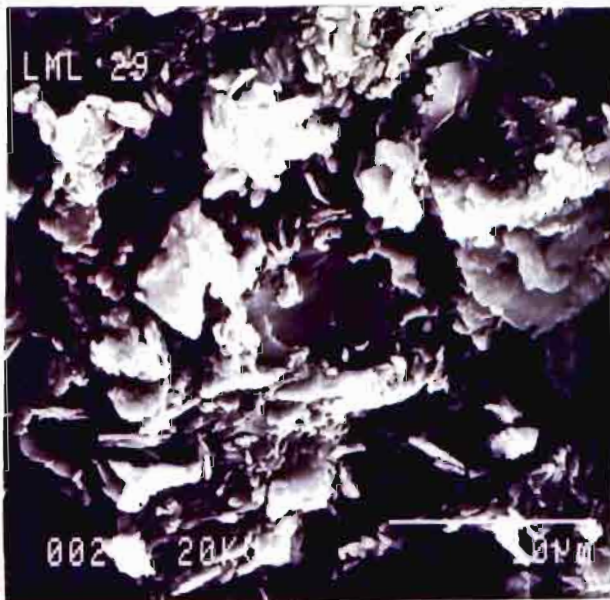
16



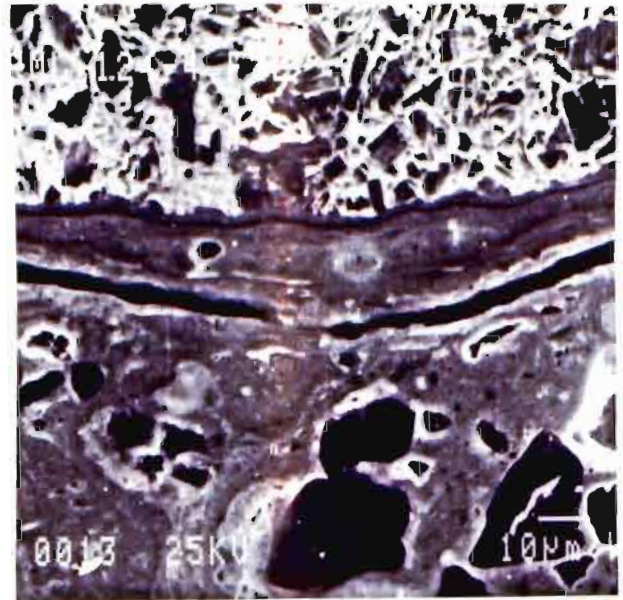
17



18



19



20

PLANCHE 5

Photo 21: Microscope électronique à balayage .

Grain d'or automorphe à faces lisses.

Photo 22: Microscope électronique à balayage .

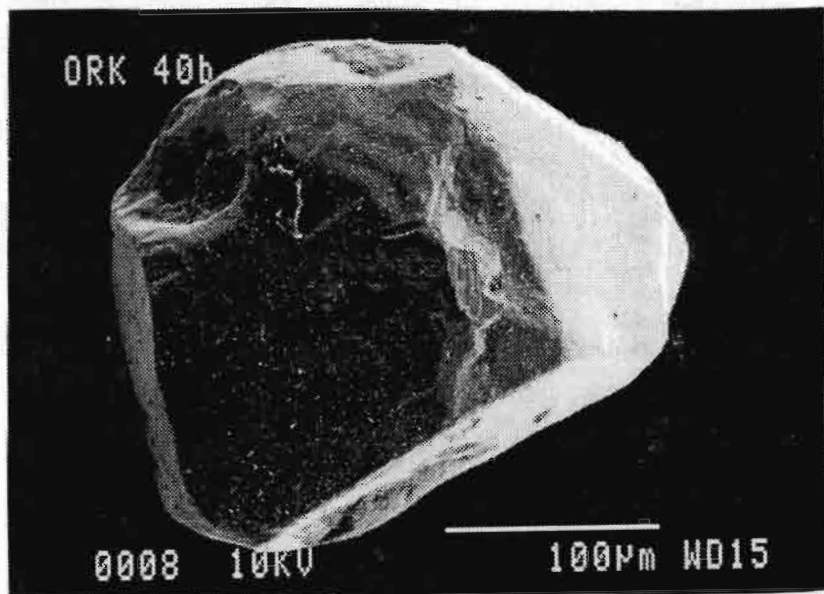
Grain compact xénomorphe, présentant l'empreinte des cristaux environnants.

Photo 23: Microscope électronique à balayage .

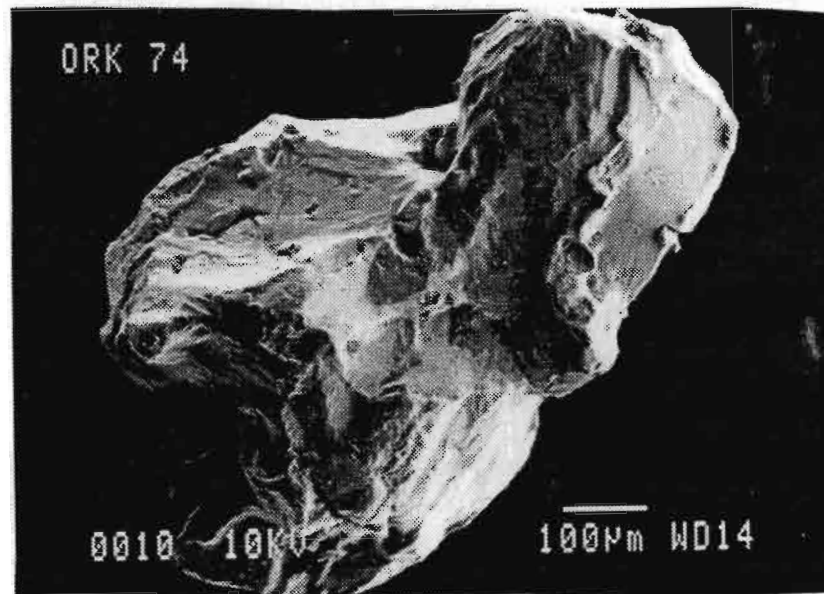
Idem photo 22. On observe des placages d'oxydes de fer à la surface des cavités.

Photo 24: Microscope électronique à balayage .

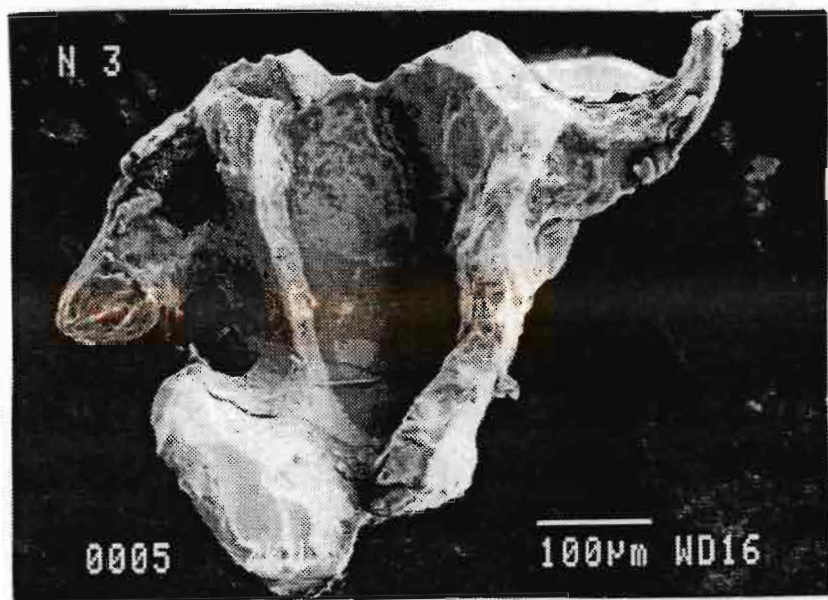
Grain de forme "spongieuse" aux contours déchiquetés. Les cavités sont remplies de matériel argilo-ferrugineux.



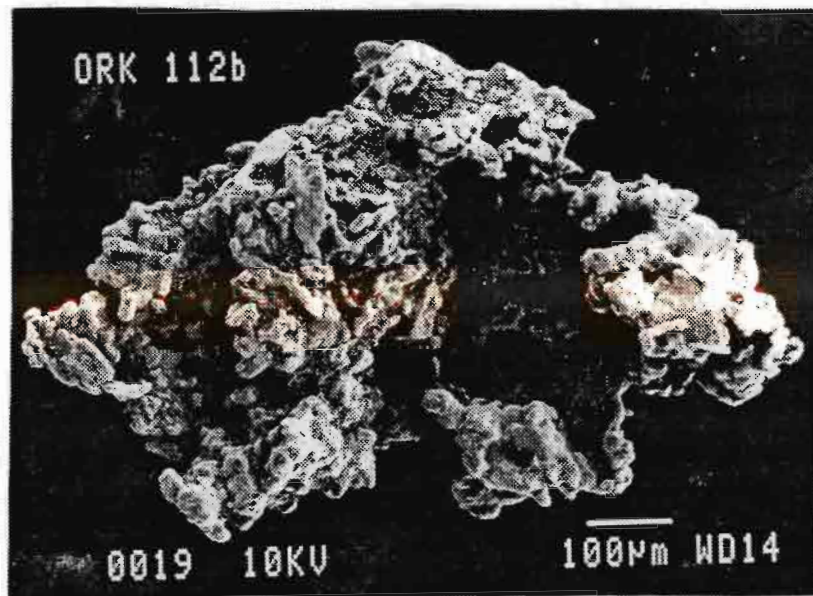
21



22



23



24

PLANCHE 6

Photo 25: Microscope électronique à balayage .

Grain d'or provenant d'un niveau d'argile tachetée-carapace. Les formes primitives commencent à disparaître.

Photo 26: Microscope électronique à balayage .

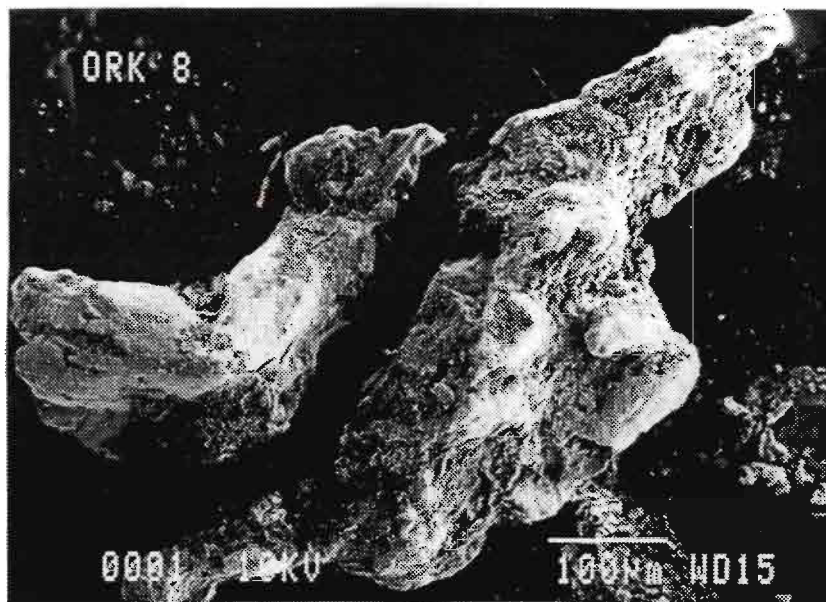
Figures de corrosion à la surface d'une paillette provenant de la cuirasse.

Photo 27: Microscope électronique à balayage.

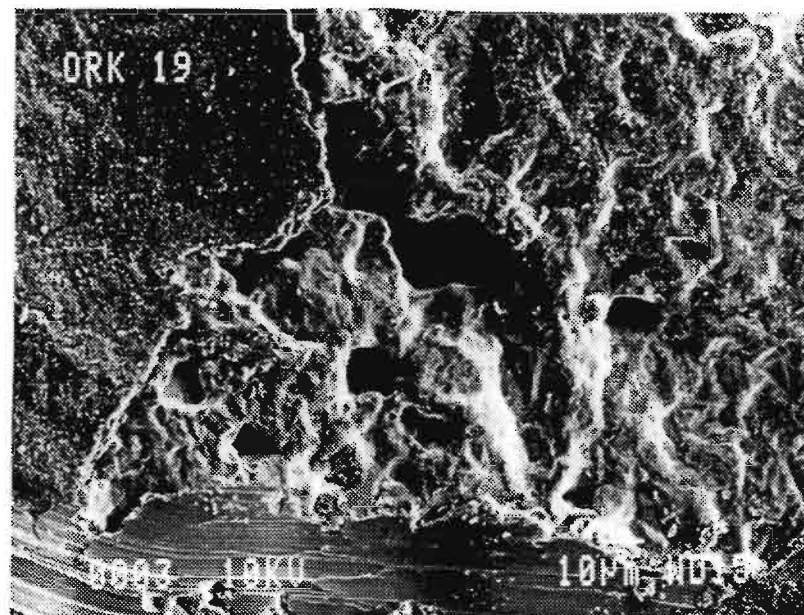
Grain d'or de cuirasse ; très émoussé avec de nombreuses figures de corrosion en surface.

Photo 28: Section polie. Microscope électronique à balayage.

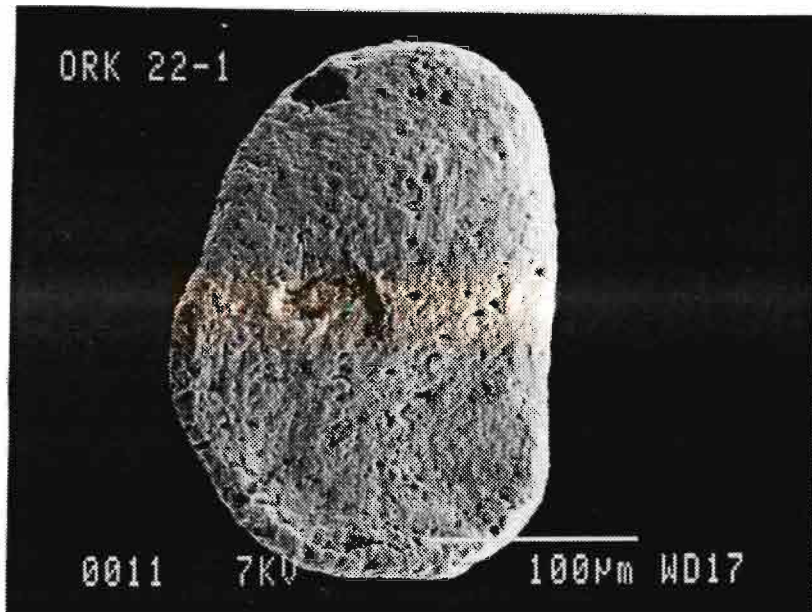
Grain d'or de cuirasse. Vue d'un golfe de corrosion rempli de matériel argilo-ferrugineux (noir). Dans le fond de la cavité, on observe de l'or reprécipité avec des formes boudinées, associé aux oxydes de fer.



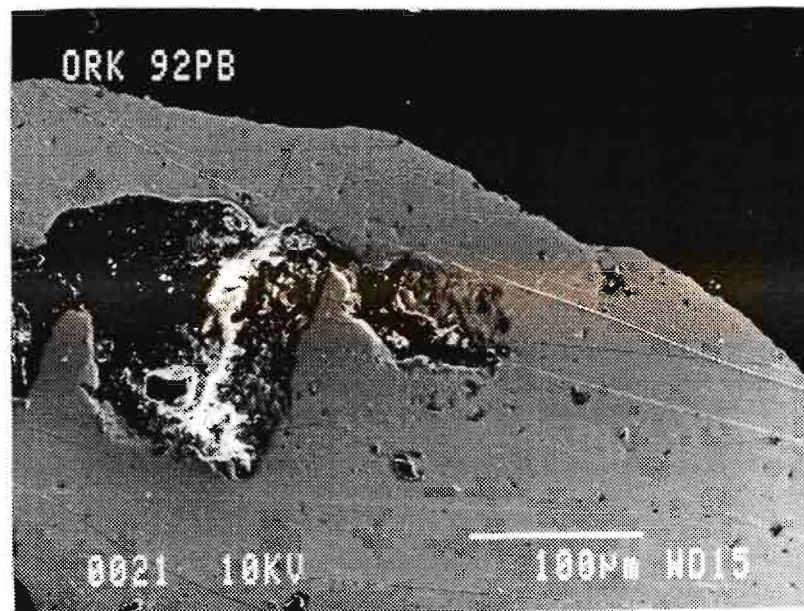
25



26



27



28

PLANCHE 7

Photo 29: Microscope électronique à balayage .

Vue d'une cavité tapissée de microsphérules (blanc) d'or secondaire totalement dépourvus d'argent.

Photo 30: Microscope électronique à balayage .

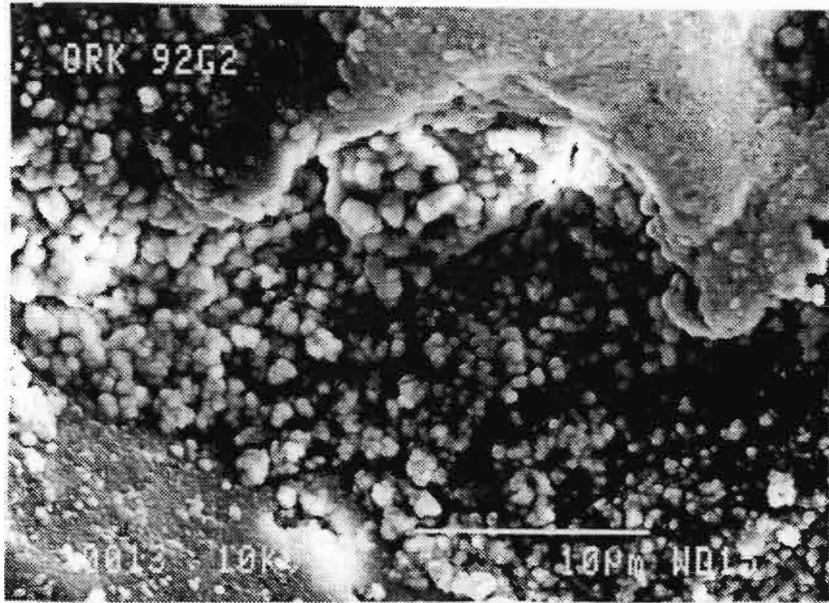
Vue de dendrites d'or secondaire, plaquées sur des oxydes de fer.

Photo 31: Image des électrons absorbés .

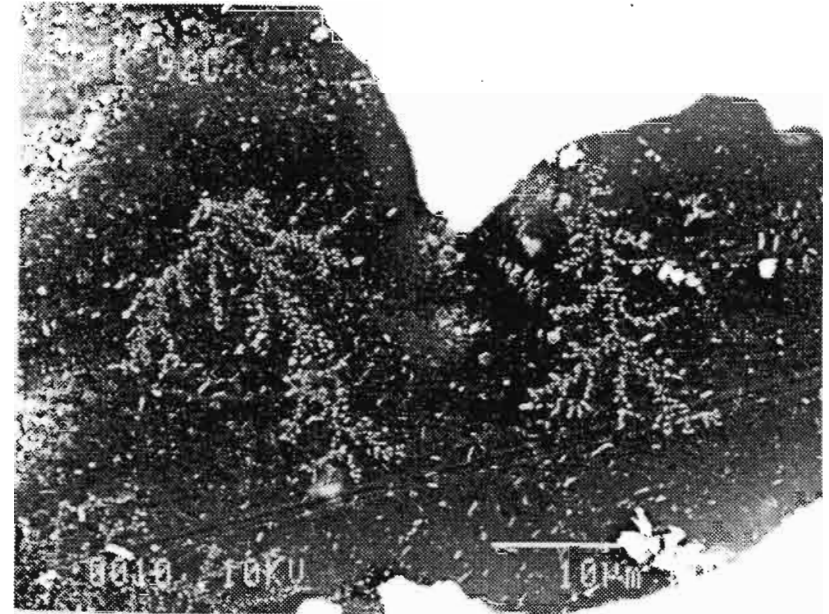
Section polie d'une paillette d'or provenant d'une cuirasse. Développement d'un cortex d'or néoformé autour du grain primaire.

Photo 32:

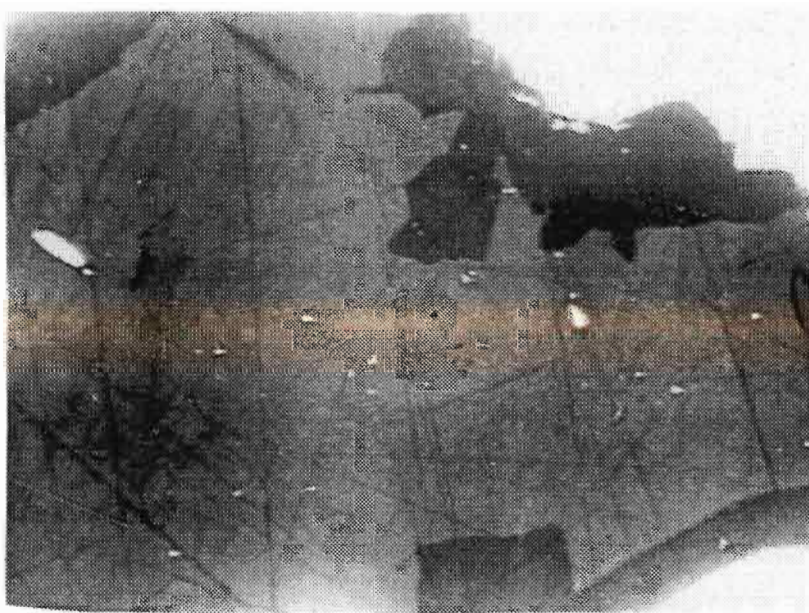
Carte de répartition de l'argent (raie L alpha). L'or secondaire est totalement dépourvu d'argent.



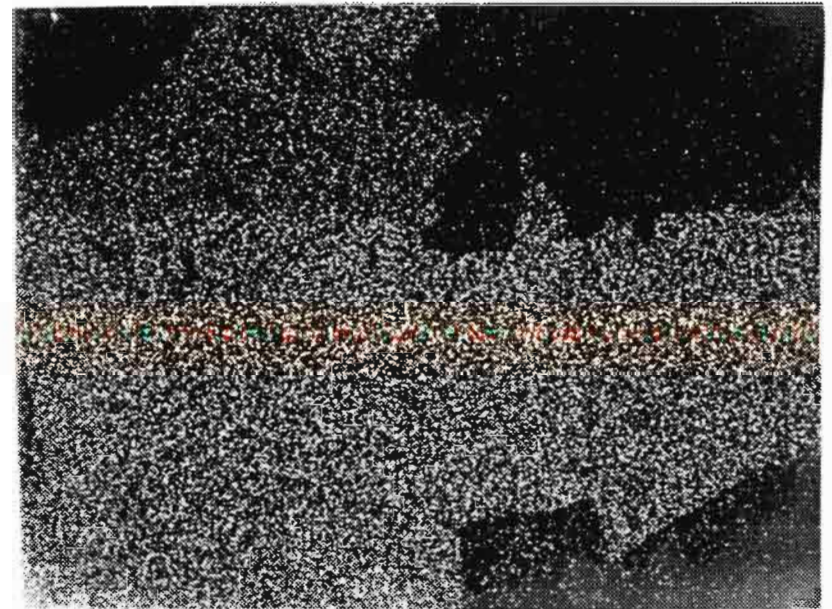
29



30



31



32

Annexe 1

**Observations de terrain et pétrographie:
Fichier des codes descriptifs des échantillons
de cuirasses de la région de Kangaba.**

Codage des observations de terrain

Caractère	relief topographique	situation topographique locale	situation du prélèvement sur cuirasse	Représentativité	type de formation			
Codes des modalités	relief élevé	1	sommet	1	bonne	1	cuirasse	1
	relief moyen	2	versant	2	moyenne	2	carapace	2
	relief bas	3	bas de pente	3	faible	3	bauxite	7
	butte témoin	4						

Codage des observations pétrographiques

Caractère	Homogénéité	Organisation	Porosité	Couleur de la matrice	Type des constituants grossiers	Couleur des constituants grossiers	Taille des constituants grossiers	Quantité de constituants grossiers	Taille des grains de quartz	Quantité de grains de quartz
codes des modalités	bonne	1 massive	1 friable	1 indéterminé	0 absents	0 absents	0 absents	0 absents	0 absents	0 absents
	moyenne	2 pseudo-nodulaire	2 invisible	2 rouge	1 nodules	1 rouge	1 grands	1 très abondants	1 grands	1 abondants
	faible	3 nodulaire	3 fine	3 violet	2 concrétions	2 violet	2 petits	2 abondants	2 moyens	2 assez abondants
		lamellaire	4 grossière	4 brun	3 éléments bauxitiques	4 brun	3 hétérogènes	3 assez abondants	3 petits	3 assez rares
		pseudo-conglomératique	5 vacuolaire	5 jaune	4 lithoreliques	5 jaune	4	assez rares	4 hétérogènes	4 rares
		pisolitique	6	blanc	7	blanc	7	rares	5	très rares
		complexe	7							

CUIRASSES DE KANGABA

OBSERVATIONS DE TERRAIN ET PETROGRAPHIE

	TOPO GRAP HIE	SITU ATION TOPOG	SITE PREL EVEM	REPRE SENTA TIVIT	FORM ATIO N	HOMO GENE ITE	ORGA NISA TION	PORO SITE	COUL MATR ICE	ELEM GROS SIERS	COUL ELEM ENTS	TAIL ELEM ENTS	QUAN ELEM ENTS	TAIL LE QUARTZ	QUAN TITE QUARTZ
PML 1	1	1	2	1	1	1	2	4	2	0	0	0	0	1	3
PML 2	1	3	2	1	1	2	3	4	1	1	2	3	3	2	5
PML 3 a	1	3	2	3	1	2	3	5	3	1	1	1	2	1	5
PML 4	2	2	1	1	1	2	2	5	1	0	0	0	0	1	5
PML 5	2	3	1	1	1	2	3	5	1	1	2	2	0	0	0
PML 6	2	3	1	1	1	2	3	4	3	1	2	0	0	0	0
PML 8 a	1	2	1	2	1	1	2	5	3	0	0	0	0	2	4
PML 10	1	1	1	2	1	1	3	2	1	1	2	3	3	0	0
PML 11	1	1	1	1	1	2	2	4	2	0	0	0	0	1	3
PML 12	3	3	2	2	1	2	3	5	1	1	2	2	3	3	5
LML 13 b	1	1	2	2	1	2	3	5	1	1	2	2	3	3	6
LML 15 b	1	1	2	2	1	2	3	0	1	1	2	1	3	3	4
PML 16	1	1	2	2	1	3	2	5	1	0	0	0	0	0	0
PML 19	1	1	2	1	1	2	3	5	1	1	2	3	0	0	0
PML 20	1	1	2	3	1	2	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 22 b	1	1	1	1	1	1	1	5	3	0	0	0	0	0	0
PML 23 1	1	1	1	3	1	2	1	2	2	0	0	0	0	3	4
PML 26 1	1	1	1	2	1	1	1	4	2	0	0	0	0	2	5
PML 28 1	1	3	2	2	1	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0
PML 33	4	1	2	1	2	2	5	1	4	1	2	3	3	3	6
PML 36	3	3	2	1	1	1	3	5	3	1	1	2	4	0	0
PML 38	1	2	1	3	1	1	3	5	1	1	2	3	3	3	6
PML 41	2	1	1	1	1	1	3	5	1	1	2	3	2	0	0
PML 48 2	2	3	2	3	1	2	7	5	3	0	0	0	0	0	0
PML 51	3	3	1	1	1	2	3	5	3	1	2	2	2	2	3
PML 53	4	1	1	1	1	3	1	3	2	0	0	0	0	0	0
PML 55	2	3	2	1	1	2	3	5	2	1	2	3	2	0	0
PML 61	1	1	2	1	1	2	3	5	3	1	2	3	3	3	5
PML 62	2	2	1	1	1	1	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 66	3	3	2	1	2	1	4	5	1	0	0	0	0	0	0
PML 69	1	2	1	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	0	0
PML 71	1	1	2	1	1	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0
PML 76	2	1	1	1	1	1	1	4	2	0	0	0	0	2	4
PML 80	2	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	4	4
PML 81	1	2	2	2	1	2	3	5	3	1	2	2	3	4	4
PML 82	2	1	2	1	1	1	3	5	3	1	2	3	2	0	0
PML 84	2	1	1	2	1	1	2	4	3	0	0	0	0	3	3
PML 88	2	2	1	1	1	1	3	4	1	1	1	2	2	0	0
PML 90	1	3	2	1	1	2	3	5	1	1	2	2	2	1	4
PML 91	1	1	2	1	1	3	1	4	1	4	7	1	2	0	0
PML 95	1	1	2	2	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0
PML 98	1	2	2	2	1	2	2	4	1	0	0	0	0	1	6
PML 100	1	1	2	2	1	2	3	5	1	1	3	3	3	1	3
PML 101	1	3	1	1	1	1	2	5	2	0	0	0	0	1	6
PML 102	1	2	1	1	1	2	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 103	1	1	1	1	1	3	3	5	3	4	2	3	2	0	0
PML 104	1	2	2	1	1	1	2	4	1	0	0	0	0	0	0
PML 105	1	2	2	2	1	2	7	5	3	0	0	0	0	2	3
PML 106 2	1	1	1	1	1	1	7	4	3	0	0	0	0	0	0
PML 107	1	1	1	1	1	1	2	5	2	0	0	0	0	0	0

CUIRRASSES DE KANGABA

OBSERVATIONS DE TERRAIN ET PETROGRAPHIE

	TOPO GRAP HIE	SITU ATION TOPOG	SITE PREL EVEM	REPRE SENTA TIVIT	FORM ATIO N	HOMO GENE ITE	ORGA NISA TION	PORO SITE	COUL MATR ICE	ELEM GROS SIERS	COUL ELEM ENTS	TAIL ELEM ENTS	QUAN ELEM ENTS	TAIL LE QUARTZ	QUAN TITE QUARTZ
PML 108	1	1	1	1	1	3	3	4	1	2	3	2	3	0	0
PML 110	2	1	1	1	1	2	2	5	2	0	0	0	0	1	4
PML 111	1	2	2	2	1	2	2	4	1	0	0	0	0	0	0
PML 112	2	3	1	2	1	1	2	4	2	0	0	0	0	3	5
PML 114	2	1	2	2	1	2	3	5	1	1	2	2	3	3	4
PML 115	2	1	1	1	1	1	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 118	2	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	0	0
PML 119	1	2	1	2	1	2	3	5	1	1	2	3	2	0	0
PML 120	1	2	1	1	1	1	3	5	3	1	2	2	2	4	4
PML 121	1	3	2	2	1	1	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 122	1	3	2	1	1	2	2	5	3	0	0	0	0	0	0
PML 123	1	2	2	3	1	2	7	5	3	0	0	0	0	3	6
PML 123	2	1	2	1	1	2	3	5	3	1	2	3	3	0	0
PML 124	1	3	1	1	1	1	3	5	3	1	2	2	3	0	0
PML 127	1	1	2	1	1	2	3	4	1	1	2	3	3	3	5
PML 132	2	1	1	2	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 134	2	2	2	2	1	2	7	5	3	0	0	0	0	2	4
PML 136	1	1	1	1	1	1	3	4	1	1	1	3	2	4	5
PML 138	1	1	1	2	1	1	1	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 139	1	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	2	2	4	3
PML 141	1	1	2	1	1	1	2	4	1	0	0	0	0	0	0
PML 143	2	2	1	1	1	3	3	5	3	1	2	2	2	1	4
PML 145	1	2	1	2	1	1	2	4	3	0	0	0	0	1	3
PML 150	1	2	1	1	1	2	4	5	1	0	0	0	0	1	4
PML 150	2	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	2	2	1	4
PML 152	1	2	1	2	1	2	1	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 152	2	1	2	1	1	2	3	0	1	1	2	3	2	1	6
PML 153	1	1	2	3	1	3	1	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 156	1	1	1	2	1	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0
PML 158	3	3	2	2	2	3	3	2	4	1	2	2	4	1	4
PML 162	1	1	2	1	1	2	3	2	1	1	2	3	3	0	0
PML 163	1	2	1	2	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 164	1	2	1	1	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 168	1	1	1	1	1	2	2	5	1	0	0	0	3	2	4
PML 170	1	3	1	1	1	2	3	5	3	0	0	0	3	0	0
PML 172	2	2	1	1	1	1	3	5	1	1	2	3	3	0	0
PML 9	1	2	2	1	1	2	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 14	1	2	1	2	1	2	5	5	2	4	7	3	3	1	3
PML 17	1	2	1	1	1	2	3	5	1	1	2	3	2	1	3
PML 18	1	1	2	2	1	3	1	3	2	0	0	0	0	0	0
PML 21	1	1	1	2	1	2	1	4	2	0	0	0	0	3	5
PML 24	1	1	1	3	7	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0
PML 25	1	1	1	3	7	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0
PML 27	1	3	2	1	1	2	3	5	3	1	2	2	2	0	0
PML 29	3	3	2	2	1	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 30	1	2	2	2	1	2	3	5	3	1	2	3	2	3	5
PML 31	4	1	2	1	1	2	3	4	2	1	1	2	2	0	0
PML 32	1	1	1	1	1	2	3	4	3	1	2	3	2	0	0
PML 34	1	4	1	3	7	3	6	2	0	0	0	0	0	0	0
PML 34	2	2	1	3	1	2	3	5	1	1	2	3	2	0	0

CUIRASSES DE KANGABA

OBSERVATIONS DE TERRAIN ET PETROGRAPHIE

	TOPO GRAP HIE	SITU ATION TOPOG	SITE PREL EVEM	REPRE SENTA TIVIT	FORM ATIO N	HOMO GENE ITE	ORGA NISA TION	PORO SITE	COUL MATR ICE	ELEM GROS SIERS	COUL ELEM ENTS	TAIL ELEM ENTS	QUAN ELEM ENTS	TAIL LE QUARTZ	QUAN TITE QUARTZ
PML35 b	1	2	1	2	1	2	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML37 1	1	3	2	3	2	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0
PML39 1	1	3	2	2	1	2	3	4	7	1	3	3	2	0	0
PML40	2	1	1	1	2	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML42	2	1	2	2	1	2	3	5	1	1	2	3	2	3	6
PML47	1	1	2	1	1	1	3	4	3	1	3	3	3	3	6
PML49 1	4	1	2	2	1	2	3	4	3	5	3	1	5	1	4
PML49 2	4	1	2	2	1	1	3	4	3	1	3	3	2	3	6
PML50 1	4	1	1	2	1	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML50 2	4	1	1	1	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0
PML52 a	2	1	1	3	7	3	3	2	1	1	3	2	3	0	0
PML52 b	2	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	0	0
PML54	4	1	1	1	7	2	2	4	3	0	0	0	0	0	0
PML56 1	1	1	2	2	7	3	2	4	3	0	0	0	0	3	5
PML56 2	1	1	2	1	1	3	2	4	3	0	0	0	0	3	5
PML57	1	1	2	3	1	1	1	4	2	0	0	0	0	0	0
PML58	2	3	1	1	1	2	2	5	1	0	0	0	0	0	0
PML59 1	1	3	2	1	1	2	3	4	3	1	2	3	2	1	6
PML60	1	1	2	1	1	1	3	2	1	1	2	3	4	0	0
PML63	1	2	2	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	3	5
PML64 1	4	1	2	3	1	2	3	5	4	1	2	3	3	0	0
PML64 2	4	1	2	2	1	1	2	5	2	0	0	0	0	3	5
PML65 a	1	1	2	3	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML65 b	1	1	2	1	1	1	3	5	3	1	2	3	2	3	5
PML67	1	3	2	1	1	2	2	4	2	0	0	0	0	1	6
PML68	1	2	2	1	1	2	3	5	3	1	3	3	2	0	0
PML72 1	1	1	2	1	1	1	3	4	1	1	3	3	2	3	5
PML72 2	1	1	2	3	7	2	3	3	7	1	1	2	3	0	0
PML73 a	1	3	2	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	3	6
PML75	1	2	1	1	1	2	3	4	1	1	2	3	2	3	6
PML76 b	2	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	0	0	1	4
PML77	2	1	1	2	1	1	2	4	3	0	0	0	0	3	4
PML78	4	2	1	2	1	2	2	3	1	0	0	0	0	2	2
PML79	4	2	1	2	1	1	3	4	3	1	3	3	1	1	3
PML83	2	1	2	1	1	2	3	4	2	1	1	1	2	0	0
PML85	3	3	2	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	4	5
PML86	2	1	1	2	1	1	2	4	1	0	0	0	0	3	3
PML87	2	1	1	1	1	2	3	4	3	1	3	3	2	4	5
PML89 1	2	1	1	1	1	2	3	5	1	1	2	2	2	2	4
PML92 2	1	1	2	2	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML93	1	2	1	2	1	1	2	5	1	0	0	0	0	3	4
PML94	1	2	1	2	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML96	2	3	1	1	1	1	3	5	1	1	2	3	2	3	5
PML97	1	1	2	2	7	3	3	4	1	1	2	3	2	0	0
PML99	1	2	2	2	1	3	5	4	3	1	2	3	3	2	6
PML103 1	1	1	2	1	1	1	1	4	1	0	0	0	0	3	6
PML106	1	1	1	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	0	0
PML109	1	1	1	3	1	3	3	5	1	1	2	2	2	3	5
PML113	3	3	2	2	1	1	3	5	3	1	2	2	2	3	3
PML116	2	1	1	2	1	1	2	4	3	0	0	0	0	0	0

CUIRASSES DE KANGABA

OBSERVATIONS DE TERRAIN ET PETROGRAPHIE

	TOPO GRAP HIE	SITU ATION TOPOG	SITE PREL EVEM	REPRE SENTA TIVIT	FORM ATIO N	HOMO GENE ITE	ORGA NISA TION	PORO SITE	COUL MATR ICE	ELEM GROS SIERS	COUL ELEM ENTS	TAIL ELEM ENTS	QUAN ELEM ENTS	TAIL LE QUARTZ	QUAN TITE QUARTZ
PML 120	1	2	1	2	1	3	3	5	1	1	2	2	2	1	4
PML 125 1	1	1	2	1	1	3	3	5	1	1	2	3	2	4	4
PML 125 2	1	1	2	3	1	2	7	3	2	0	0	0	0	4	4
PML 126	1	1	2	2	1	2	3	5	4	1	3	3	3	1	3
PML 126 b	1	1	2	3	1	3	7	4	3	0	0	0	0	1	3
PML 128	1	1	1	3	1	1	3	4	1	1	3	2	2	2	6
PML 129	1	2	1	1	1	1	3	5	1	1	3	3	2	0	0
PML 130 1	2	1	1	1	1	2	3	5	1	1	3	3	2	0	0
PML 131	3	2	1	1	1	3	3	5	3	1	2	3	2	1	4
PML 133	3	2	1	1	1	2	3	5	3	1	2	3	2	0	0
PML 135	2	2	1	1	1	1	2	4	2	0	0	0	0	1	3
PML 137	2	2	1	1	1	2	2	5	1	0	0	0	0	3	6
PML 140	1	1	1	1	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0
PML 144	3	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	4	4
PML 145 b	4	2	1	1	1	2	2	4	3	0	2	0	0	1	2
PML 146	4	2	1	1	1	2	3	5	1	1	2	3	2	0	0
PML 147	2	1	1	1	1	1	2	5	3	0	0	0	0	4	5
PML 148	2	1	1	1	1	1	3	4	1	2	1	3	2	1	3
PML 149	4	1	1	1	1	1	3	5	3	1	2	3	2	1	6
PML 151 1	2	2	1	2	1	1	1	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 151 2	2	2	1	1	1	1	2	4	2	0	0	0	0	3	5
PML 154 1	1	1	2	2	1	2	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 155	1	1	1	2	1	3	1	4	3	0	0	0	0	2	4
PML 157	4	1	1	1	1	2	3	5	1	1	3	1	2	2	5
PML 159	2	2	1	1	1	1	2	4	1	0	0	0	0	3	5
PML 160	2	2	1	1	1	1	2	4	2	0	0	0	0	2	5
PML 161	1	1	1	1	1	1	2	5	2	0	0	0	0	0	0
PML 165	3	1	1	1	1	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 166	3	2	1	1	1	1	2	4	1	0	0	0	0	2	5
PML 167	3	2	1	1	1	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
PML 168	1	1	1	1	1	2	2	5	1	0	0	0	0	0	0
PML 169	1	2	1	1	1	2	3	5	3	1	2	2	2	4	4
PML 171	3	3	1	1	1	2	3	4	1	1	3	2	1	3	5
PML 173 a	1	2	1	1	1	1	1	4	2	0	0	0	0	2	4
PML 174	1	1	1	1	1	1	3	5	3	1	2	3	3	3	5
PML 175	1	1	1	3	7	3	7	2	1	0	0	0	0	0	0
PML 202 a	2	3	2	1	1	3	3	5	3	1	.	1	.	0	0

Annexe 2

Fichier des résultats d'analyse par spectrométrie d'émission à plasma ICP
des échantillons de cuirasses de la région de Kangaba.

(Laboratoire du CSGS - Strasbourg)

Partie I

-Analyses des éléments majeurs, exprimées en pourcentage pondéral d'oxydes dans l'échantillon sec: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO_2 , P_2O_5 , TiO_2 ;

- Pourcentage de perte en eau à 1000°C: P1000;
- Somme des teneurs des éléments majeurs: SOM;
- Perte en eau par séchage de l'échantillon de l'échantillon à 110°C: P110;
- Coordonnées des échantillons en km : XXXX, YYYY;
- Indicatif de terrain des échantillons: NOTR;
- Numéro de Laboratoire des échantillons: INDR;
- Indicateurs de terrain simplifié des échantillons: INTR.

ANALYSES DES MAJEURS

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG
.....

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	SI02	AL203	FE203	MGO	CAO	NA20	K20	MNO2	P205	TI02	P110	P1000	SOM
1	29203	PML1	12.90	9.95	18.59	19.19	48.39	0.04	0.20	0.05	0.11	0.03	0.25	0.70	0.56	11.09	98.53
2	29204	PML2	11.93	9.08	16.30	19.01	50.96	0.11	0.20	0.05	0.31	0.06	0.33	0.68	1.46	10.91	98.73
3	29205	PML3 a	12.11	9.22	21.00	21.03	45.16	0.04	0.20	0.05	0.09	0.03	0.18	0.74	0.61	10.33	98.65
4	29207	PML4	11.90	9.41	29.57	26.01	29.53	0.12	0.20	0.05	0.46	0.03	0.25	0.89	1.17	11.74	98.65
5	29208	PML5	11.93	9.78	30.38	19.27	38.51	0.16	0.20	0.05	0.47	0.07	0.26	0.81	1.51	10.29	100.27
6	29209	PML6	13.16	10.90	19.86	19.52	47.67	0.15	0.20	0.05	0.49	0.03	0.39	0.71	1.46	11.11	100.00
8	29210	PML8 a	12.47	11.87	17.39	19.29	48.85	0.11	0.20	0.05	0.49	0.03	0.36	0.62	1.30	11.68	98.86
10	29212	PML10	12.65	11.36	15.17	23.59	46.29	0.03	0.20	0.05	0.07	0.05	0.29	0.73	0.79	12.59	98.84
11	29213	PML11	12.54	11.60	15.68	20.09	51.01	0.07	0.20	0.05	0.11	0.03	0.37	0.75	1.15	11.57	99.73
12	29214	PML12	14.04	12.09	26.45	17.67	42.79	0.22	0.20	0.05	1.10	0.58	0.25	0.75	1.39	8.64	98.52
13	29216	LML13 b	11.66	11.48	20.33	24.60	39.08	0.10	0.20	0.05	0.55	0.03	0.38	0.84	1.45	12.31	98.31
15	29218	LML15 b	11.08	11.40	20.68	24.82	39.14	0.17	0.20	0.05	0.60	0.03	0.26	0.70	1.02	11.91	98.37
16	29219	PML16	11.23	11.85	16.01	16.06	57.36	0.08	0.20	0.05	0.25	0.05	0.25	0.49	1.05	8.94	99.57
19	29220	PML19	9.71	9.01	13.02	53.90	5.00	0.04	0.20	0.05	0.10	0.03	0.25	0.72	0.27	25.67	98.81
20	29221	PML20	9.70	8.86	9.00	41.36	27.70	0.02	0.20	0.05	0.05	0.02	0.28	0.78	0.44	21.23	100.44
22	29223	PML22 b	8.39	9.54	22.05	27.38	36.06	0.02	0.20	0.05	0.09	0.02	0.28	0.71	0.68	12.53	99.11
23	29224	PML23 1	8.31	9.66	9.37	46.21	18.50	0.02	0.20	0.05	0.05	0.03	0.27	0.76	0.42	24.25	99.45
26	29225	PML26 1	8.29	9.67	23.76	20.36	43.88	0.19	0.20	0.05	1.02	0.03	0.22	0.73	0.83	8.57	98.83
28	29226	PML28 1	5.13	9.72	15.54	17.96	53.99	0.15	0.20	0.05	0.16	0.06	0.33	0.81	1.00	9.55	98.72
33	29229	PML33	3.76	9.12	19.80	20.75	47.44	0.17	0.20	0.05	0.43	0.05	0.32	0.78	1.14	10.15	99.93
36	29230	PML36	4.32	8.80	25.88	18.05	44.43	0.18	0.20	0.05	0.49	0.06	0.35	0.77	1.22	9.78	100.05
38	29231	PML38	6.22	11.64	14.61	22.09	49.87	0.03	0.20	0.05	0.05	0.02	0.10	0.80	0.51	11.63	99.18
41	29233	PML41	15.46	11.60	21.06	20.58	48.83	0.17	0.20	0.05	0.43	0.05	0.18	0.65	1.57	7.31	99.30
48	29235	PML48 2	13.00	12.89	18.48	19.81	46.94	0.09	0.20	0.05	0.42	0.03	0.12	0.68	0.61	11.64	98.30
51	29236	PML51	11.14	14.49	33.89	15.07	38.37	0.16	0.20	0.05	0.30	0.13	0.18	0.94	1.48	10.48	99.57
53	29237	PML53	10.98	12.89	13.16	35.48	30.06	0.04	0.20	0.05	0.05	0.02	0.18	0.88	0.54	18.47	98.36
55	29238	PML55	8.80	13.25	40.23	15.09	32.26	0.22	0.20	0.05	0.70	0.10	0.12	0.77	1.05	8.78	98.31
61	29239	PML61	15.32	14.97	15.80	20.63	49.79	0.14	0.20	0.05	0.37	0.05	0.40	0.79	1.07	11.17	99.18
62	29240	PML62	15.10	16.55	19.75	18.70	50.28	0.24	0.20	0.05	1.18	0.02	0.10	0.65	0.54	9.24	100.12
66	29241	PML66	14.78	19.73	28.16	20.78	39.28	0.14	0.20	0.07	0.57	0.07	0.10	0.72	1.11	10.17	100.07
69	29242	PML69	12.43	20.36	20.92	20.57	44.64	0.18	0.20	0.05	0.53	0.05	0.17	0.78	0.61	10.25	98.36
71	29243	PML71	10.55	20.72	11.73	26.07	47.20	0.03	0.20	0.05	0.05	0.03	0.16	0.90	0.45	12.23	98.47
76	29244	PML76	18.30	13.21	24.81	17.97	46.29	0.14	0.20	0.07	0.36	0.06	0.18	0.76	2.00	7.72	98.45
80	29245	PML80	11.83	6.74	17.54	19.94	48.76	0.14	0.20	0.05	0.40	0.06	0.36	0.70	1.05	11.11	99.17
81	29246	PML81	8.56	3.67	25.71	18.01	45.54	0.12	0.20	0.05	0.34	0.05	0.56	0.74	1.23	9.64	100.76
82	29247	PML82	10.01	6.06	18.94	17.73	53.15	0.09	0.20	0.05	0.44	0.03	0.12	0.72	0.47	9.16	100.44
84	29248	PML84	23.11	17.67	41.60	12.82	37.13	0.18	0.20	0.06	0.33	0.03	0.20	0.65	0.94	8.17	101.19
88	29249	PML88	20.33	19.99	22.20	18.38	45.60	0.11	0.20	0.05	0.36	0.05	0.29	0.60	0.92	11.05	98.80
90	29251	PML90	17.45	20.80	18.62	18.06	51.80	0.21	0.20	0.08	1.04	0.05	0.21	0.66	1.11	9.69	100.50
91	29252	PML91	16.50	19.62	13.82	15.00	59.79	0.13	0.20	0.07	0.50	0.03	0.38	0.57	0.67	9.40	99.79
95	29253	PML95	15.63	20.09	22.13	22.31	43.46	0.09	0.20	0.06	0.32	0.03	0.18	0.76	0.66	10.76	100.15
98	29254	PML98	13.23	23.26	15.33	19.24	53.34	0.11	0.20	0.07	0.45	0.07	0.34	0.69	0.72	9.32	98.98
100	29256	PML100	14.04	21.45	19.00	19.81	47.96	0.16	0.20	0.09	1.13	0.03	0.12	0.63	0.64	10.82	99.94
101	29257	PML101	14.47	23.29	18.79	18.98	50.13	0.04	0.20	0.05	0.09	0.03	0.10	0.67	0.41	9.73	98.67
102	29258	PML102	14.60	23.24	19.54	18.83	50.33	0.04	0.20	0.05	0.10	0.03	0.22	0.67	0.50	10.21	100.02
103	29259	PML103	14.61	23.79	22.30	21.92	43.14	0.11	0.32	0.06	0.32	0.05	0.21	0.79	0.64	10.51	99.74
104	29260	PML104	14.77	22.34	17.98	18.06	52.38	0.14	0.20	0.08	0.95	0.03	0.10	0.65	0.61	9.59	100.04
105	29261	PML105	11.91	25.19	22.02	14.34	49.81	0.11	0.20	0.05	0.35	0.07	0.44	0.54	0.94	11.29	99.11
106	29262	PML106 2	9.84	24.82	15.74	16.87	55.14	0.06	0.20	0.05	0.29	0.05	0.42	0.55	0.68	9.62	98.96
107	29263	PML107	6.53	22.24	14.95	27.07	41.14	0.03	0.20	0.05	0.09	0.02	0.36	0.80	0.71	14.25	98.73

ANALYSES DES MAJEURS

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	SIO2	AL203	FE203	MGO	CAO	NA2O	K2O	MNO2	P2O5	TIO2	P11O	P10O0	SOM	
108	29264	PML108	6.53	22.22	0.89	37.12	46.08	0.02	0.20	0.05	0.05	0.03	0.24	1.32	0.40	13.08	98.92	
110	29265	PML110	5.98	24.26	16.33	24.94	41.71	0.07	0.20	0.05	0.26	0.05	0.42	0.66	0.85	14.07	98.55	
111	29266	PML111	12.88	25.55	18.49	20.92	45.89	0.05	0.20	0.05	0.11	0.05	0.35	0.53	0.87	12.31	98.79	
112	29267	PML112	10.33	27.22	23.75	18.45	44.94	0.02	0.20	0.05	0.11	0.10	0.20	0.48	0.74	11.01	99.17	
114	29268	PML114	10.07	27.70	19.30	17.61	50.75	0.09	0.20	0.05	0.14	0.06	0.24	0.58	0.86	9.67	98.55	
115	29269	PML115	9.00	28.53	19.96	18.23	49.05	0.07	0.20	0.05	0.27	0.03	0.10	0.57	0.54	10.80	99.18	
118	29270	PML118	8.76	28.81	21.54	18.61	47.23	0.06	0.20	0.05	0.18	0.05	0.28	0.58	0.76	10.27	98.85	
119	29271	PML119	14.59	26.46	17.99	18.55	51.79	0.11	0.20	0.05	0.36	0.15	0.32	0.70	1.12	9.80	99.89	
120	29272	PML120	1	14.04	24.61	21.93	19.09	47.30	0.14	0.20	0.05	0.57	0.02	0.31	0.56	1.34	10.24	100.32
121	29273	PML121	12.37	28.25	22.41	19.52	46.88	0.03	0.20	0.05	0.13	0.03	0.25	0.48	0.86	10.54	100.41	
122	29274	PML122	12.44	28.05	10.57	12.08	62.80	0.04	0.34	0.05	0.07	0.03	0.38	0.27	0.63	12.49	99.11	
123	29275	PML123	1	14.20	29.75	11.90	14.20	60.30	0.04	0.20	0.05	0.13	0.25	0.39	0.34	0.75	13.15	100.79
123	29296	PML123	2	14.20	29.75	17.61	16.90	53.17	0.09	0.20	0.05	0.43	0.06	0.21	0.50	0.57	9.97	99.15
124	29297	PML124	10.40	30.82	15.56	19.12	51.69	0.07	0.20	0.05	0.18	0.05	0.54	0.63	0.88	11.54	99.53	
127	29298	PML127	8.39	31.93	18.20	18.77	48.71	0.09	0.20	0.05	0.35	0.07	0.28	0.54	0.81	11.71	98.85	
132	29299	PML132	8.45	37.32	18.58	16.35	52.33	0.23	0.25	0.09	0.77	0.06	0.44	0.61	0.58	9.29	99.05	
134	29300	PML134	25.38	25.80	28.07	15.15	45.20	0.11	0.20	0.05	0.29	0.05	0.31	0.47	0.87	10.61	100.34	
136	29301	PML136	25.31	28.39	16.22	18.46	53.27	0.18	0.20	0.05	0.43	0.05	0.34	0.51	0.82	10.71	100.39	
138	29302	PML138	23.49	30.98	19.92	17.63	51.42	0.18	0.28	0.05	0.55	0.03	0.19	0.56	0.48	8.67	99.50	
139	29303	PML139	21.59	31.10	16.74	15.75	57.88	0.10	0.20	0.05	0.31	0.05	0.34	0.53	0.76	8.64	100.48	
141	29304	PML141	20.31	31.99	22.16	16.73	51.07	0.40	0.20	0.05	1.57	0.01	0.19	0.60	0.38	6.49	99.33	
143	29305	PML143	30.58	27.83	28.02	17.22	43.55	0.12	0.20	0.05	0.30	0.03	0.25	0.62	1.15	10.14	100.31	
145	29306	PML145	1	28.99	28.78	19.91	19.34	46.67	0.08	0.20	0.05	0.15	0.02	0.36	0.38	0.62	11.82	98.77
150	29308	PML150	1	29.81	32.35	16.60	16.24	54.15	0.17	0.20	0.21	1.04	0.02	0.23	0.42	0.63	9.22	98.42
150	29309	PML150	2	29.81	32.35	21.56	17.38	46.20	0.07	0.20	0.07	0.26	0.03	0.31	0.51	1.00	12.03	98.46
152	29310	PML152	1	31.38	36.97	21.17	19.66	48.93	0.18	0.20	0.19	0.98	0.02	0.26	0.55	0.74	6.26	98.32
152	29311	PML152	2	31.38	36.97	21.04	15.92	51.91	0.09	0.20	0.06	0.49	0.02	0.34	0.48	0.60	8.73	99.13
153	29312	PML153	29.46	37.60	25.50	18.89	44.13	0.30	0.20	0.05	1.15	0.02	0.31	0.63	0.44	8.33	99.45	
156	29314	PML156	27.90	37.29	19.12	18.65	52.33	0.05	0.20	0.06	0.05	0.02	0.28	0.62	0.43	9.66	100.98	
158	29315	PML158	30.72	37.56	37.36	14.65	36.93	0.14	0.20	0.09	0.35	0.03	0.27	0.67	0.98	9.17	99.67	
162	29316	PML162	17.60	23.38	15.64	16.23	55.35	0.13	0.20	0.06	0.33	0.03	0.38	0.57	0.62	9.72	98.57	
163	29317	PML163	19.43	22.81	20.77	18.13	48.08	0.09	0.20	0.07	0.27	0.02	0.28	0.55	0.70	10.14	98.45	
164	29318	PML164	19.45	22.69	8.72	26.99	47.71	0.03	0.20	0.06	0.05	0.02	0.32	1.12	0.34	14.51	99.53	
168	29321	PML168	22.23	26.69	16.12	15.96	56.23	0.12	0.20	0.07	0.33	0.03	0.49	0.55	0.98	9.93	99.92	
170	29322	PML170	20.39	28.04	15.12	15.65	56.95	0.11	0.20	0.06	0.29	0.03	0.47	0.62	1.54	10.62	99.95	
172	29326	PML172	7.43	15.52	17.65	17.22	54.00	0.17	0.20	0.09	0.65	0.03	0.56	0.61	0.97	9.72	100.73	
9	30196	PML9	12.37	11.51	21.03	20.41	45.80	0.05	0.20	0.05	0.08	0.03	0.16	0.68	0.18	10.04	98.31	
14	30198	PML14	11.77	12.11	7.86	40.44	28.65	0.03	0.20	0.05	0.05	0.03	0.17	0.72	0.57	20.92	98.90	
17	30199	PML17	11.17	8.93	21.11	20.69	46.51	0.16	0.20	0.05	0.57	0.05	0.26	0.69	1.23	10.34	100.42	
18	30200	PML18	9.79	9.13	17.32	20.59	51.70	0.05	0.20	0.05	0.11	0.03	0.23	0.61	0.81	7.49	98.16	
21	30201	PML21	8.38	9.54	11.23	9.99	69.23	0.08	0.20	0.05	0.21	0.08	0.20	0.33	0.81	7.86	99.27	
24	30202	PML24	8.31	9.67	5.27	56.20	9.21	0.02	0.20	0.05	0.05	0.03	0.16	0.64	0.60	27.95	99.40	
25	30203	PML25	8.31	9.66	13.98	37.57	27.08	0.04	0.20	0.05	0.09	0.05	0.23	0.61	0.81	18.77	98.43	
27	30205	PML27	7.09	9.84	15.56	22.54	50.01	0.10	0.20	0.05	0.30	0.07	0.38	0.67	1.42	8.95	98.59	
29	30206	PML29	5.14	9.95	17.13	24.17	46.27	0.13	0.20	0.05	0.31	0.05	0.30	0.82	1.16	10.39	99.62	
30	30207	PML30	4.88	9.17	13.67	24.75	47.11	0.06	0.20	0.05	0.14	0.05	0.36	0.84	1.39	12.97	99.94	
31	30208	PML31	4.18	9.52	23.00	20.39	46.09	0.25	0.20	0.05	1.42	0.02	0.21	0.65	1.11	8.14	100.21	
32	30209	PML32	3.45	9.17	36.32	9.73	45.58	0.39	0.20	0.05	1.97	0.02	0.40	0.35	0.75	5.53	100.39	
34	30210	PML34	1	4.08	8.86	5.81	61.58	21.97	0.04	0.20	0.05	0.06	0.05	0.20	1.04	0.21	7.58	98.33
34	30211	PML34	2	4.08	8.86	10.07	30.41	43.04	0.08	0.20	0.05	0.12	0.07	0.31	0.79	1.26	14.73	99.63

ANALYSES DES MAJEURS

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	SI02	AL203	FE203	MGO	CAO	NA20	K20	MNO2	P205	TI02	P110	P1000	SOM
35	30213	PML35 b	4.15	8.70	12.47	33.08	36.22	0.03	0.20	0.05	0.08	0.03	0.20	0.63	0.80	17.06	99.81
37	30214	PML37 1	6.44	11.68	4.38	13.67	69.63	0.04	0.20	0.05	0.05	0.05	0.99	0.39	0.90	11.50	100.79
39	30215	PML39 1	6.02	11.95	4.01	22.86	58.38	0.15	0.20	0.05	0.05	0.07	0.21	0.44	1.56	13.50	99.76
40	30216	PML40	16.28	12.08	22.72	20.23	45.70	0.13	0.20	0.05	0.56	0.05	0.24	0.70	1.47	10.09	100.47
42	30217	PML42	15.05	11.59	25.29	20.67	42.04	0.17	0.20	0.05	0.32	0.06	0.28	0.68	1.73	10.38	99.92
47	30222	PML47	12.88	13.01	22.30	20.20	44.90	0.13	0.20	0.05	0.37	0.05	0.34	0.68	1.21	10.87	99.88
49	30223	PML49 1	12.35	13.56	18.35	16.87	52.80	0.13	0.20	0.05	0.36	0.05	0.37	0.63	1.10	9.78	99.39
49	30224	PML49 2	12.35	13.56	14.59	15.53	55.38	0.05	0.20	0.05	0.12	0.03	1.01	0.61	0.78	12.08	99.43
50	30225	PML50 1	12.20	13.38	19.11	18.07	52.42	0.13	0.20	0.05	0.45	0.02	0.26	0.63	0.61	9.63	100.80
50	30265	PML50 2	12.20	13.38	22.15	20.81	46.06	0.08	0.20	0.05	0.27	0.03	0.15	0.62	0.90	10.03	100.23
52	30266	PML52 a	10.40	14.90	20.25	35.81	23.29	0.13	0.20	0.05	0.33	0.05	0.20	0.82	1.06	18.14	99.02
52	30267	PML52 b	10.40	14.90	20.43	19.35	50.58	0.16	0.20	0.05	0.50	0.05	0.23	0.60	1.13	9.17	101.11
54	30268	PML54	10.94	12.66	6.06	55.30	8.31	0.02	0.20	0.05	0.05	0.03	0.16	0.94	0.51	28.15	99.02
56	30269	PML56 1	8.63	12.78	1.71	45.69	30.82	0.04	0.20	0.05	0.05	0.07	0.24	1.75	0.67	19.13	99.52
56	30270	PML56 2	8.63	12.78	14.69	16.17	58.28	0.07	0.20	0.05	0.32	0.05	0.41	0.65	0.67	10.52	101.19
57	30271	PML57	10.09	13.00	23.79	23.61	40.92	0.05	0.20	0.05	0.11	0.03	0.24	0.84	0.83	10.83	100.46
58	30272	PML58	10.55	12.57	26.28	16.34	46.16	0.24	0.20	0.05	0.56	0.08	0.54	0.71	1.41	9.82	100.89
59	30273	PML59 1	13.36	15.36	19.72	22.84	44.07	0.11	0.20	0.05	0.30	0.05	0.28	0.79	1.08	12.24	100.43
60	30274	PML60	13.09	14.80	22.65	23.64	41.02	0.18	0.20	0.05	0.83	0.05	0.20	0.72	0.95	10.82	100.15
63	30275	PML63	14.94	18.09	20.01	19.14	48.80	0.16	0.20	0.05	0.51	0.06	0.27	0.68	1.29	9.81	99.48
64	30276	PML64 1	14.95	18.82	22.08	31.84	31.88	0.20	0.20	0.05	0.51	0.07	0.25	0.74	1.86	11.96	99.56
64	30277	PML64 2	14.95	18.82	21.79	21.83	43.19	0.14	0.20	0.05	0.55	0.06	0.30	0.72	1.44	11.81	100.43
64	30278	PML65 a	14.14	17.96	22.01	23.80	39.41	0.10	0.20	0.05	0.28	0.03	0.20	0.77	1.50	11.86	98.51
65	30279	PML65 b	14.14	17.96	20.76	17.10	51.00	0.18	0.20	0.05	0.59	0.05	0.29	0.66	1.19	9.12	99.80
67	30280	PML67	13.18	21.07	18.94	26.01	40.90	0.16	0.20	0.05	0.58	0.06	0.23	0.85	0.84	12.41	100.20
68	30281	PML68	12.41	20.35	16.80	20.05	51.79	0.08	0.20	0.05	0.18	0.06	0.27	0.67	0.87	10.77	100.70
72	30283	PML72 1	10.96	20.76	13.44	27.11	44.82	0.03	0.20	0.05	0.05	0.05	0.26	0.78	0.56	13.24	99.81
72	30284	PML72 2	10.96	20.76	3.78	56.50	20.07	0.05	0.20	0.05	0.05	0.06	0.23	1.32	0.79	18.05	100.08
73	30285	PML73 a	9.30	21.74	19.83	22.66	44.38	0.11	0.20	0.05	0.31	0.05	0.34	0.89	1.13	11.15	99.76
75	30287	PML75	10.64	22.06	11.14	29.01	43.38	0.04	0.20	0.07	0.05	0.06	0.29	0.88	1.10	14.23	99.14
76	30288	PML76 b	18.30	13.21	20.43	20.01	47.30	0.09	0.20	0.07	0.31	0.03	0.38	0.66	1.39	10.18	99.47
77	30289	PML77	16.65	14.15	18.56	17.33	52.16	0.12	0.20	0.09	0.40	0.03	0.40	0.54	1.24	9.41	99.04
78	30290	PML78	12.27	6.62	44.76	26.45	14.12	0.05	0.20	0.07	0.26	0.02	0.18	0.55	0.89	12.64	99.11
79	30291	PML79	12.04	6.50	52.87	15.33	20.96	0.07	0.20	0.07	0.20	0.03	0.26	0.49	1.11	7.88	98.18
83	30292	PML83	9.65	4.80	18.95	21.20	49.36	0.08	0.20	0.07	0.40	0.02	0.29	0.65	1.08	9.67	100.69
85	30293	PML85	20.72	16.12	36.21	18.47	33.43	0.18	0.20	0.09	0.53	0.08	0.24	0.93	2.27	8.91	99.06
86	30294	PML86	20.68	15.94	30.99	16.47	41.61	0.15	0.20	0.07	0.38	0.03	0.32	0.93	2.02	9.00	99.96
87	30295	PML87	22.02	17.86	11.43	12.81	63.07	0.07	0.20	0.09	0.36	0.03	0.54	0.46	1.53	11.18	100.03
89	30296	PML89 1	19.92	21.01	21.07	23.16	43.00	0.14	0.20	0.05	0.32	0.03	0.37	0.65	1.51	11.17	99.93
92	30299	PML92 2	17.07	21.06	20.38	20.25	47.48	0.09	0.20	0.05	0.69	0.03	0.32	0.68	0.67	9.53	99.50
93	30300	PML93	17.98	21.72	10.40	12.83	65.08	0.11	0.20	0.05	0.51	0.02	0.76	0.47	0.89	9.27	99.47
94	30301	PML94	18.17	21.52	20.50	17.47	52.41	0.03	0.20	0.05	0.05	0.03	0.26	0.66	0.64	8.16	99.56
96	30302	PML96	14.28	22.05	16.60	28.03	39.43	0.11	0.20	0.05	0.40	0.03	0.46	0.71	1.65	14.02	99.81
97	30303	PML97	12.69	23.34	20.64	31.73	32.81	0.06	0.20	0.05	0.31	0.03	0.27	0.69	0.83	14.16	100.72
99	30304	PML99	13.03	25.10	17.31	22.03	46.55	0.12	0.20	0.05	0.55	0.05	0.50	0.60	1.79	12.00	99.73
103	30307	PML103 1	14.61	23.79	15.16	39.88	26.13	0.04	0.20	0.05	0.09	0.03	0.34	0.58	0.80	18.09	100.38
106	30308	PML106	10.39	25.03	16.36	21.30	50.32	0.08	0.20	0.05	0.16	0.06	0.49	0.78	1.49	10.12	99.70
109	30309	PML109	6.90	22.06	14.41	24.43	46.36	0.06	0.20	0.05	0.28	0.05	0.44	0.66	1.74	12.87	99.57
113	30310	PML113	10.30	27.04	21.80	19.53	48.19	0.07	0.20	0.05	0.14	0.06	0.31	0.58	1.47	8.91	99.61
116	30451	PML116	8.98	28.72	18.58	17.68	51.12	0.07	0.20	0.05	0.25	0.07	0.19	0.58	0.72	10.43	98.99

ANALYSES DES MAJEURS

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	S102	AL203	FE203	MGO	CAO	NA20	K20	MN02	P205	T102	P110	P1000	SOM
120	30454	PML 120	14.04	24.61	21.57	36.00	23.55	0.04	0.20	0.05	0.18	0.02	0.15	0.65	0.56	16.47	98.68
125	30455	PML 125 1	10.23	31.79	20.68	16.81	49.53	0.07	0.20	0.05	0.14	0.06	0.36	0.63	1.56	10.63	98.93
125	30456	PML 125 2	10.23	31.79	16.75	14.01	53.99	0.14	0.20	0.05	0.35	0.05	0.94	0.46	0.73	11.64	98.40
126	30457	PML 126	10.25	31.81	19.19	27.41	35.83	0.08	0.20	0.05	0.15	0.07	0.37	0.77	1.16	14.60	98.48
126	30458	PML 126 b	10.25	31.81	18.98	25.84	37.89	0.07	0.20	0.05	0.14	0.07	0.40	0.77	1.08	14.18	98.35
128	30459	PML 128	9.28	33.50	9.17	13.44	64.12	0.11	0.20	0.05	0.12	0.08	0.35	0.37	0.95	12.67	100.60
129	30460	PML 129	9.28	33.51	13.42	18.81	51.70	0.09	0.20	0.05	0.12	0.11	0.32	0.56	1.26	13.58	98.72
130	30461	PML 130 1	9.13	33.82	19.00	22.28	45.92	0.15	0.20	0.05	0.29	0.05	0.23	0.56	0.99	11.59	100.09
131	30462	PML 131	8.46	34.76	19.56	20.01	45.90	0.06	0.20	0.05	0.23	0.05	0.38	0.77	0.85	11.96	98.92
133	30463	PML 133	25.56	23.13	17.74	18.04	50.93	0.14	0.20	0.05	0.39	0.03	0.31	0.53	1.72	11.28	99.49
135	30464	PML 135	24.54	26.21	40.58	14.65	33.26	0.10	0.20	0.05	0.21	0.03	0.23	0.58	1.11	8.94	98.60
137	30465	PML 137	24.94	30.21	9.40	12.26	68.50	0.07	0.20	0.05	0.13	0.03	0.23	0.28	1.37	8.87	99.81
140	30466	PML 140	20.39	31.72	21.75	18.67	47.36	0.20	0.20	0.05	0.67	0.02	0.23	0.58	0.68	9.35	98.88
144	30468	PML 144	28.74	28.00	24.14	14.72	51.76	0.19	0.20	0.05	0.69	0.06	0.32	0.53	1.04	8.22	100.65
145	30469	PML 145 b	28.99	28.78	16.68	16.75	54.95	0.28	0.20	0.05	0.89	0.03	0.18	0.47	0.62	9.19	99.46
146	30470	PML 146	28.72	28.90	17.35	15.31	55.80	0.14	0.20	0.05	0.34	0.05	0.34	0.51	1.49	9.56	99.43
147	30471	PML 147	30.72	29.66	12.03	24.00	49.80	0.09	0.20	0.05	0.31	0.05	0.33	0.77	1.15	12.42	99.85
148	30472	PML 148	29.74	31.35	32.01	17.31	39.52	0.15	0.20	0.05	0.27	0.05	0.33	0.71	1.30	9.75	100.14
149	30473	PML 149	30.11	31.52	15.10	21.57	49.08	0.16	0.20	0.07	0.39	0.05	0.34	0.73	1.44	12.23	99.92
151	30474	PML 151 1	30.71	34.56	17.98	16.79	55.70	0.15	0.20	0.13	1.02	0.02	0.23	0.61	0.83	7.60	100.27
151	30475	PML 151 2	30.71	34.56	21.85	16.32	50.50	0.10	0.20	0.05	0.32	0.05	0.30	0.58	1.17	9.78	99.84
154	30476	PML 154 1	28.07	37.42	9.94	19.38	56.40	0.09	0.20	0.05	0.07	0.30	0.52	0.55	0.71	11.38	98.76
155	30477	PML 155	27.89	37.26	17.37	18.11	53.30	0.06	0.20	0.05	0.05	0.05	0.28	0.65	0.76	9.66	99.57
157	30479	PML 157	27.91	37.81	25.04	15.19	49.25	0.12	0.20	0.05	0.25	0.05	0.32	0.60	1.58	9.45	100.30
159	30480	PML 159	23.52	25.96	18.37	17.72	52.87	0.12	0.20	0.05	0.31	0.06	0.40	0.56	1.12	10.27	100.73
160	30481	PML 160	20.84	24.87	19.84	16.16	53.90	0.15	0.20	0.09	0.48	0.03	0.24	0.58	0.86	8.42	99.97
161	30482	PML 161	17.79	23.01	17.93	23.22	44.45	0.10	0.20	0.05	0.32	0.03	0.35	0.67	0.96	12.37	99.51
165	30483	PML 165	20.61	23.79	15.09	15.47	58.79	0.11	0.20	0.05	0.41	0.03	0.18	0.56	0.80	9.12	99.83
166	30484	PML 166	20.46	23.88	17.44	20.20	51.33	0.19	0.20	0.05	0.47	0.05	0.22	0.68	0.99	9.75	100.39
167	30485	PML 167	19.43	24.50	23.82	23.21	40.84	0.18	0.20	0.05	0.53	0.05	0.19	0.87	1.51	10.92	100.68
168	30486	PML 168	22.23	26.69	15.92	17.01	55.75	0.11	0.20	0.05	0.36	0.05	0.39	0.56	0.83	9.97	100.18
169	30487	PML 169	21.33	27.30	19.40	18.88	50.89	0.17	0.20	0.07	0.36	0.05	0.36	0.78	1.73	9.85	100.86
171	30489	PML 171	19.28	28.26	36.44	16.98	35.32	0.17	0.20	0.05	0.46	0.05	0.15	0.79	1.40	8.83	99.25
173	30490	PML 173 a	7.24	16.39	5.69	24.15	55.58	0.04	0.20	0.05	0.10	0.05	0.28	1.01	0.60	12.68	99.64
174	30491	PML 174	6.96	16.36	16.14	16.92	55.38	0.18	0.20	0.25	1.06	0.03	0.15	0.49	0.80	8.93	99.66
175	30492	PML 175	6.68	16.46	3.89	59.20	4.51	0.02	0.20	0.05	0.05	0.03	0.15	0.72	0.47	30.15	98.73
202	30503	PML 202 a	7.89	13.61	17.13	22.20	46.25	0.04	0.20	0.05	0.19	0.07	0.17	0.58	0.38	13.20	99.85

Annexe 2

Fichier des résultats d'analyse par spectrométrie d'émission à plasma ICP
des échantillons de cuirasses de la région de Kangaba.

(Laboratoire du CSGS - Strasbourg)

Partie II

- Analyses des éléments traces, exprimées en p.p.m.: Sr, Ba, V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Sc, Y, Zr, Nb;
- Analyses des Terres Rares, exprimées en p.p.m.: La, Ce, Eu, Yb, Lu;
- Indicatif de terrain des échantillons: NOTR;
- Numéro de Laboratoire des échantillons: INDR;
- Indicateurs de terrain simplifié des échantillons: INTR.

ANALYSES DES ELEMENTS TRACES ET DES TERRES RARES

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	LA	CE	EU	YB	LU	NB
1	29203	PML1	14	48	1983	37	14	1252	33	67	46	13	247	5	252	8.9	7.2	0.1	9
2	29204	PML2	18	68	1097	43	15	974	146	81	26	14	299	15	89	7.5	5.0	0.1	14
3	29205	PML3 a	6	20	1200	40	7	1369	36	90	35	8	250	11	77	8.0	4.8	0.1	13
4	29207	PML4	26	112	585	48	7	472	35	36	23	15	403	19	79	4.2	3.8	0.1	26
5	29208	PML5	23	114	538	57	19	522	32	38	18	17	411	32	82	3.7	3.5	0.1	16
6	29209	PML6	20	121	580	58	18	911	41	102	22	14	345	20	64	4.4	3.4	0.1	16
8	29210	PML8 a	19	115	996	34	15	1224	53	98	37	13	258	14	97	6.0	4.2	0.1	15
10	29212	PML10	11	15	847	46	20	1432	33	37	30	9	289	17	87	8.5	3.6	0.1	17
11	29213	PML11	12	30	1058	48	16	1275	65	67	33	11	286	18	96	8.3	4.6	0.1	13
12	29214	PML12	24	676	462	38	46	542	45	77	22	19	328	22	132	6.9	3.3	0.1	9
13	29216	LML13 b	27	130	1305	31	11	1290	27	13	36	18	348	20	110	7.0	5.2	0.1	15
15	29218	LML15 b	22	170	798	42	15	2078	37	69	28	14	260	14	65	4.9	3.4	0.1	9
16	29219	PML16	17	65	1131	38	18	1133	38	82	32	11	172	9	85	5.6	4.1	0.1	14
19	29220	PML19	27	52	263	4	5	377	12	1	11	11	162	16	44	2.5	1.9	0.1	12
20	29221	PML20	4	16	1048	7	9	1474	17	24	21	9	226	7	50	8.7	3.5	0.1	10
22	29223	PML22 b	25	37	861	32	9	595	41	24	25	10	215	17	57	3.3	3.0	0.1	9
23	29224	PML23 1	32	43	314	6	5	296	34	20	19	11	218	20	39	2.0	1.9	0.1	16
26	29225	PML26 1	39	249	685	30	6	586	27	13	25	14	226	8	48	2.0	2.7	0.1	9
28	29226	PML28 1	45	74	849	60	11	844	47	38	26	14	311	23	73	3.6	3.7	0.1	16
33	29229	PML33	24	99	1020	55	5	1535	36	43	26	14	322	11	86	3.5	3.6	0.1	15
36	29230	PML36	28	135	578	54	13	533	61	92	18	15	366	15	44	2.0	3.1	0.1	12
38	29231	PML38	16	12	975	28	7	574	32	10	26	12	202	5	155	2.0	4.6	0.1	9
41	29233	PML41	22	117	466	35	14	609	42	19	16	11	297	12	71	2.0	2.8	0.1	9
48	29235	PML48 2	25	197	968	40	5	3523	23	129	92	12	191	24	159	2.0	4.3	0.1	3
51	29236	PML51	19	163	501	35	29	638	27	42	17	28	630	22	120	2.0	4.7	0.1	17
53	29237	PML53	38	36	765	23	9	1032	20	15	25	12	285	21	148	2.0	3.8	0.1	8
55	29238	PML55	23	184	370	143	32	501	46	50	17	17	404	11	99	2.0	3.2	0.1	11
61	29239	PML61	16	88	810	47	15	1434	45	36	25	13	308	6	113	2.3	3.9	0.1	12
62	29240	PML62	22	298	2184	27	7	894	63	18	41	14	184	5	287	6.1	8.2	0.1	6
66	29241	PML66	30	171	601	30	21	786	40	36	22	16	292	15	167	2.2	3.6	0.1	14
69	29242	PML69	47	199	2317	32	7	1166	55	19	34	16	196	17	270	6.4	8.1	0.1	14
71	29243	PML71	30	46	632	15	8	555	30	13	25	10	253	25	98	2.8	3.3	0.1	11
76	29244	PML76	21	86	617	38	16	694	43	30	18	14	400	13	96	2.0	3.6	0.1	14
80	29245	PML80	18	111	1278	20	10	1210	50	32	25	17	304	9	187	4.0	5.8	0.1	10
81	29246	PML81	20	85	681	47	19	585	51	34	14	14	354	18	110	2.0	3.8	0.1	13
82	29247	PML82	25	110	904	43	17	612	38	30	44	13	242	9	124	3.9	4.4	0.1	7
84	29248	PML84	22	96	605	38	23	287	27	34	11	14	360	13	103	2.0	3.5	0.1	8
88	29249	PML88	18	85	502	30	15	580	42	28	16	14	340	10	95	3.4	4.0	1.0	43
90	29251	PML90	38	193	654	56	20	953	65	58	20	16	274	13	95	2.0	3.9	0.1	14
91	29252	PML91	20	105	585	74	16	598	127	27	35	11	173	5	79	2.0	3.1	0.1	13
95	29253	PML95	42	105	1000	30	14	749	59	46	30	13	256	16	144	2.0	4.5	0.1	13
98	29254	PML98	35	134	1033	59	23	1045	57	47	22	11	234	9	165	2.0	4.5	0.1	10
100	29256	PML100	34	308	1079	37	8	848	45	28	44	13	193	7	183	4.3	4.6	0.1	4
101	29257	PML101	18	41	859	34	13	689	42	31	37	7	181	12	123	2.0	3.3	0.1	5
102	29258	PML102	21	48	931	76	27	815	130	41	43	9	210	13	124	2.1	3.8	0.1	10
103	29259	PML103	55	183	1575	9	12	1404	36	27	23	15	247	17	223	4.9	6.1	0.1	8
104	29260	PML104	29	205	1301	15	9	983	44	44	43	12	227	5	183	3.8	5.1	0.1	6
105	29261	PML105	16	95	722	58	36	720	68	66	15	15	234	21	120	2.7	4.1	0.1	29
106	29262	PML106 2	18	102	934	35	13	1517	61	43	20	9	246	22	155	6.0	4.2	0.1	35
107	29263	PML107	33	46	638	22	18	1161	44	31	22	12	317	42	141	5.5	4.0	0.1	39

ANALYSES DES ELEMENTS TRACES ET DES TERRES RARES

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	LA	CE	EU	YB	LU	NB
108	29264	PML 108	14	6	1450	23	9	2608	46	23	38	12	437	26	170	5.2	6.2	0.1	43
110	29265	PML 110	20	71	820	40	26	1599	83	44	21	13	295	22	123	6.9	4.7	0.1	37
111	29266	PML 111	24	33	798	34	9	1473	61	39	17	11	331	35	141	6.1	4.6	0.1	33
112	29267	PML 112	44	104	983	22	18	1077	113	52	34	10	259	27	178	2.0	2.7	0.1	5
114	29268	PML 114	23	47	801	35	22	2157	92	41	25	12	307	19	80	3.0	3.2	0.1	9
115	29269	PML 115	15	69	674	29	7	648	56	63	41	4	170	15	67	5.0	1.9	0.1	6
118	29270	PML 118	13	49	731	37	15	1172	71	34	18	9	254	5	155	3.5	2.8	0.1	11
119	29271	PML 119	18	159	615	42	11	1158	67	42	20	12	317	20	60	2.0	3.0	0.1	8
120	29272	PML 120 1	30	198	1141	26	10	1651	72	41	26	17	381	12	93	4.1	4.1	0.1	8
121	29273	PML 121	65	70	999	28	6	1104	87	73	33	9	171	33	133	2.1	2.9	0.1	12
122	29274	PML 122	40	29	1282	28	10	2038	136	240	72	18	117	20	139	4.7	6.0	0.1	5
123	29275	PML 123 1	10	47	511	61	20	762	153	166	35	10	107	12	135	2.4	1.9	0.1	5
123	29296	PML 123 2	21	152	708	65	14	1303	47	45	37	9	170	18	142	3.6	3.0	0.1	8
124	29297	PML 124	17	40	1150	53	13	1967	54	40	30	12	294	14	179	3.6	4.9	0.1	12
127	29298	PML 127	16	87	668	61	21	1162	85	71	29	13	236	11	139	2.0	3.4	0.1	9
132	29299	PML 132	112	405	728	96	8	1095	103	64	24	17	301	18	119	2.0	2.9	0.1	4
134	29300	PML 134	31	76	884	41	15	476	63	74	24	14	261	5	127	2.0	3.0	0.1	2
136	29301	PML 136	18	129	1155	47	13	753	53	28	23	12	285	5	155	2.0	3.3	0.1	2
138	29302	PML 138	36	232	1261	17	5	619	56	18	24	13	220	7	169	2.0	3.8	0.1	2
139	29303	PML 139	16	96	1469	44	12	903	82	32	24	13	346	5	184	2.0	4.8	0.1	2
141	29304	PML 141	69	512	1279	27	12	1109	48	32	27	13	178	5	108	4.4	4.3	0.1	4
143	29305	PML 143	21	84	868	16	20	462	58	43	16	19	340	19	98	2.0	4.0	0.1	10
145	29306	PML 145 1	16	43	1107	12	12	699	56	26	25	10	218	9	168	4.7	3.5	0.1	7
150	29308	PML 150 1	159	283	311	27	18	233	158	100	33	9	151	5	21	2.0	1.4	0.1	2
150	29309	PML 150 2	39	66	384	27	15	424	72	56	16	13	248	20	35	2.9	1.7	0.1	4
152	29310	PML 152 1	201	303	1140	20	10	647	61	26	49	15	190	18	91	3.5	3.9	0.1	7
152	29311	PML 152 2	58	137	807	30	19	705	66	40	24	13	200	17	85	1.9	3.0	0.1	4
153	29312	PML 153	59	403	1916	13	24	610	23	25	30	13	202	16	232	5.2	5.8	0.1	14
156	29314	PML 156	18	23	857	19	5	721	34	47	45	5	185	23	98	3.8	2.3	0.1	13
158	29315	PML 158	39	116	649	22	5	329	57	63	20	25	383	31	97	2.7	4.1	0.1	16
162	29316	PML 162	17	109	901	23	5	1104	58	65	31	9	230	12	84	2.3	2.9	0.1	4
163	29317	PML 163	22	81	966	15	5	823	33	54	30	7	161	7	75	3.2	3.1	0.1	7
164	29318	PML 164	21	21	1268	12	5	673	35	20	28	16	367	151	89	4.6	4.5	0.1	16
168	29321	PML 168	21	90	563	45	20	655	54	53	24	12	246	20	88	2.0	3.1	0.1	12
170	29322	PML 170	21	63	913	34	28	448	53	57	15	14	299	18	91	2.3	3.7	0.1	15
172	29326	PML 172	29	161	691	43	21	802	78	76	26	14	287	23	87	2.2	3.3	0.1	11
9	30196	PML 9	9	29	1423	18	6	1418	45	52	33	7	235	3	102	2.9	4.8	0.1	12
14	30198	PML 14	16	19	788	4	5	1053	21	10	22	13	241	5	67	1.0	3.5	0.2	10
17	30199	PML 17	28	159	1104	13	5	1421	48	42	31	13	288	12	94	2.0	4.5	0.3	12
18	30200	PML 18	55	114	1091	19	5	454	37	18	30	9	165	22	112	2.1	3.7	0.1	11
21	30201	PML 21	36	107	430	33	13	183	60	24	14	7	108	8	48	1.2	1.9	0.1	11
24	30202	PML 24	28	34	198	1	5	294	21	27	10	9	194	18	40	1.7	1.5	0.2	9
25	30203	PML 25	29	41	638	31	7	633	62	61	22	10	190	15	60	2.1	2.9	0.4	13
27	30205	PML 27	31	86	909	50	16	656	51	50	17	11	245	22	101	2.1	3.7	0.2	15
29	30206	PML 29	26	76	670	24	11	757	56	49	29	14	302	16	70	1.7	3.6	0.1	13
30	30207	PML 30	31	46	845	23	10	726	54	38	27	11	342	15	87	2.2	3.9	0.1	19
31	30208	PML 31	32	251	686	7	5	600	31	38	31	14	219	15	72	1.5	3.4	0.1	12
32	30209	PML 32	20	329	112	66	10	92	71	209	15	14	95	11	28	1.1	1.7	0.1	4
34	30210	PML 34 1	19	20	691	1	5	1343	90	20	19	15	317	9	71	1.5	3.7	0.3	15
34	30211	PML 34 2	15	37	734	192	12	1180	45	65	34	12	301	6	56	1.4	2.8	0.1	15

ANALYSES DES ELEMENTS TRACES ET DES TERRES RARES

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

.....

INTR	INDR	NOTR	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	LA	CE	EU	YB	LU	NB
35	30213	PML35 b	20	26	1162	45	8	558	25	16	29	12	163	8	55	2.0	3.6	0.1	11
37	30214	PML37 1	64	55	297	193	23	110	320	27	52	11	89	138	295	2.4	1.1	0.1	10
39	30215	PML39 1	21	47	267	92	17	291	308	68	68	8	104	10	27	1.4	1.1	0.1	10
40	30216	PML40	21	129	460	67	18	463	67	36	24	14	372	8	39	1.5	2.2	0.1	15
42	30217	PML42	22	91	420	66	20	543	40	26	19	12	339	13	61	1.6	2.1	0.1	17
47	30222	PML47	21	118	798	59	11	2746	48	65	35	12	292	13	61	1.8	2.8	0.1	14
49	30223	PML49 1	18	94	799	59	14	1715	49	46	22	13	260	11	60	1.7	2.8	0.1	16
49	30224	PML49 2	41	70	517	348	48	1669	284	199	41	18	153	14	45	1.7	2.4	0.1	12
50	30225	PML50 1	22	117	1368	44	7	1874	80	47	47	11	199	15	92	2.8	3.9	0.1	12
50	30265	PML50 2	30	97	885	20	7	1586	31	54	36	12	200	13	46	2.3	3.4	0.1	12
52	30266	PML52 a	31	96	419	37	5	1016	23	57	21	12	325	20	54	1.0	2.5	0.3	15
52	30267	PML52 b	28	137	757	58	22	1353	32	75	24	11	232	22	51	1.7	2.7	0.1	12
54	30268	PML54	44	24	245	119	5	425	3	7	12	12	243	14	35	1.0	2.3	0.2	8
56	30269	PML56 1	14	27	448	21	10	567	56	15	22	23	488	592	16	1.6	3.7	0.1	22
56	30270	PML56 2	21	61	510	85	15	611	135	101	54	14	173	15	50	2.3	2.6	0.1	13
57	30271	PML57	37	55	536	71	12	433	23	16	26	10	289	14	59	1.0	2.0	0.1	19
58	30272	PML58	21	145	559	93	34	521	41	43	17	14	324	11	69	1.0	2.3	0.1	22
59	30273	PML59 1	23	73	619	56	14	1084	42	43	21	14	322	14	43	1.0	2.4	0.1	18
60	30274	PML60	27	184	549	55	9	937	27	25	24	13	232	7	50	1.0	2.1	0.1	15
63	30275	PML63	19	166	632	82	15	1050	46	34	23	13	270	7	50	1.0	2.3	0.1	15
64	30276	PML64 1	20	147	596	60	11	810	32	40	23	13	288	5	51	1.0	2.6	0.3	16
64	30277	PML64 2	14	140	594	54	17	773	31	50	20	15	333	6	51	1.0	2.4	0.1	15
65	30278	PML65 a	15	92	2825	44	11	986	26	27	28	9	248	9	145	4.9	7.1	0.1	11
65	30279	PML65 b	18	143	882	71	17	980	50	43	21	13	316	11	70	1.0	2.8	0.1	15
67	30280	PML67	36	168	742	62	10	1240	43	47	26	14	273	18	76	1.0	2.6	0.1	17
68	30281	PML68	22	63	1149	74	13	1381	50	59	34	9	214	11	85	1.0	2.8	0.1	14
72	30283	PML72 1	55	75	789	43	7	759	35	31	23	11	214	40	107	3.1	2.2	0.1	14
72	30284	PML72 2	48	43	601	17	5	1917	13	13	22	13	411	30	55	1.0	2.6	0.2	17
73	30285	PML73 a	31	85	826	24	5	945	30	38	22	14	318	20	73	1.0	2.8	0.1	18
75	30287	PML75	27	35	874	48	7	1144	53	40	31	11	311	27	87	1.0	2.8	0.1	16
76	30288	PML76 b	25	90	988	52	12	997	78	37	19	13	298	16	82	1.6	3.1	0.1	16
77	30289	PML77	27	102	638	60	11	1474	51	51	26	11	296	9	57	1.0	2.1	0.1	19
78	30290	PML78	12	64	360	43	6	349	27	29	13	10	227	3	33	1.0	1.8	0.1	13
79	30291	PML79	11	49	626	27	6	631	34	19	13	10	258	13	65	1.0	2.3	0.1	15
83	30292	PML83	13	93	1120	27	7	1018	38	21	42	8	217	3	73	1.0	2.9	0.1	15
85	30293	PML85	24	131	610	45	21	643	52	42	18	18	449	17	76	1.0	2.9	0.3	20
86	30294	PML86	17	91	638	60	17	312	31	25	15	16	396	12	77	1.0	2.9	0.1	19
87	30295	PML87	20	79	543	27	7	446	48	34	23	12	224	16	67	1.0	1.6	0.1	13
89	30296	PML89 1	18	85	581	24	10	344	38	29	19	9	332	21	51	2.6	2.6	0.3	16
92	30299	PML92 2	23	186	1792	36	11	1227	35	33	67	11	210	11	102	4.7	5.1	0.2	10
93	30300	PML93	19	114	454	144	20	424	276	26	35	10	155	5	45	1.4	1.7	0.1	9
94	30301	PML94	11	17	554	91	10	1955	67	269	25	12	118	3	36	1.0	2.5	0.3	9
96	30302	PML96	23	105	607	54	14	1021	58	52	22	13	307	16	74	2.4	2.9	0.3	14
97	30303	PML97	39	100	867	28	11	720	36	34	25	13	248	56	86	1.5	3.5	0.2	9
99	30304	PML99	21	133	855	53	16	1096	57	43	25	19	349	7	77	1.5	3.5	0.2	12
103	30307	PML103 1	53	93	900	20	9	807	35	25	17	9	180	23	104	3.3	3.1	0.1	10
106	30308	PML106	20	58	828	46	18	2043	71	53	23	10	306	15	76	2.6	3.3	0.5	20
109	30309	PML109	17	78	863	51	15	1617	81	47	25	12	300	13	75	2.9	3.4	0.3	14
113	30310	PML113	31	48	795	52	18	946	53	35	20	9	304	21	89	2.5	3.0	0.4	12
116	30451	PML116	12	94	804	58	16	879	34	66	51	7	200	7	58	1.0	2.5	0.1	8

ANALYSES DES ELEMENTS TRACES ET DES TERRES RARES

PLASMA I.C.P. / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	LA	CE	EU	YB	LU	NB
120	30454	PML 120	34	63	796	43	11	611	9	24	18	11	189	17	94	2.3	3.6	0.3	12
125	30455	PML 125 1	19	43	823	86	19	2669	56	115	43	10	255	27	103	1.2	3.8	0.1	16
125	30456	PML 125 2	39	102	901	88	17	1943	75	265	84	13	131	55	168	3.1	4.7	0.3	9
126	30457	PML 126	41	65	888	76	17	3514	34	98	55	9	247	82	247	2.9	3.7	0.3	18
126	30458	PML 126 b	45	63	1004	240	17	3702	38	100	63	10	254	95	278	3.3	3.9	0.1	17
128	30459	PML 128	15	86	994	130	28	1937	121	223	46	9	131	10	109	2.3	3.7	0.1	9
129	30460	PML 129	16	48	825	116	33	2709	109	129	34	10	241	11	91	1.8	3.3	0.1	12
130	30461	PML 130 1	27	110	715	102	20	2364	40	100	32	8	203	15	74	1.0	3.1	0.1	13
131	30462	PML 131	15	65	1937	101	22	4727	62	161	81	9	219	23	240	3.9	6.1	0.1	10
133	30463	PML 133	20	92	784	37	16	675	74	66	23	12	291	16	71	2.5	3.6	0.2	14
135	30464	PML 135	13	49	441	46	15	338	21	25	15	11	389	21	66	1.6	2.7	0.2	15
137	30465	PML 137	13	42	2396	65	13	567	33	40	35	6	142	10	262	5.2	6.4	0.1	7
140	30466	PML 140	49	263	1096	1	12	963	16	28	32	10	231	20	103	2.7	3.4	0.2	11
144	30468	PML 144	35	192	702	70	24	535	80	40	22	12	289	18	64	2.4	2.9	0.1	12
145	30469	PML 145 b	38	281	2508	49	15	236	24	80	49	12	134	32	291	5.3	5.5	0.1	10
146	30470	PML 146	20	101	739	90	22	544	93	59	22	11	258	16	85	1.5	3.0	0.1	19
147	30471	PML 147	29	85	1102	36	15	733	49	31	22	14	293	17	83	3.3	4.1	0.1	18
148	30472	PML 148	25	76	581	37	15	518	27	23	15	16	412	18	73	2.5	3.4	0.1	16
149	30473	PML 149	31	107	757	52	20	676	36	33	26	13	351	19	70	2.8	3.4	0.1	19
151	30474	PML 151 1	114	264	552	46	15	252	27	16	24	12	226	27	82	2.8	2.6	0.1	12
151	30475	PML 151 2	27	78	935	38	18	545	66	47	25	11	336	14	58	2.3	3.5	0.1	13
154	30476	PML 154 1	59	88	518	57	25	345	14	55	57	8	170	79	195	3.3	2.1	0.4	9
155	30477	PML 155	21	30	853	48	14	640	40	39	40	5	189	24	92	2.7	2.6	0.2	10
157	30479	PML 157	17	76	1139	24	14	587	23	38	19	15	415	23	98	4.0	4.6	0.4	18
159	30480	PML 159	35	116	1234	22	14	710	51	54	23	11	317	27	150	5.4	4.3	0.4	15
160	30481	PML 160	39	114	777	32	5	633	41	49	20	12	305	21	68	1.3	2.8	0.1	14
161	30482	PML 161	17	83	442	41	6	652	60	64	28	7	262	14	54	1.0	1.7	0.1	16
165	30483	PML 165	15	114	352	31	5	477	40	48	27	5	168	11	43	1.0	1.1	0.1	12
166	30484	PML 166	24	139	619	48	7	1011	40	40	28	9	302	18	76	1.3	2.5	0.1	14
167	30485	PML 167	25	122	660	41	6	671	24	29	20	14	403	14	68	1.3	3.1	0.1	17
168	30486	PML 168	21	94	584	29	7	599	63	30	20	11	242	15	54	2.4	2.3	0.1	10
169	30487	PML 169	36	101	848	43	11	523	44	24	16	15	355	20	97	1.4	3.7	0.1	20
171	30489	PML 171	23	117	511	47	12	631	34	39	18	18	441	18	74	1.0	3.3	0.1	19
173	30490	PML 173 a	19	42	735	18	7	1002	33	16	29	15	257	12	51	1.0	3.0	0.1	13
174	30491	PML 174	170	283	313	47	14	259	61	78	33	8	152	11	31	1.0	1.2	0.1	8
175	30492	PML 175	69	95	121	9	5	191	7	12	7	11	180	37	64	1.0	1.4	0.1	9
202	30503	PML 202 a	13	49	1748	25	5	1278	47	68	55	11	252	8	209	3.4	5.0	0.1	11

Annexe 3

Fichier des résultats d'analyses minéralogiques
par diffractométrie aux rayons X
des échantillons de cuirasses de la région de Kangaba.
(Laboratoire du CSGS - Strasbourg)

- Teneurs des minéraux ,exprimées en pourcentage: Goethite, Hématite, Kaolinite, Gibbsite, Boehmite, Quartz;
- Coordonnées des échantillons en km : XXXX, YYYY;
- Indicatif de terrain des échantillons: NOTR;
- Numéro de Laboratoire des échantillons: INDR;
- Indicateurs de terrain simplifié des échantillons: INTR.

ANALYSES MINERALOGIQUES

 RAYONS X / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	GOETHITE	HEMATITE	KAOLINITE	GIBBSITE	BOEHMITE	QUARTZ
1	29203	PML 1	12.90	9.95	25	36	38	1	0	0
2	29204	PML 2	11.93	9.08	28	28	30	8	0	6
3	29205	PML 3 a	12.11	9.22	11	42	35	11	0	0
4	29207	PML 4	11.90	9.41	10	19	55	12	0	4
5	29208	PML 5	11.93	9.78	23	14	28	0	0	34
6	29209	PML 6	13.16	10.90	29	22	24	10	0	15
8	29210	PML 8 a	12.47	11.87	33	26	24	11	0	5
10	29212	PML 10	12.65	11.36	9	33	29	27	0	2
11	29213	PML 11	12.54	11.60	25	31	30	10	0	4
12	29214	PML 12	14.04	12.09	26	45	0	7	0	22
13	29216	LML 13 b	11.66	11.48	18	14	35	17	0	1
15	29218	LML 15 b	11.08	11.40	6	31	33	27	0	2
16	29219	PML 16	11.23	11.85	18	44	27	10	0	2
19	29220	PML 19	9.71	9.01	2	3	38	57	0	0
20	29221	PML 20	9.70	8.86	5	20	18	57	0	0
22	29223	PML 22 b	8.39	9.54	4	20	47	28	0	0
23	29224	PML 23 1	8.31	9.66	4	14	22	59	0	0
26	29225	PML 26 1	8.29	9.67	5	38	49	0	0	8
28	29226	PML 28 1	5.13	9.72	15	50	28	4	0	2
33	29229	PML 33	3.76	9.12	19	41	30	6	0	4
36	29230	PML 36	4.32	8.80	13	15	7	0	0	65
38	29231	PML 38	6.22	11.64	9	20	0	59	12	0
41	29233	PML 41	15.46	11.60	0	42	22	3	0	33
48	29235	PML 48 2	13.00	12.89	37	22	39	0	0	2
51	29236	PML 51	11.14	14.49	40	14	12	0	0	34
53	29237	PML 53	10.98	12.89	8	18	23	50	0	0
55	29238	PML 55	8.80	13.25	27	0	32	0	0	41
61	29239	PML 61	15.32	14.97	30	34	22	9	0	5
62	29240	PML 62	15.10	16.55	23	30	47	0	0	0
66	29241	PML 66	14.78	19.73	23	19	40	0	0	18
69	29242	PML 69	12.43	20.36	19	26	51	4	0	0
71	29243	PML 71	10.55	20.72	8	39	25	24	4	0
76	29244	PML 76	18.30	13.21	17	30	20	5	2	26
80	29245	PML 80	11.83	6.74	18	34	24	14	0	10
81	29246	PML 81	8.56	3.67	20	24	11	8	0	37
82	29247	PML 82	10.01	6.06	10	27	33	30	0	0
84	29248	PML 84	23.11	17.67	58	11	10	0	0	22
88	29249	PML 88	20.33	19.99	12	23	21	14	0	29
90	29251	PML 90	17.45	20.80	17	33	29	13	0	9
91	29252	PML 91	16.50	19.62	20	30	27	23	0	0
95	29253	PML 95	15.63	20.09	16	28	53	3	0	0
98	29254	PML 98	13.23	23.26	14	41	28	8	3	5
100	29256	PML 100	14.04	21.45	25	29	38	2	0	5
101	29257	PML 101	14.47	23.29	16	34	50	0	0	0
102	29258	PML 102	14.60	23.24	15	30	53	0	0	1
103	29259	PML 103	14.61	23.79	6	31	46	16	0	2
104	29260	PML 104	14.77	22.34	27	37	33	2	0	0
105	29261	PML 105	11.91	25.19	53	6	13	0	0	27
106	29262	PML 106 2	9.84	24.82	20	37	33	7	0	3
107	29263	PML 107	6.53	22.24	20	21	32	22	5	0

ANALYSES MINERALOGIQUES

RAYONS X / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	GOETHITE	HEMATITE	KAOLINITE	GIBBSITE	BOEHMITE	QUARTZ
108	29264	PML 108	6.53	22.22	11	44	27	18	0	0
110	29265	PML 110	5.98	24.26	16	26	20	27	0	10
111	29266	PML 111	12.88	25.55	22	23	37	9	0	8
112	29267	PML 112	10.33	27.22	32	27	36	0	0	5
114	29268	PML 114	10.07	27.70	14	42	26	5	0	12
115	29269	PML 115	9.00	28.53	36	26	36	0	0	2
118	29270	PML 118	8.76	28.81	16	46	31	0	0	6
119	29271	PML 119	14.59	26.46	22	44	27	3	0	4
120	29272	PML 120 1	14.04	24.61	24	29	23	4	0	20
121	29273	PML 121	12.37	28.25	31	27	37	2	0	2
122	29274	PML 122	12.44	28.05	76	6	12	5	0	2
123	29275	PML 123 1	14.20	29.75	71	1	18	7	0	2
123	29296	PML 123 2	14.20	29.75	31	43	24	0	0	2
124	29297	PML 124	10.40	30.82	25	34	20	11	0	10
127	29298	PML 127	8.39	31.93	31	24	33	6	0	5
132	29299	PML 132	8.45	37.32	27	45	18	1	0	8
134	29300	PML 134	25.38	25.80	29	20	8	4	0	39
136	29301	PML 136	25.31	28.39	19	48	21	7	0	4
138	29302	PML 138	23.49	30.98	6	54	39	0	0	0
139	29303	PML 139	21.59	31.10	15	55	17	0	0	13
141	29304	PML 141	20.31	31.99	4	61	35	0	0	0
143	29305	PML 143	30.58	27.83	21	26	18	3	0	32
145	29306	PML 145 1	28.99	28.78	35	27	36	0	0	1
150	29308	PML 150 1	29.81	32.35	18	52	23	0	0	7
150	29309	PML 150 2	29.81	32.35	26	22	7	14	0	31
152	29310	PML 152 1	31.38	36.97	0	70	26	1	0	3
152	29311	PML 152 2	31.38	36.97	11	47	27	2	0	13
153	29312	PML 153	29.46	37.60	9	44	44	0	0	3
156	29314	PML 156	27.90	37.29	10	44	36	1	0	9
158	29315	PML 158	30.72	37.56	30	13	16	0	0	40
162	29316	PML 162	17.60	23.38	23	48	17	5	2	5
163	29317	PML 163	19.43	22.81	21	36	38	1	0	3
164	29318	PML 164	19.45	22.69	12	50	18	20	0	1
168	29321	PML 168	22.23	26.69	28	38	27	0	0	6
170	29322	PML 170	20.39	28.04	.	.	.	.	.	.
172	29326	PML 172	7.43	15.52	.	.	.	.	.	.
9	30196	PML 9	12.37	11.51	8	38	51	3	0	0
14	30198	PML 14	11.77	12.11	5	26	13	52	2	1
17	30199	PML 17	11.17	8.93	14	30	28	14	1	13
18	30200	PML 18	9.79	9.13	2	43	53	0	1	0
21	30201	PML 21	8.38	9.54	22	54	24	0	0	0
24	30202	PML 24	8.31	9.67	0	14	19	63	4	0
25	30203	PML 25	8.31	9.66	9	12	30	47	2	0
27	30205	PML 27	7.09	9.84	8	46	29	8	6	3
29	30206	PML 29	5.14	9.95	22	41	9	8	11	9
30	30207	PML 30	4.88	9.17	19	27	33	16	2	2
31	30208	PML 31	4.18	9.52	6	27	47	5	13	2
32	30209	PML 32	3.45	9.17	28	21	13	0	0	38
34	30210	PML 34 1	4.08	8.86	7	25	11	57	0	0
34	30211	PML 34 2	4.08	8.86	10	38	20	32	0	0

ANALYSES MINÉRALOGIQUES

RAYONS X / CSGS-STRASBOURG

INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	GOETHITE	HEMATITE	KAOLINITE	GIBBSITE	BOEHMITE	QUARTZ
35	30213	PML35 b	4.15	8.70	14	22	28	35	0	0
37	30214	PML37 1	6.44	11.68	48	33	4	14	0	0
39	30215	PML39 1	6.02	11.95	0	40	6	45	9	0
40	30216	PML40	16.28	12.08	21	33	35	5	0	6
42	30217	PML42	15.05	11.59	12	30	37	7	0	13
47	30222	PML47	12.88	13.01	21	27	40	7	0	6
49	30223	PML49 1	12.35	13.56	25	36	39	0	0	0
49	30224	PML49 2	12.35	13.56	51	17	28	4	0	0
50	30225	PML50 1	12.20	13.38	22	28	47	2	0	0
50	30265	PML50 2	12.20	13.38	15	27	56	0	0	2
52	30266	PML52 a	10.40	14.90	13	11	30	37	0	9
52	30267	PML52 b	10.40	14.90	13	41	41	0	0	5
54	30268	PML54	10.94	12.66	3	12	20	63	1	0
56	30269	PML56 1	8.63	12.78	7	30	0	45	18	0
56	30270	PML56 2	8.63	12.78	36	24	29	10	0	0
57	30271	PML57	10.09	13.00	8	28	60	4	0	0
58	30272	PML58	10.55	12.57	21	25	28	5	0	21
59	30273	PML59 1	13.36	15.36	21	33	36	10	0	0
60	30274	PML60	13.09	14.80	9	33	48	7	0	2
63	30275	PML63	14.94	18.09	14	34	39	5	0	8
64	30276	PML64 1	14.95	18.82	5	27	42	16	2	7
64	30277	PML64 2	14.95	18.82	14	16	26	30	2	12
65	30278	PML65 a	14.14	17.96	13	20	57	10	0	0
65	30279	PML65 b	14.14	17.96	20	34	32	0	0	14
67	30280	PML67	13.18	21.07	10	23	27	39	0	0
68	30281	PML68	12.41	20.35	13	39	41	6	0	0
72	30283	PML72 1	10.96	20.76	5	31	33	31	0	0
72	30284	PML72 2	10.96	20.76	4	12	11	30	37	4
73	30285	PML73 a	9.30	21.74	17	24	45	6	2	5
75	30287	PML75	10.64	22.06	7	36	18	34	4	0
76	30288	PML76 b	18.30	13.21	17	30	20	5	2	26
77	30289	PML77	16.65	14.15	25	35	32	0	0	7
78	30290	PML78	12.27	6.62	4	10	28	40	0	19
79	30291	PML79	12.04	6.50	14	14	15	10	0	46
83	30292	PML83	9.65	4.80	11	38	45	4	2	0
85	30293	PML85	20.72	16.12	19	19	30	3	0	30
86	30294	PML86	20.68	15.94	29	21	20	6	3	21
87	30295	PML87	22.02	17.86	62	30	0	0	0	7
89	30296	PML89 1	19.92	21.01	18	31	33	12	0	6
92	30299	PML92 2	17.07	21.06	23	30	37	4	0	5
93	30300	PML93	17.98	21.72	41	35	19	4	0	0
94	30301	PML94	18.17	21.52	13	24	63	0	0	0
96	30302	PML96	14.28	22.05	12	24	26	31	0	7
97	30303	PML97	12.69	23.34	5	17	47	30	0	1
99	30304	PML99	13.03	25.10	26	29	27	12	2	4
103	30307	PML103 1	14.61	23.79	5	17	32	43	3	0
106	30308	PML106	10.39	25.03	17	43	33	3	0	4
109	30309	PML109	6.90	22.06	23	25	34	16	0	2
113	30310	PML113	10.30	27.04	14	43	32	0	0	10
116	30451	PML116	8.98	28.72	30	24	42	4	0	1

ANALYSES MINERALOGIQUES

 RAYONS X / CSGS-STRAßBOURG

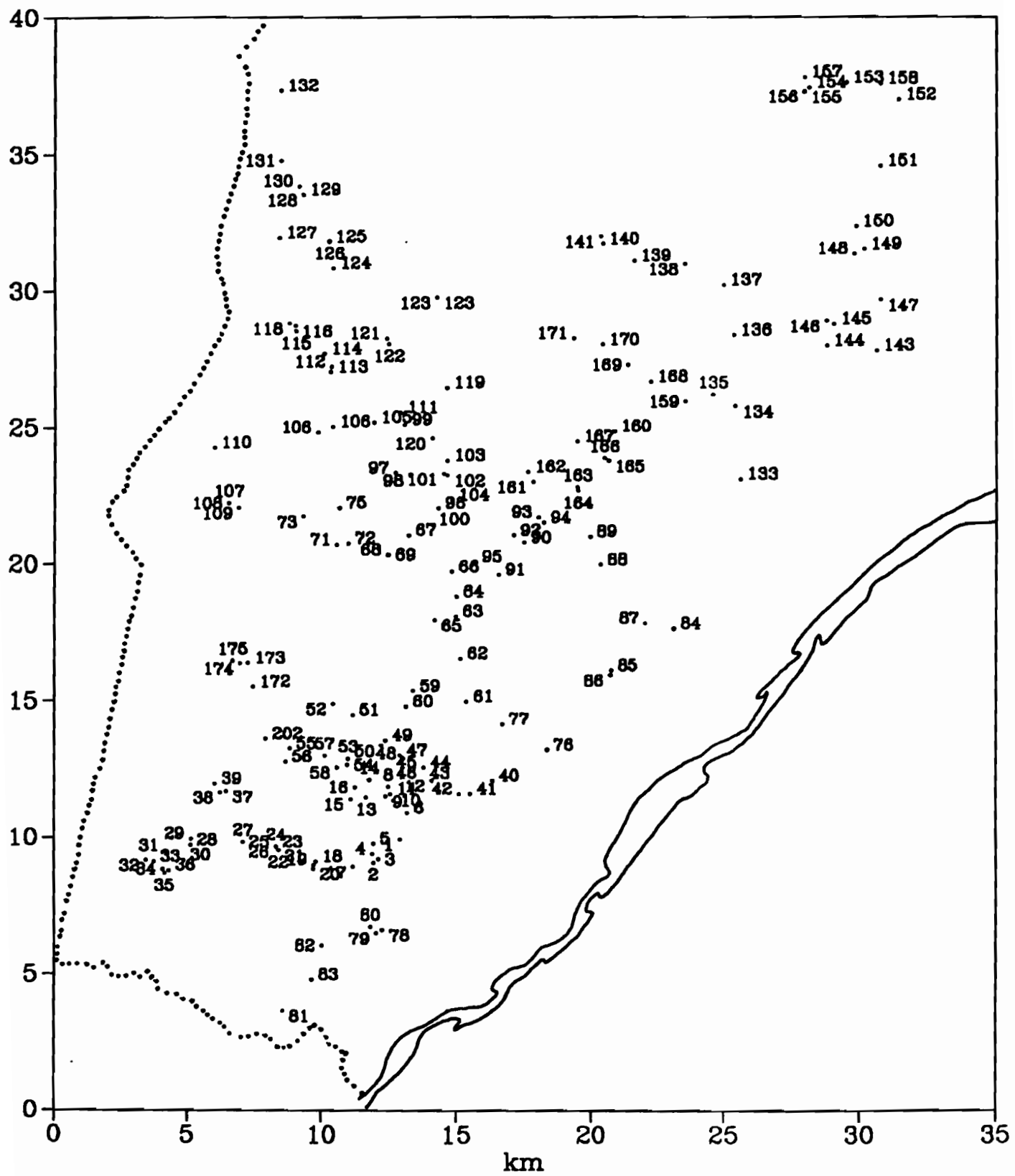
INTR	INDR	NOTR	XXXX	YYYY	GOETHITE	HEMATITE	KAOLINITE	GIBBSITE	BOEHMITE	QUARTZ
120	30454	PML 120	14.04	24.61	.	.	.	.	.	.
125	30455	PML 125 1	10.23	31.79	28	21	28	0	0	23
125	30456	PML 125 2	10.23	31.79	55	19	24	0	0	3
126	30457	PML 126	10.25	31.81	20	15	30	25	0	9
126	30458	PML 126 b	10.25	31.81	21	17	34	24	2	1
128	30459	PML 128	9.28	33.50	36	16	21	26	0	0
129	30460	PML 129	9.28	33.51	28	20	22	26	2	3
130	30461	PML 130 1	9.13	33.82	15	21	38	15	0	10
131	30462	PML 131	8.46	34.76	35	22	38	0	1	3
133	30463	PML 133	25.56	23.13	32	29	25	5	0	8
135	30464	PML 135	24.54	26.21	15	14	20	16	0	35
137	30465	PML 137	24.94	30.21	17	55	15	5	0	8
140	30466	PML 140	20.39	31.72	13	29	43	12	0	2
144	30468	PML 144	28.74	28.00	22	30	25	4	1	18
145	30469	PML 145 b	28.99	28.78	27	36	27	6	0	2
146	30470	PML 146	28.72	28.90	18	29	28	7	1	17
147	30471	PML 147	30.72	29.66	14	23	18	27	7	10
148	30472	PML 148	29.74	31.35	15	19	25	15	0	26
149	30473	PML 149	30.11	31.52	20	36	16	21	0	7
151	30474	PML 151 1	30.71	34.56	8	44	42	3	0	3
151	30475	PML 151 2	30.71	34.56	23	33	26	3	0	15
154	30476	PML 154 1	28.07	37.42	16	37	26	22	0	0
155	30477	PML 155	27.89	37.26	11	43	46	0	0	0
157	30479	PML 157	27.91	37.81	20	23	17	5	2	34
159	30480	PML 159	23.52	25.96	24	30	29	9	0	8
160	30481	PML 160	20.84	24.87	18	48	18	3	1	11
161	30482	PML 161	17.79	23.01	25	33	29	12	0	0
165	30483	PML 165	20.61	23.79	27	34	32	4	2	0
166	30484	PML 166	20.46	23.88	16	46	28	6	0	3
167	30485	PML 167	19.43	24.50	21	31	29	8	0	11
168	30486	PML 168	22.23	26.69	28	38	27	0	0	6
169	30487	PML 169	21.33	27.30	24	33	20	6	0	17
171	30489	PML 171	19.28	28.26	16	16	30	2	0	36
173	30490	PML 173 a	7.24	16.39	7	53	10	26	4	0
174	30491	PML 174	6.96	16.36	28	43	25	4	0	0
175	30492	PML 175	6.68	16.46	0	0	10	67	0	23
202	30503	PML 202 a	7.89	13.61	23	25	34	16	0	1

Annexe 4

Cartes géochimiques et minéralogiques des cuirasses de la région de Kangaba.

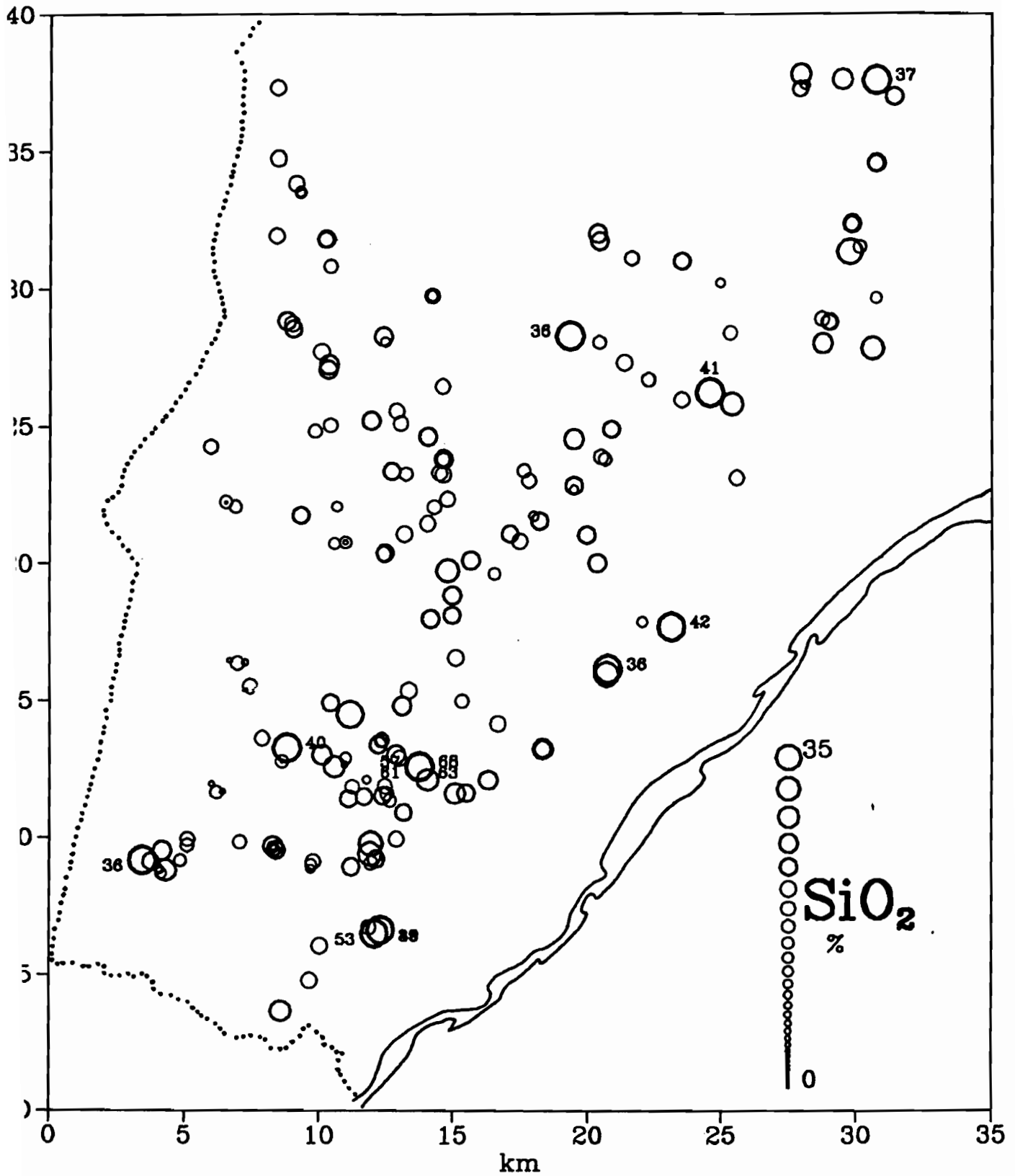
- Plan d'échantillonnage;
- Cartes géochimiques: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO_2 , P_2O_5 , TiO_2 , Perte en eau à 110°C , Perte au Feu à 1000°C , Sr, Ba, V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Sc, Y, Zr, Nb, La, Ce, Eu, Yb, Lu, Nb;
- Cartes minéralogiques: goethite, hématite, kaolinite, gibbsite, boehmite, quartz, rapport hématite/(goethite+hématite).

Plan d'échantillonnage



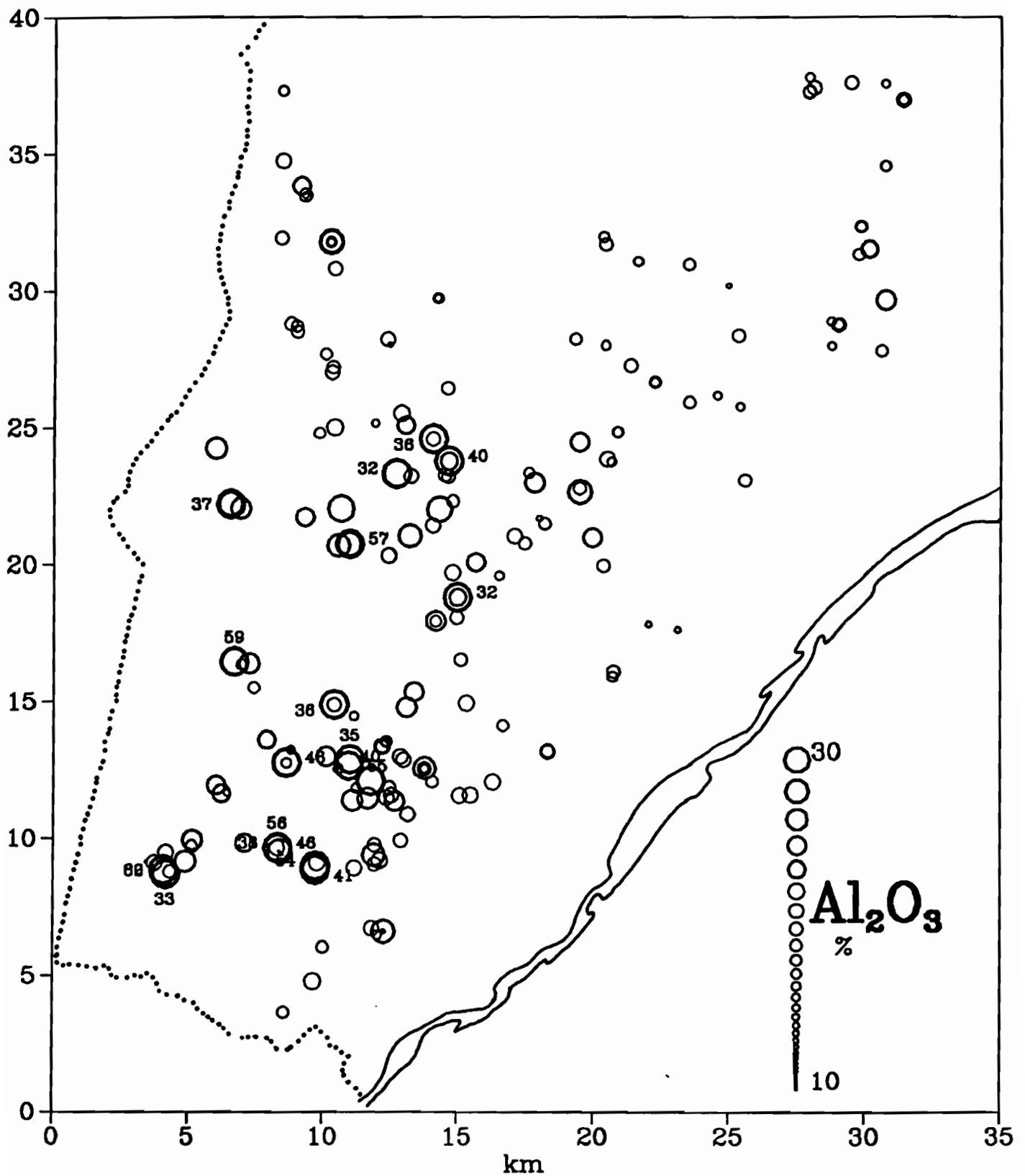
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Silice



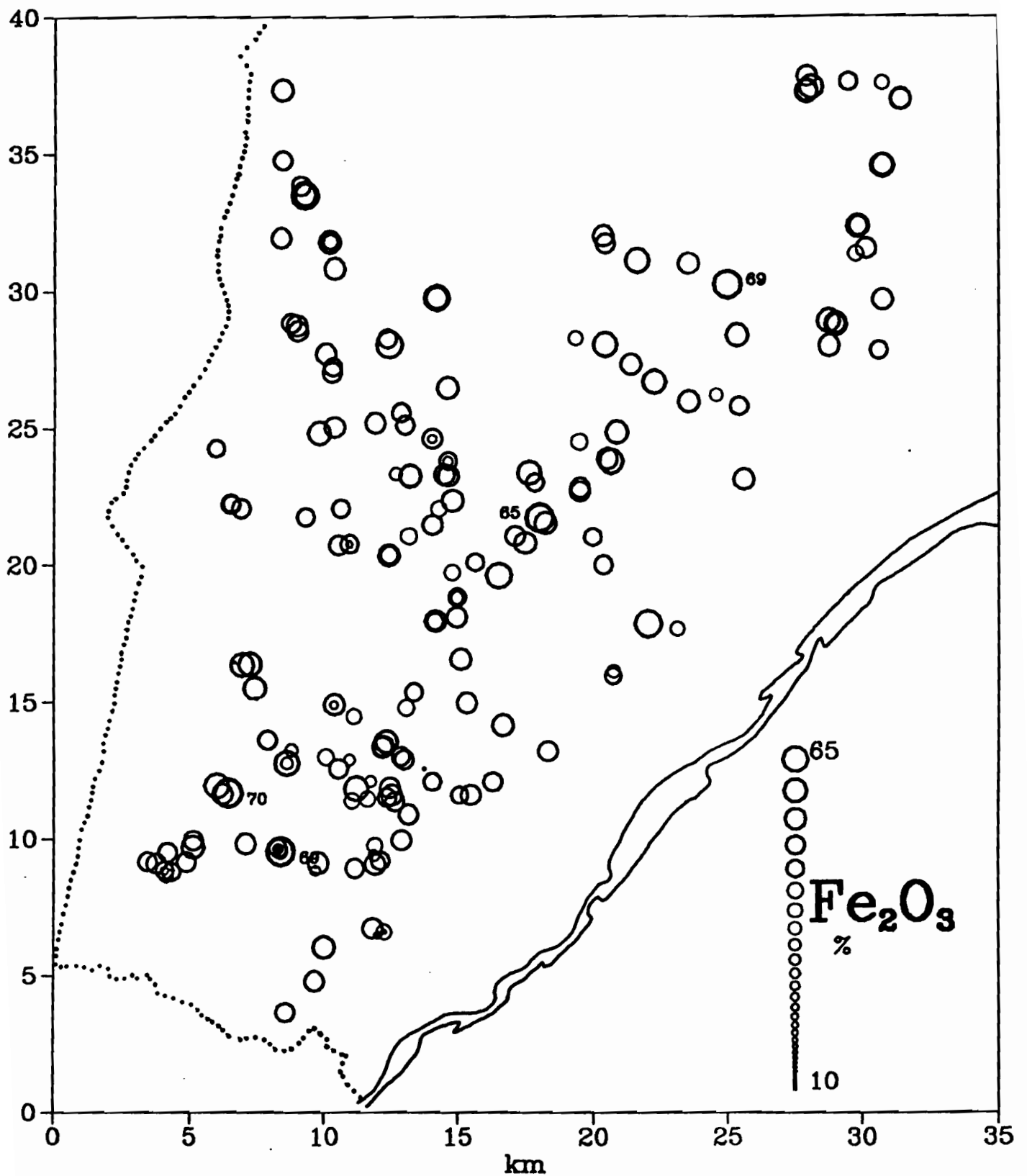
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Alumine



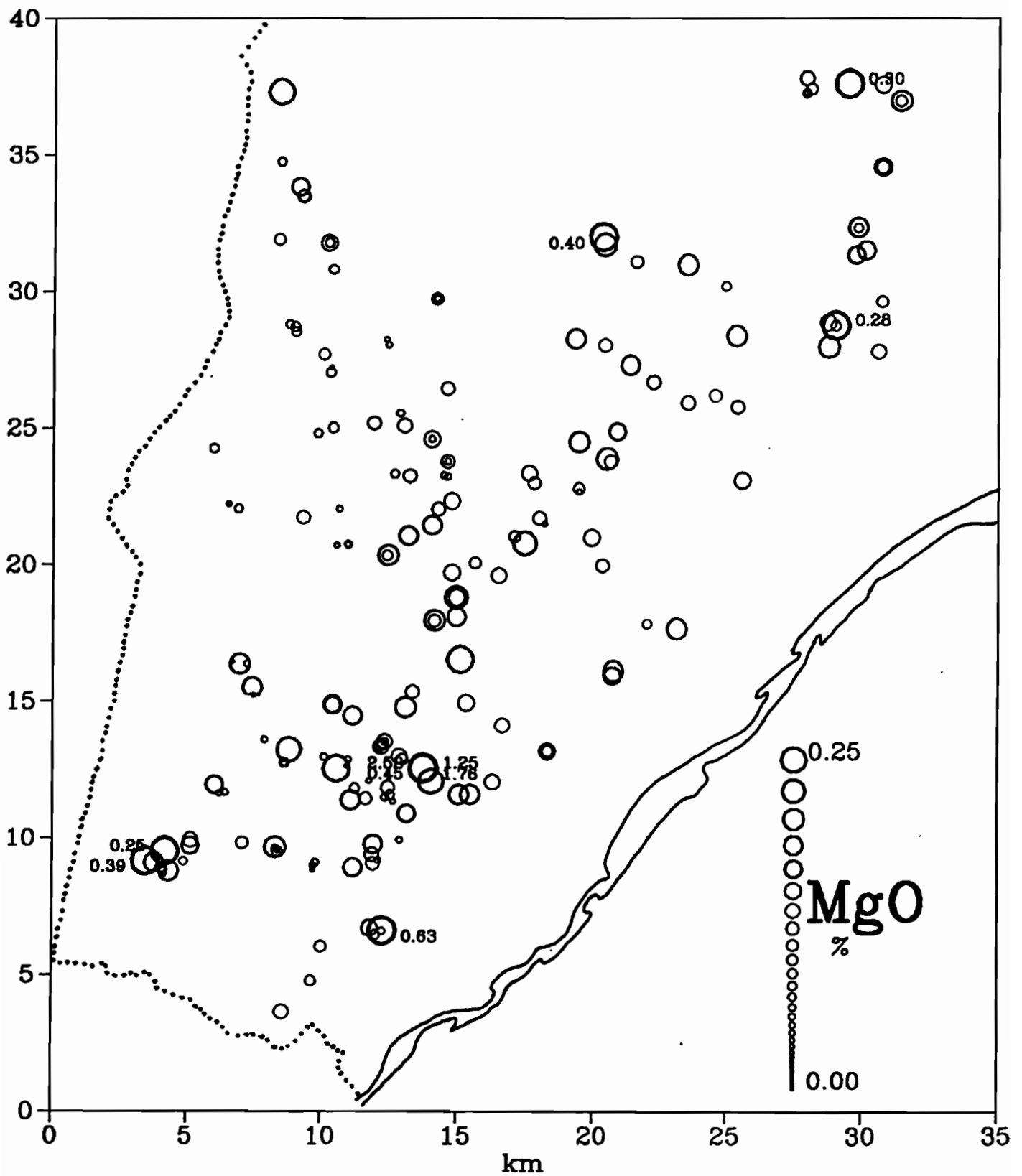
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Fer



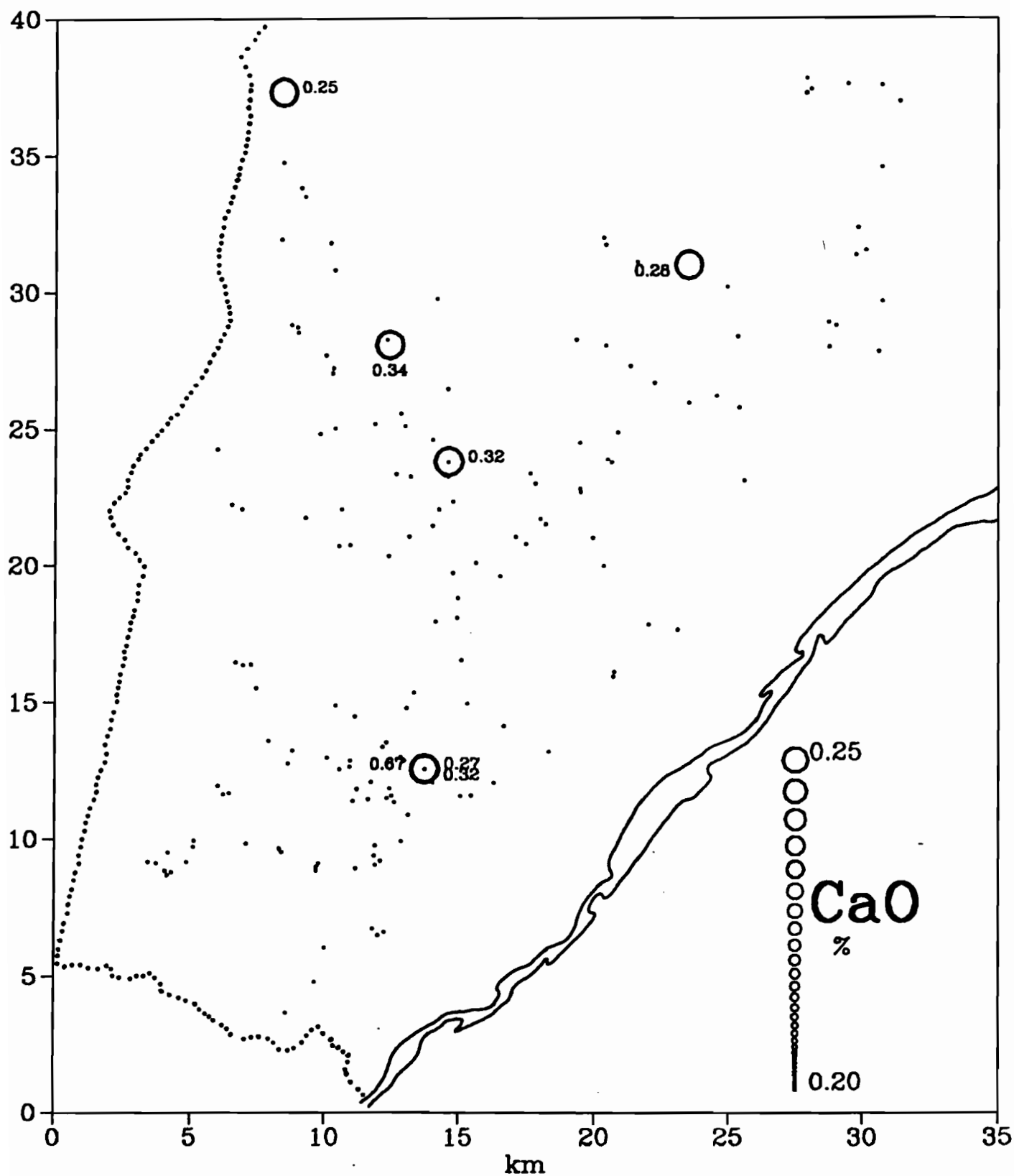
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Magnesium



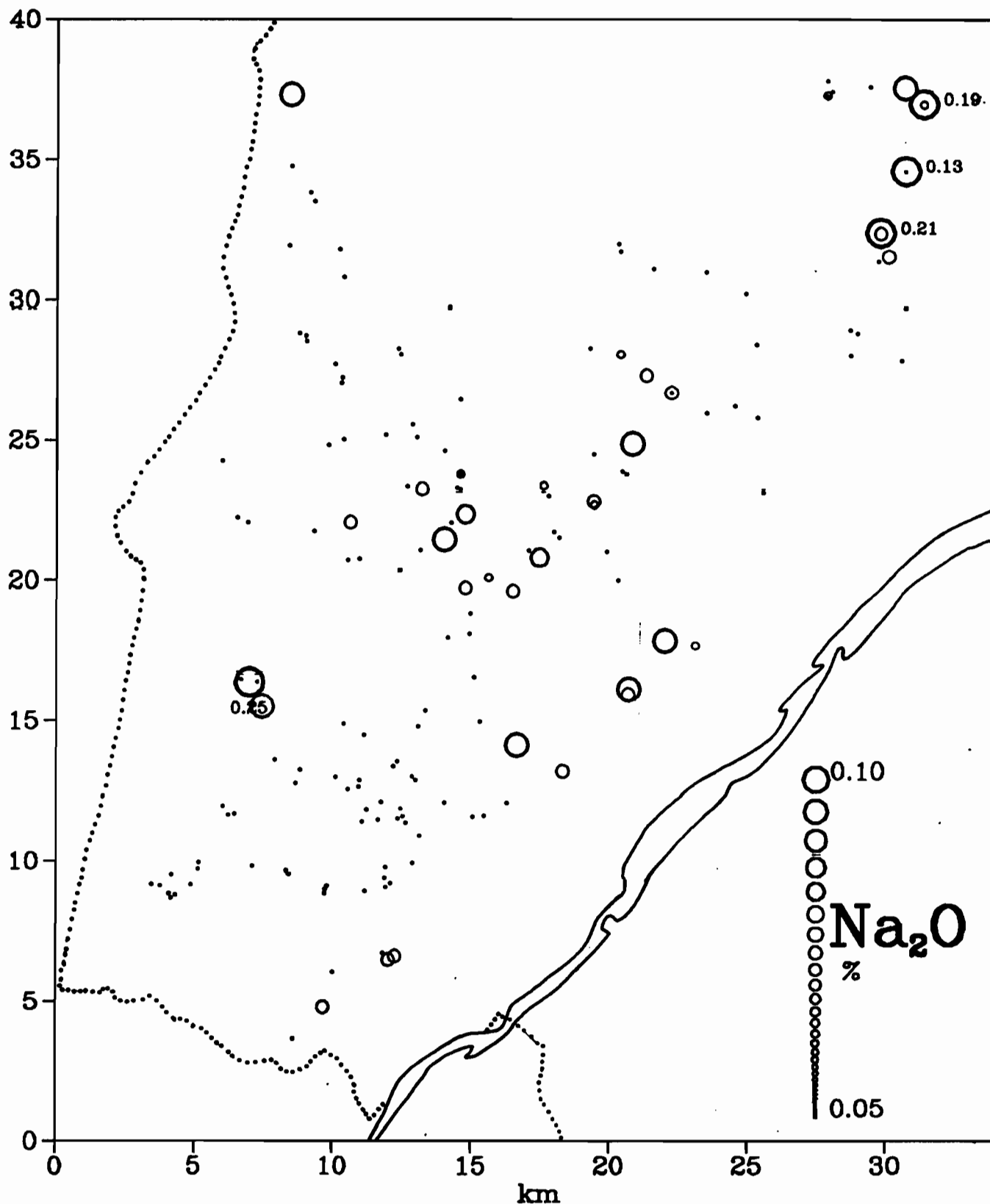
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Calcium



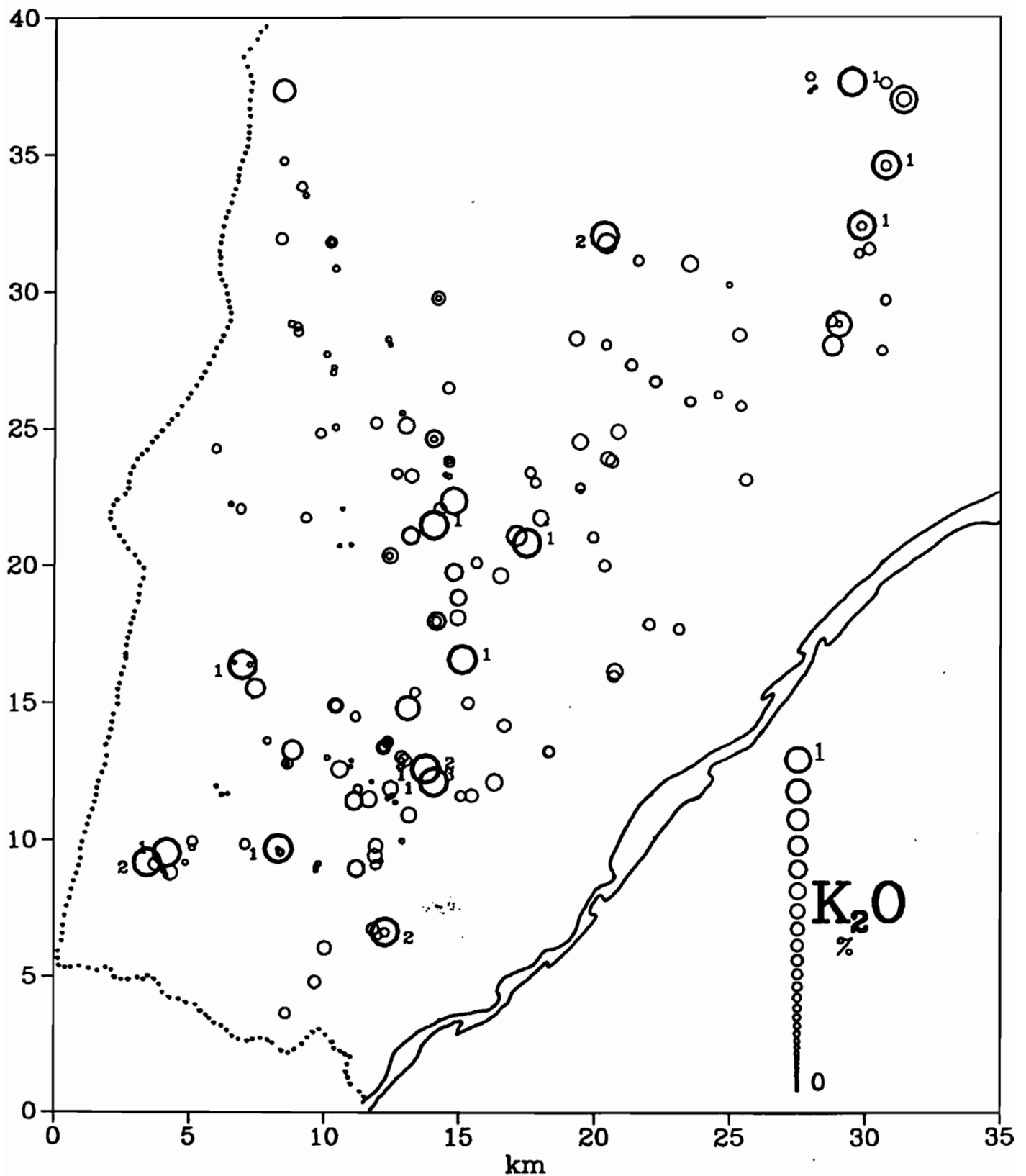
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Sodium



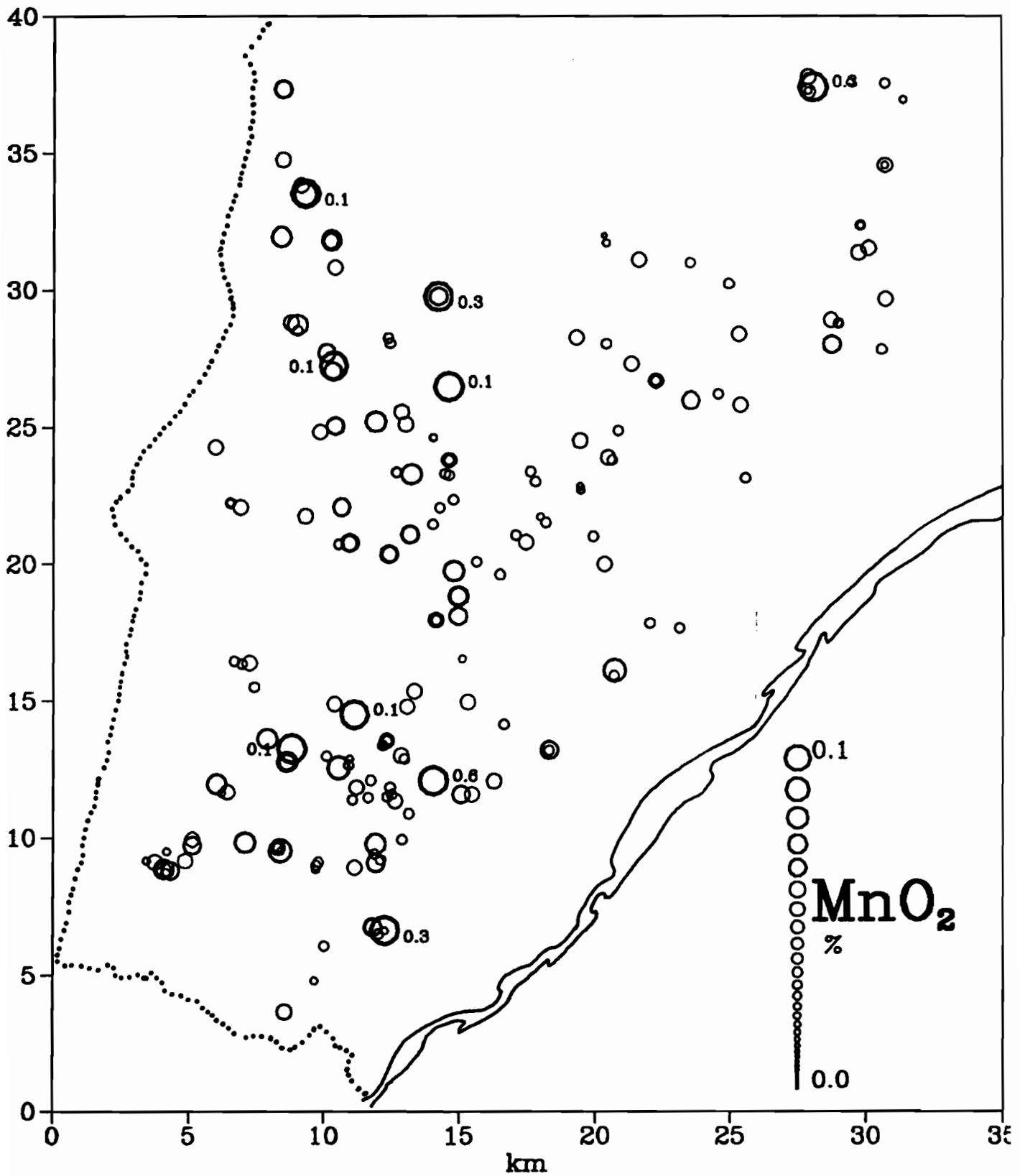
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Potassium



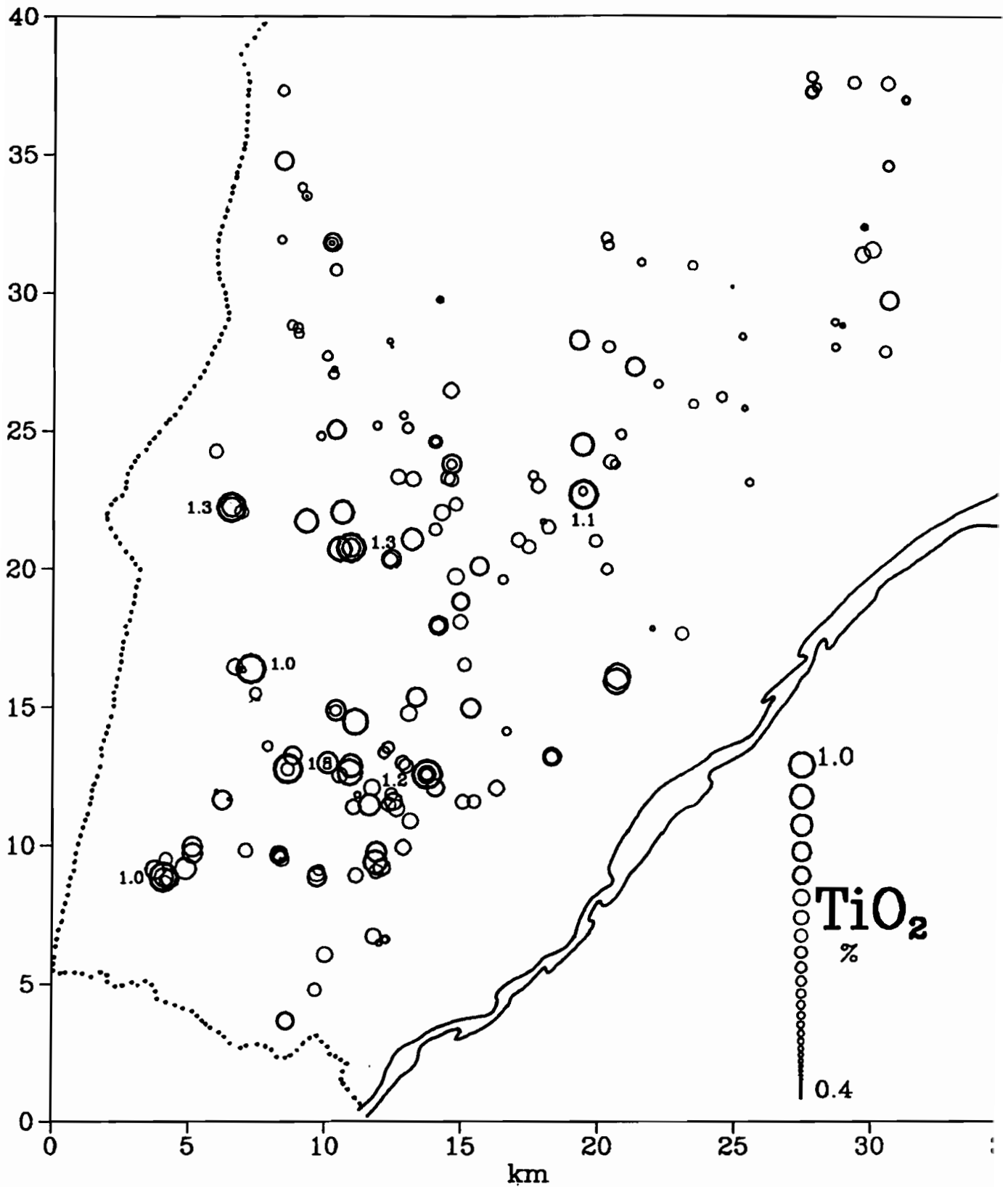
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Manganese



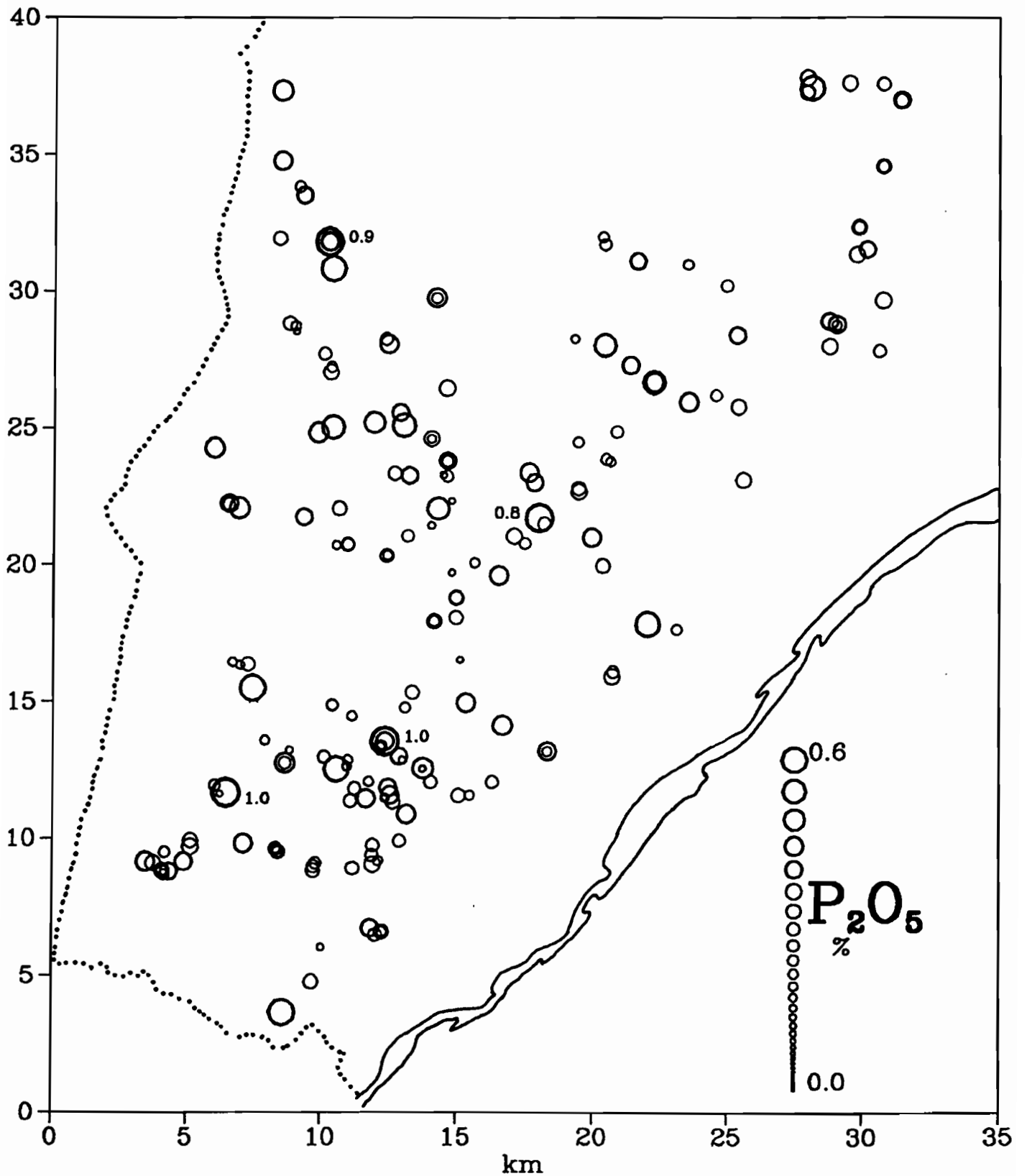
**Geochemie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Titane



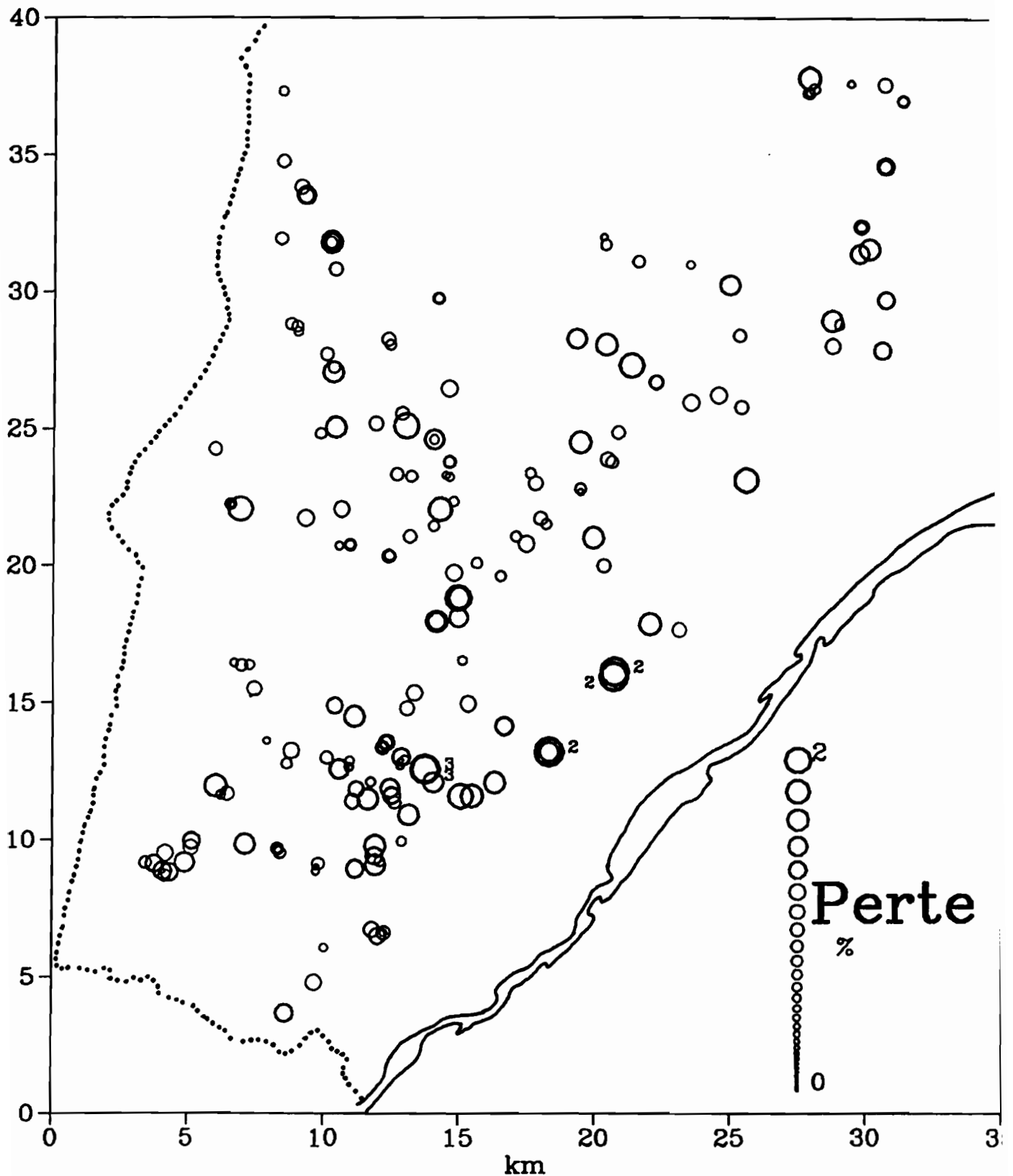
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Phosphore



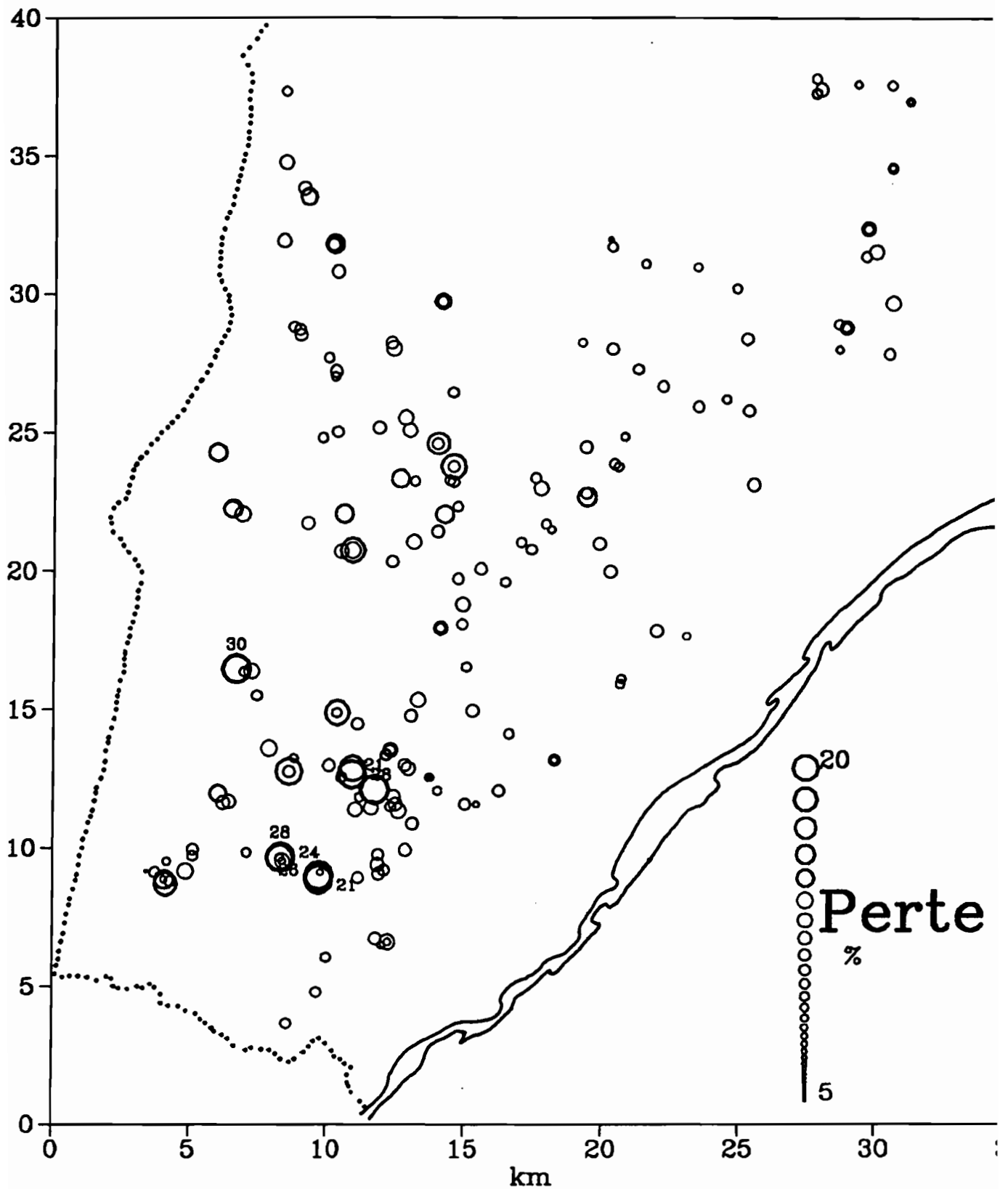
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte de la Perte au Feu a 110 C



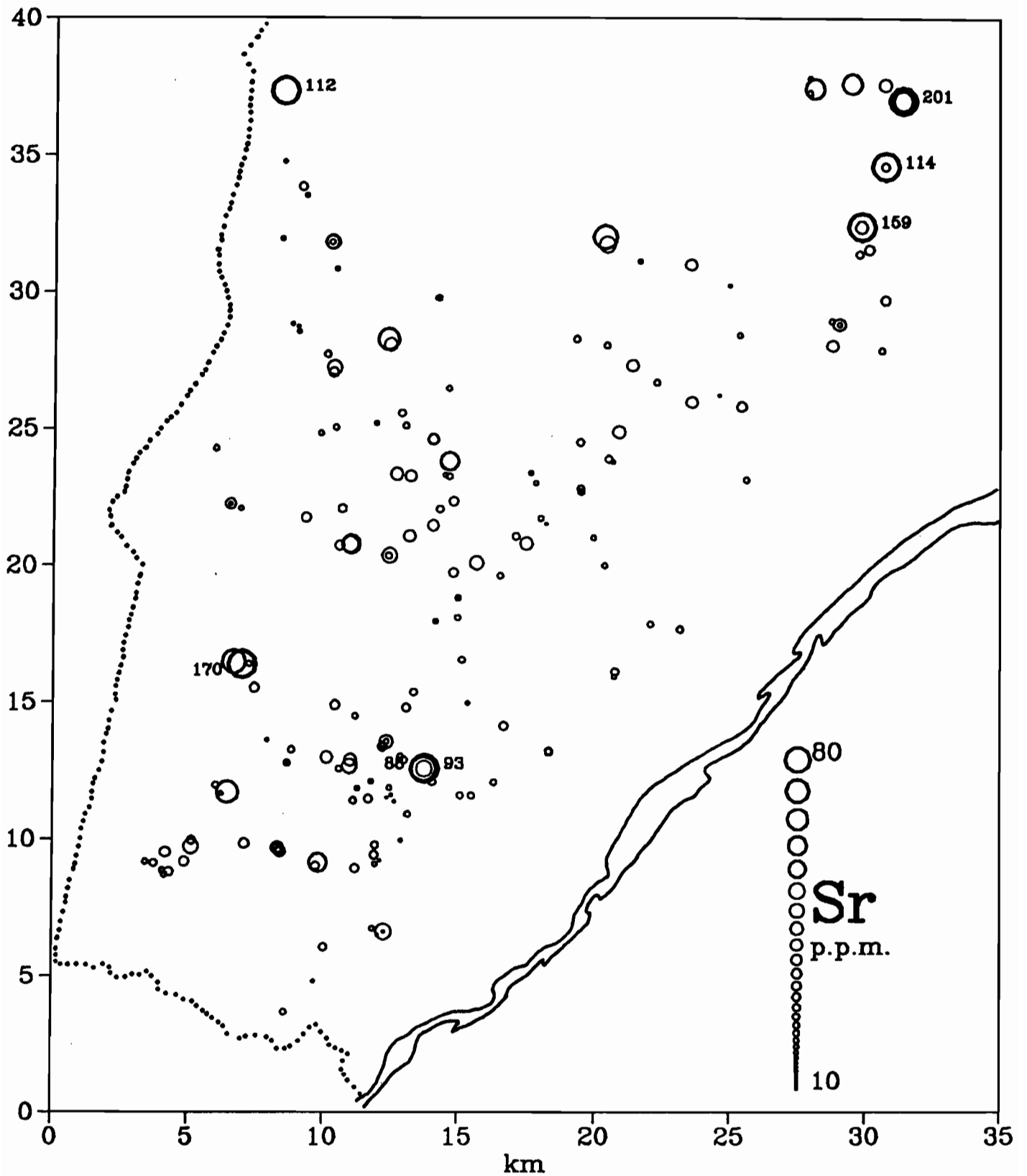
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte de la Perte au Feu a 1000 C



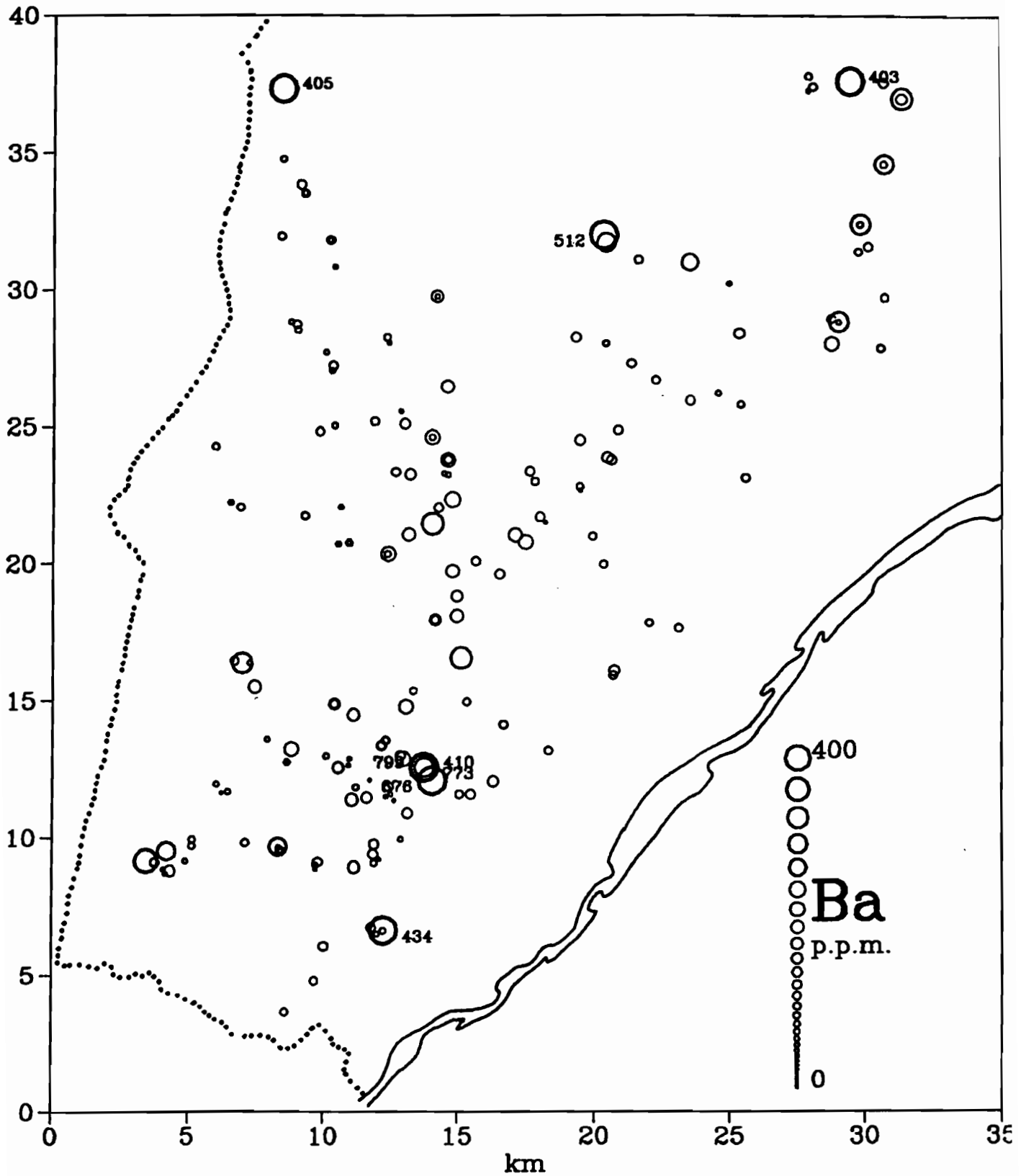
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Strontium



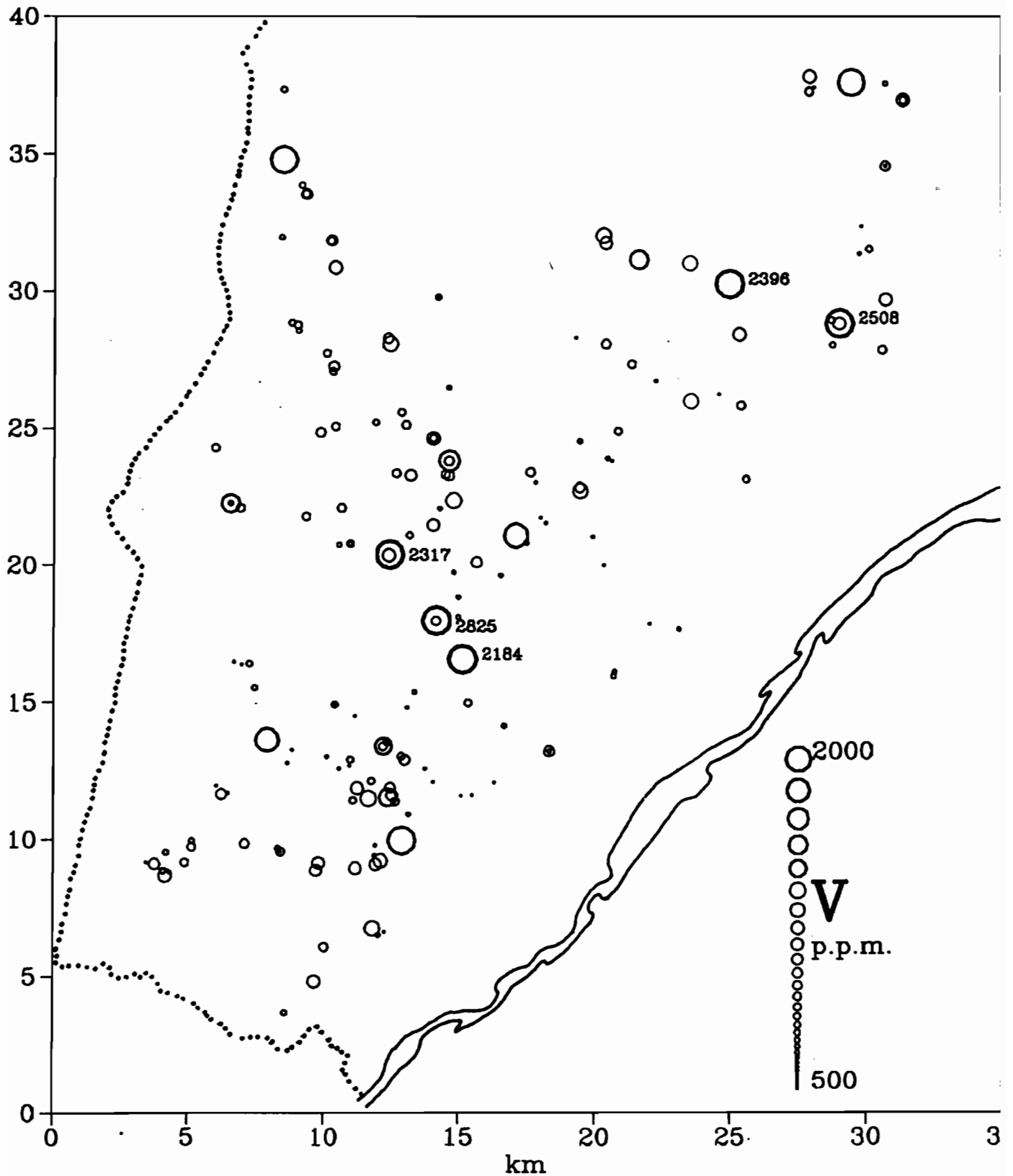
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Baryum



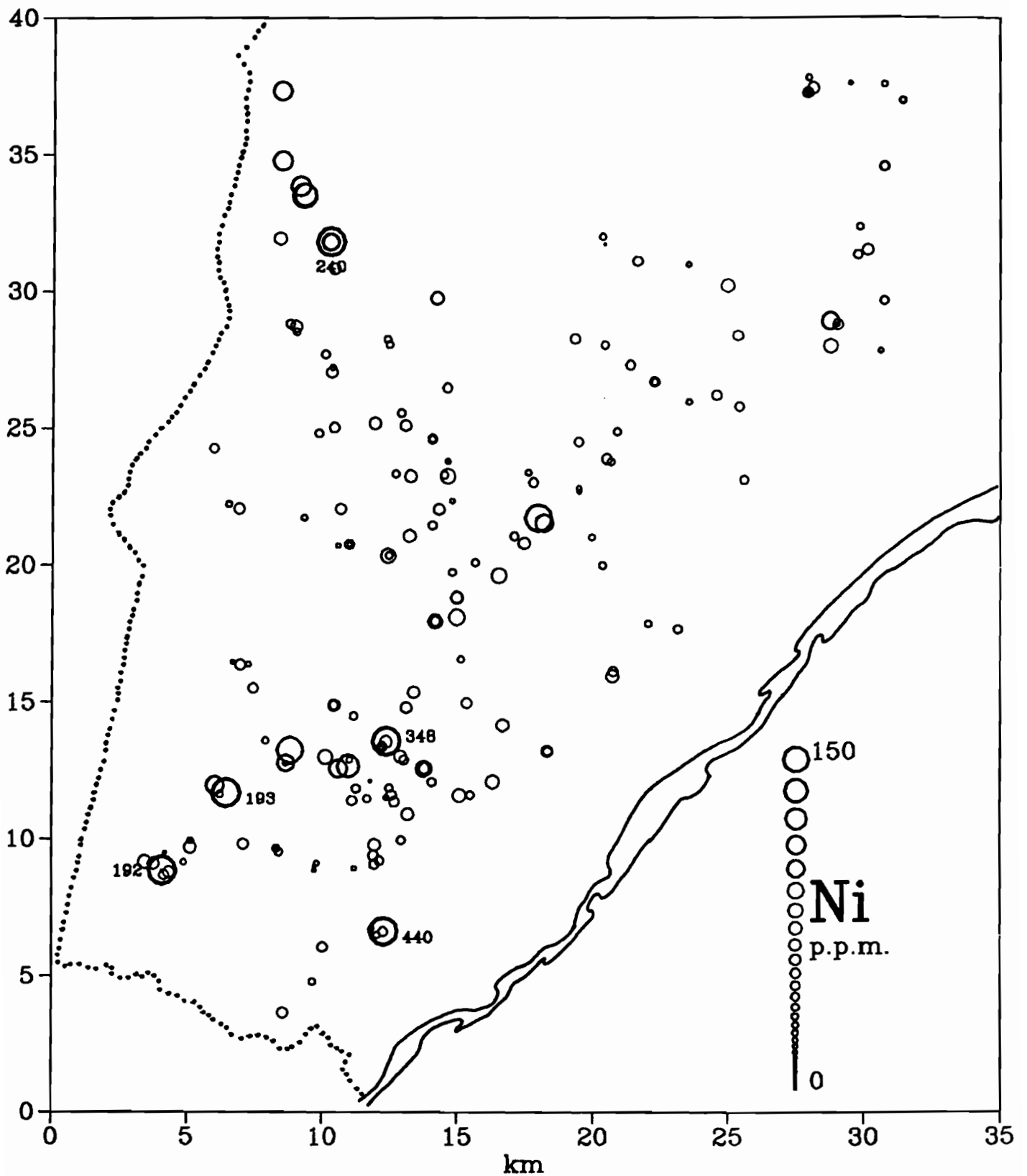
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Vanadium



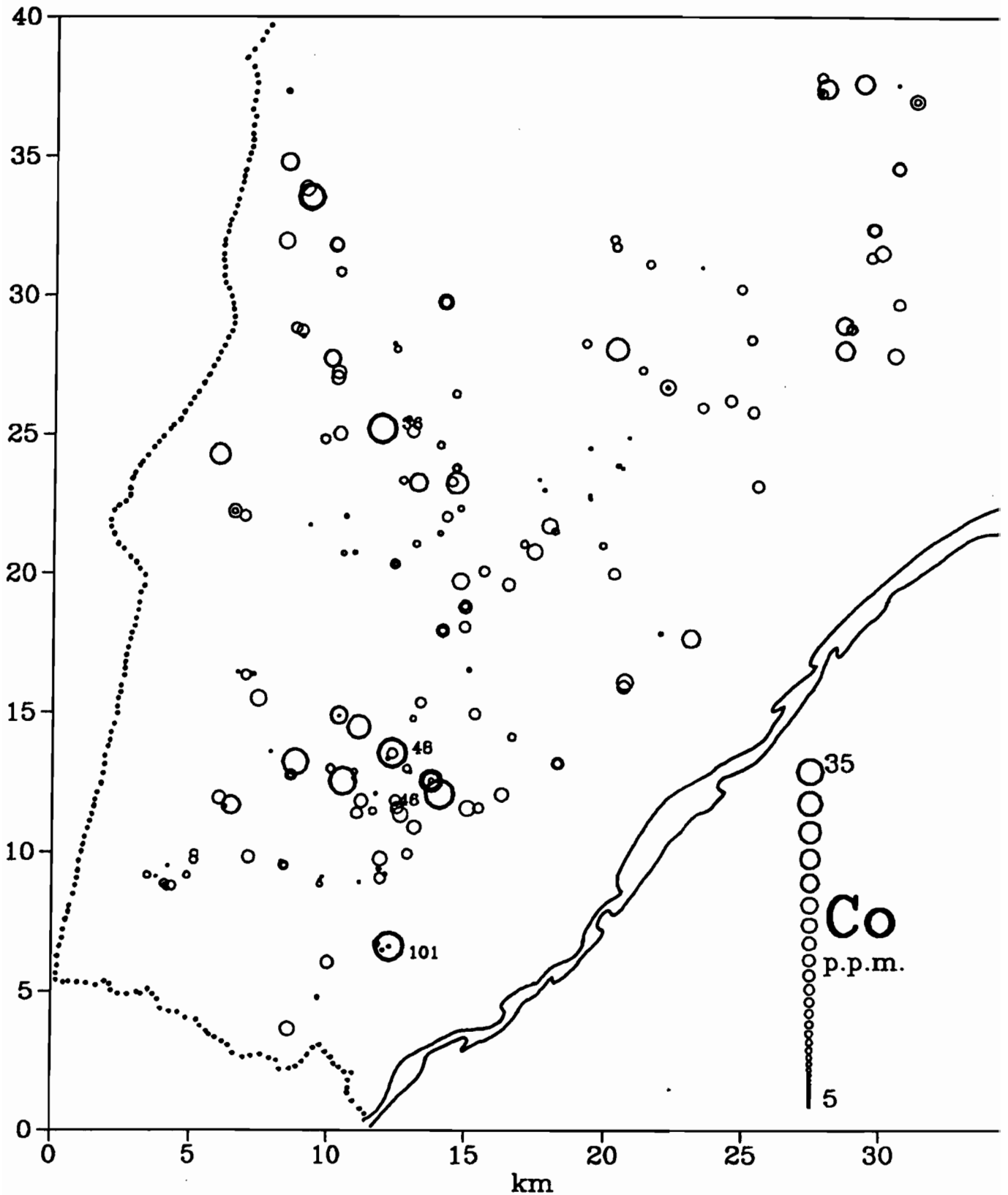
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Nickel



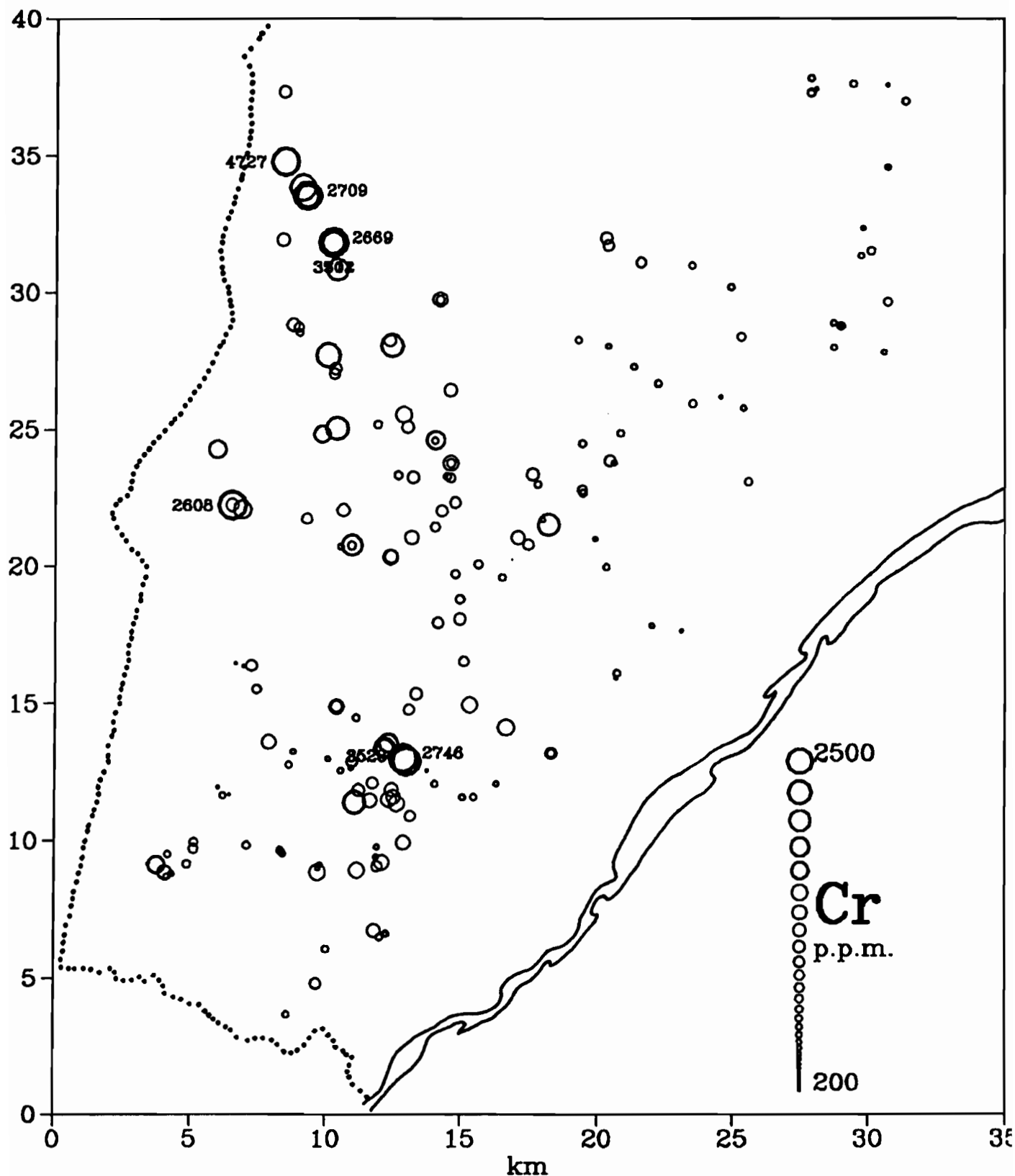
**Geochemie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Cobalt



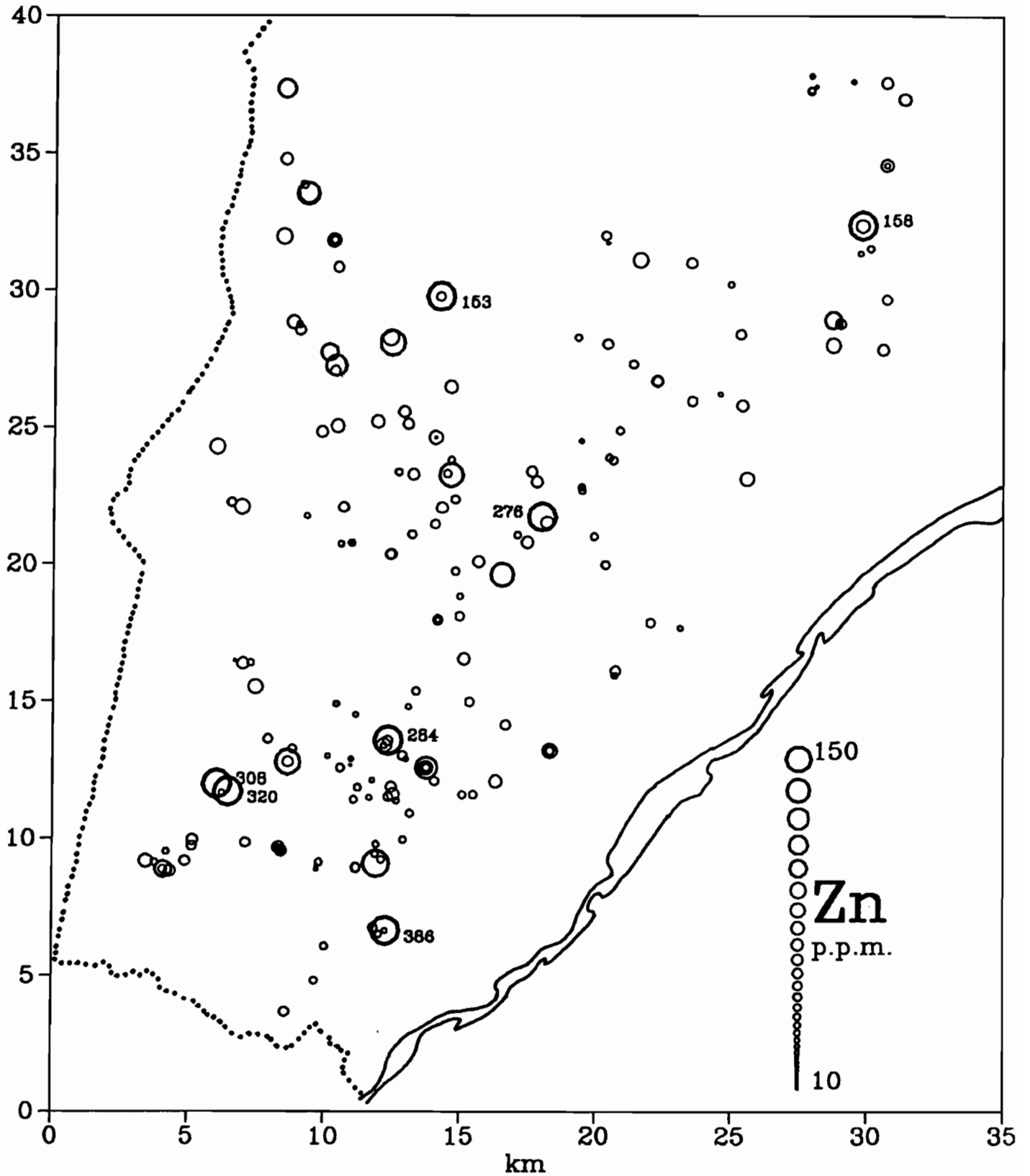
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Chrome



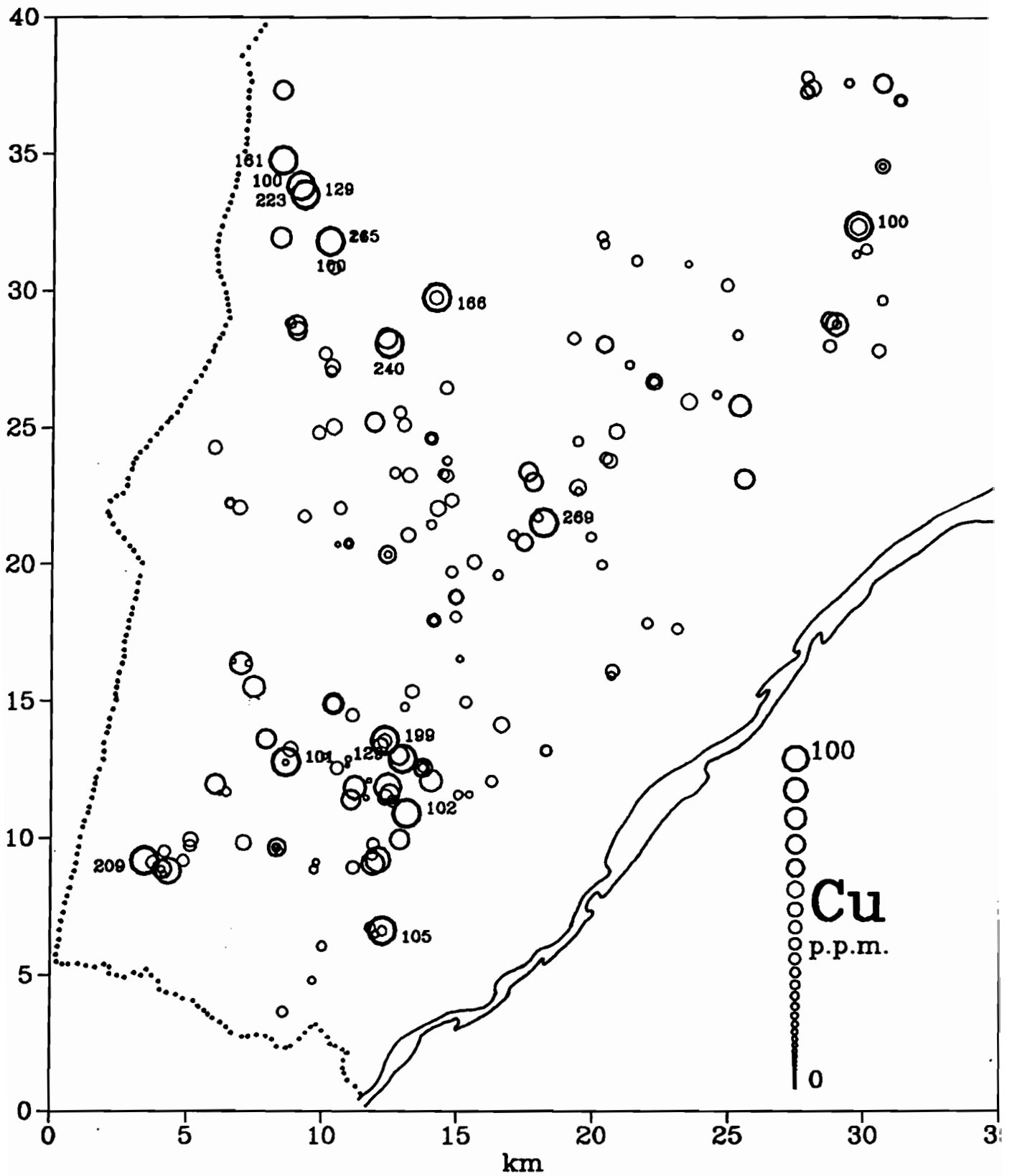
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Zinc



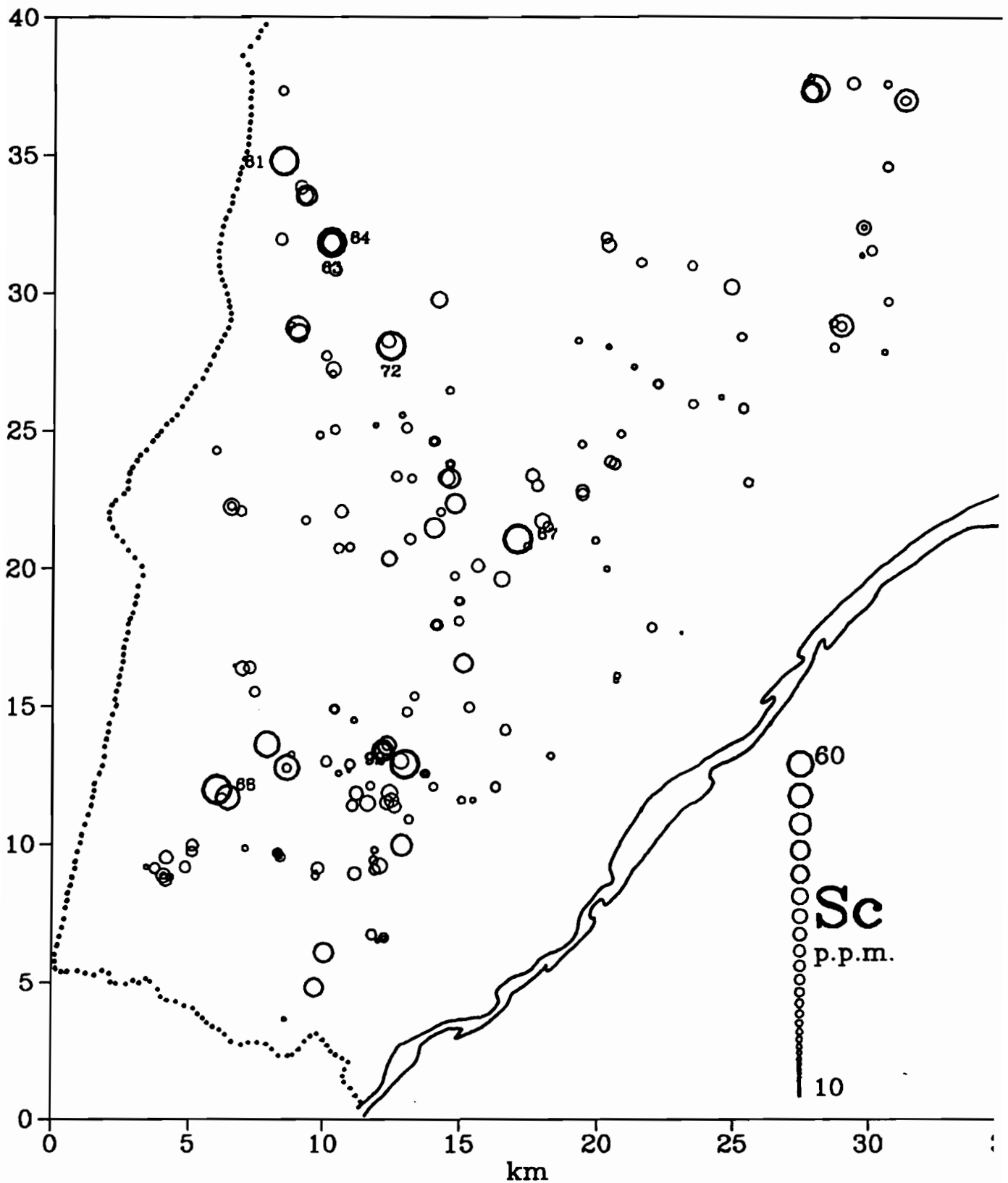
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Cuivre



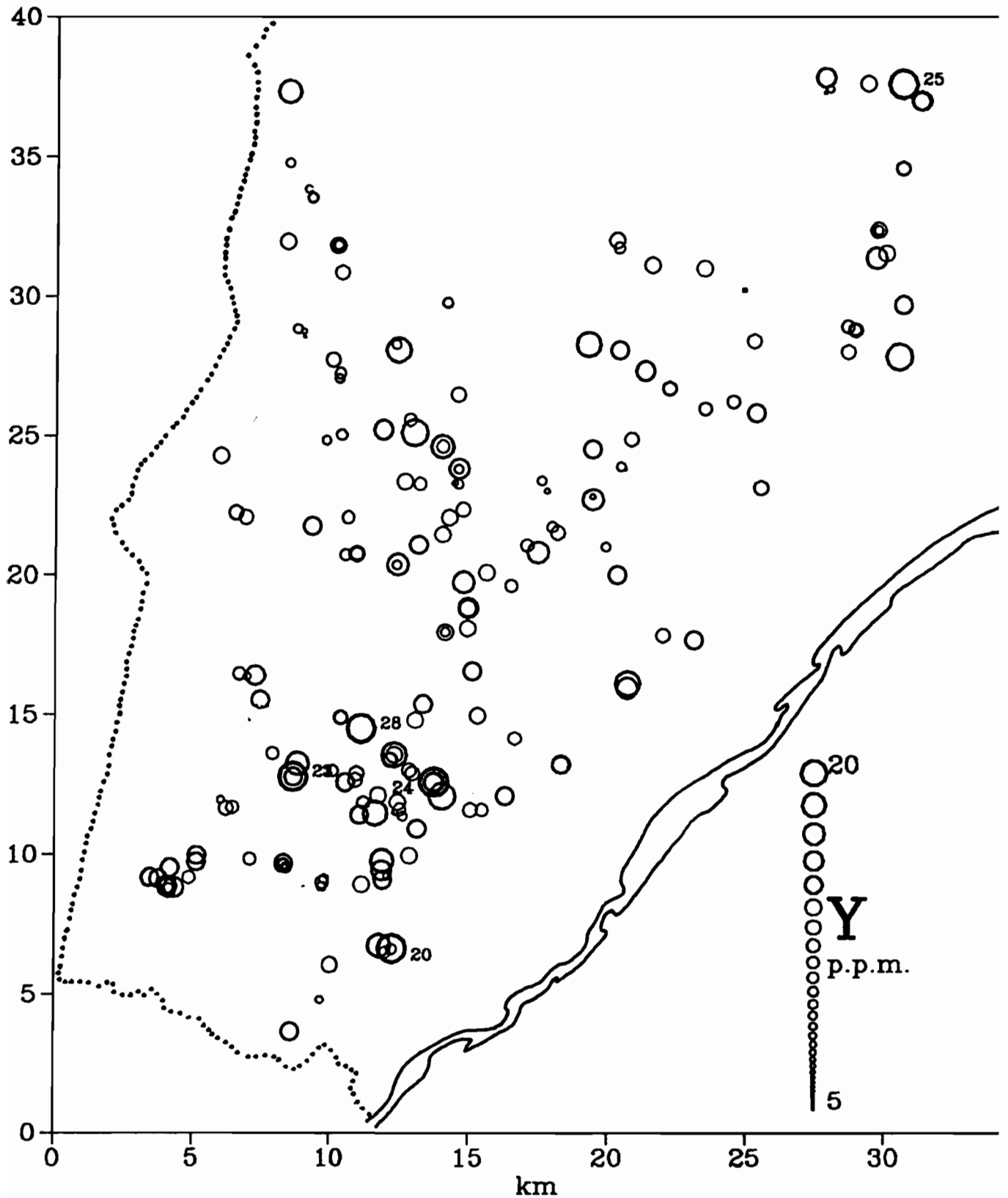
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Scandium



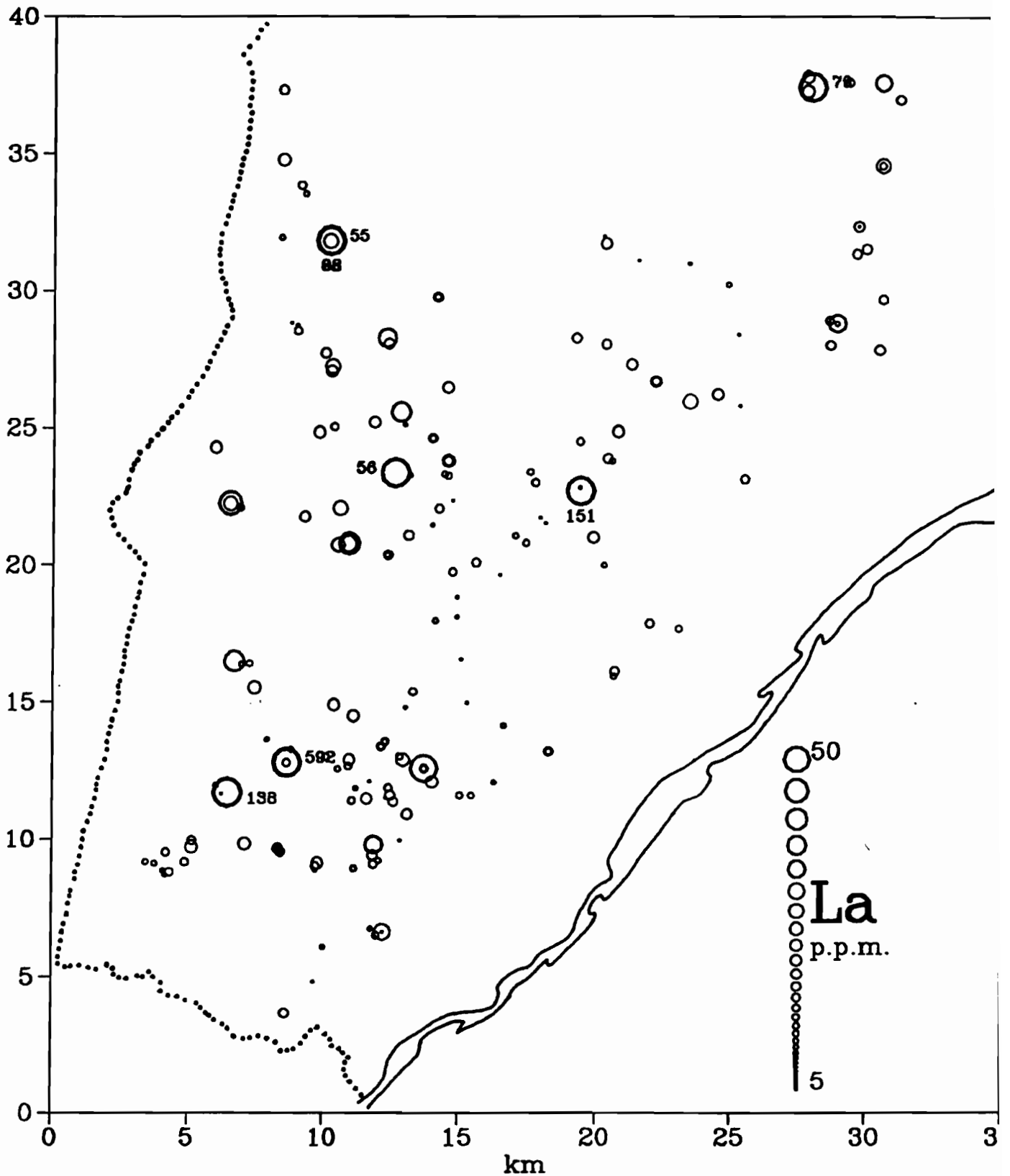
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Yttrium



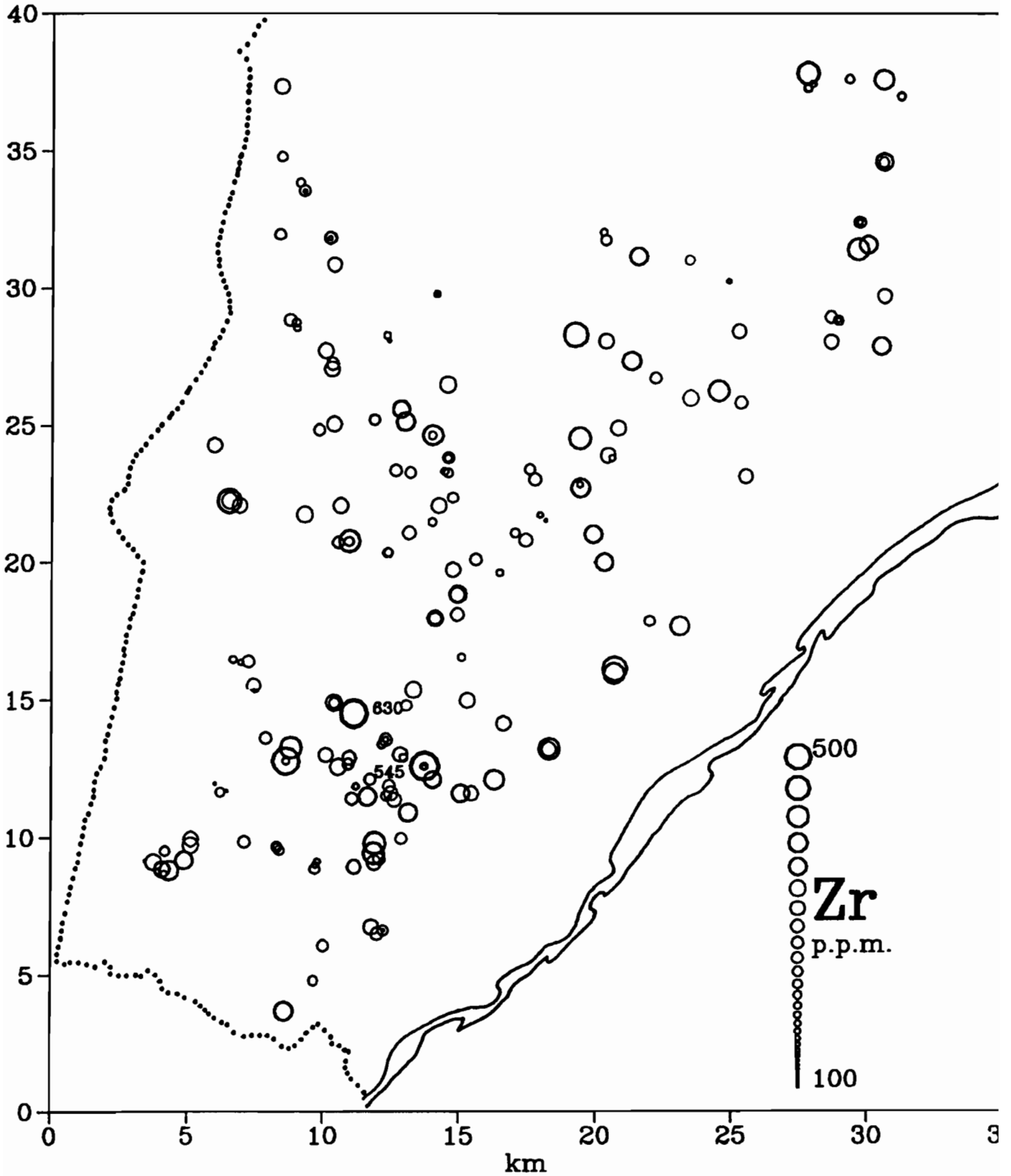
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Lanthane



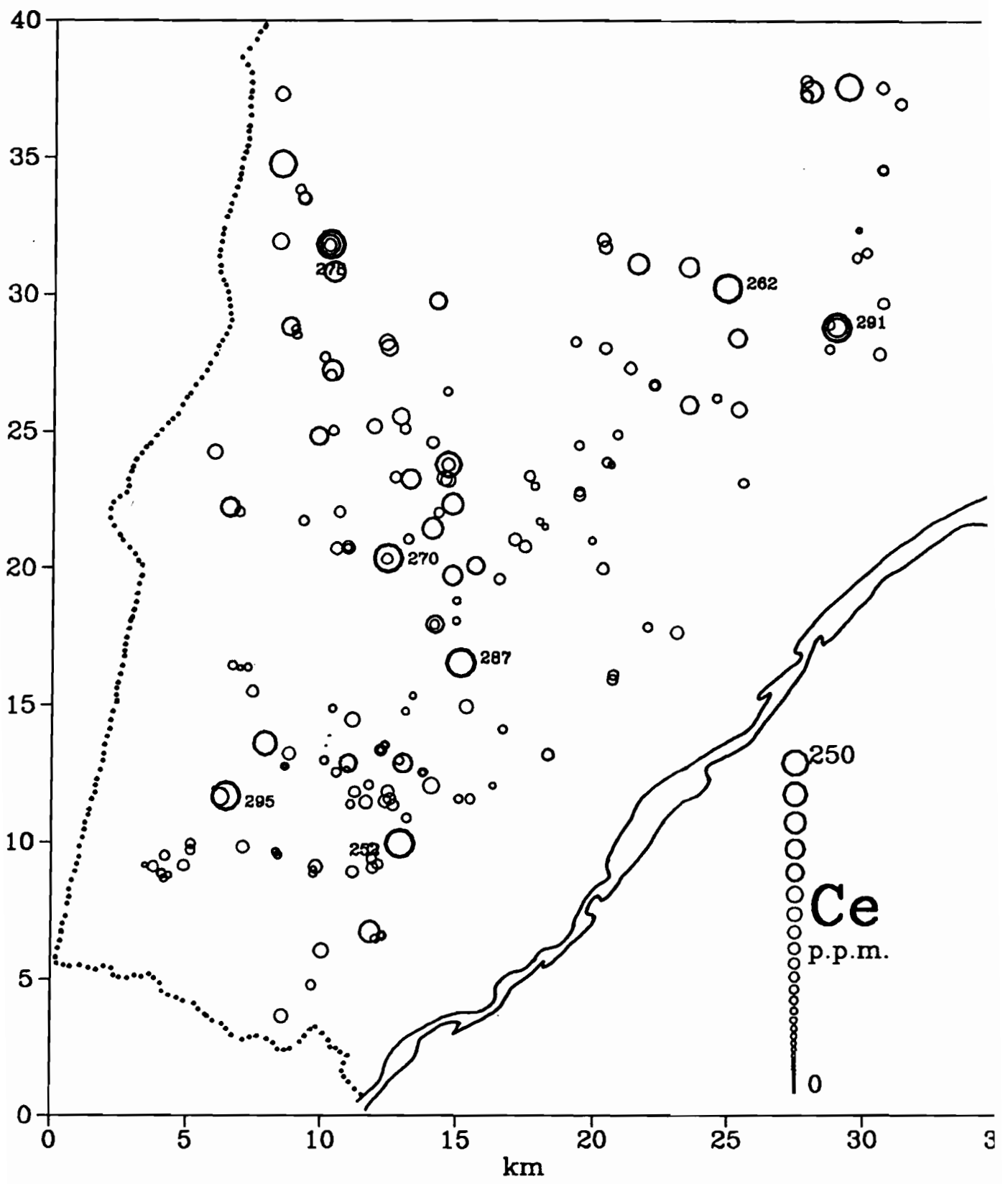
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Zirconium



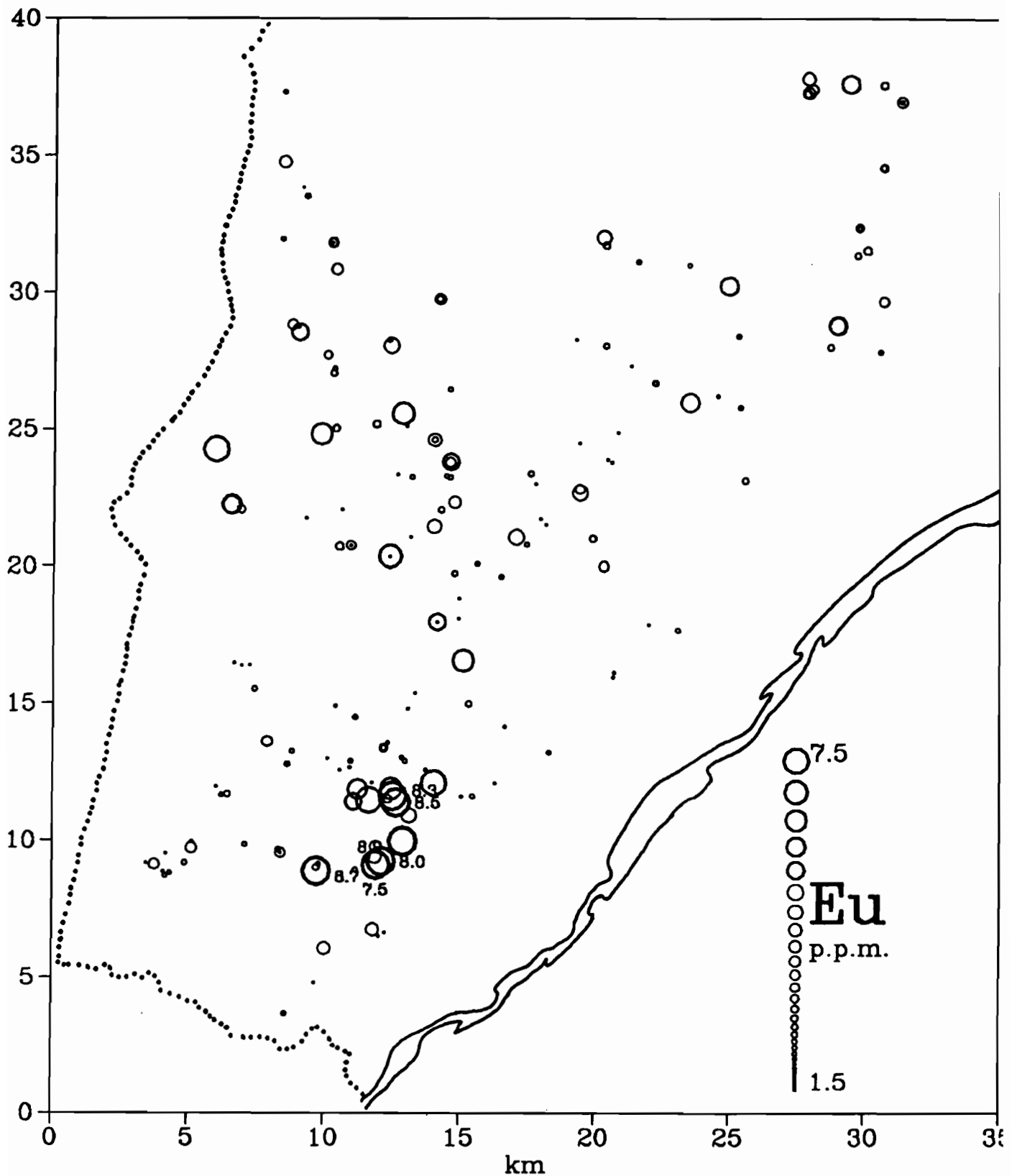
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Cerium



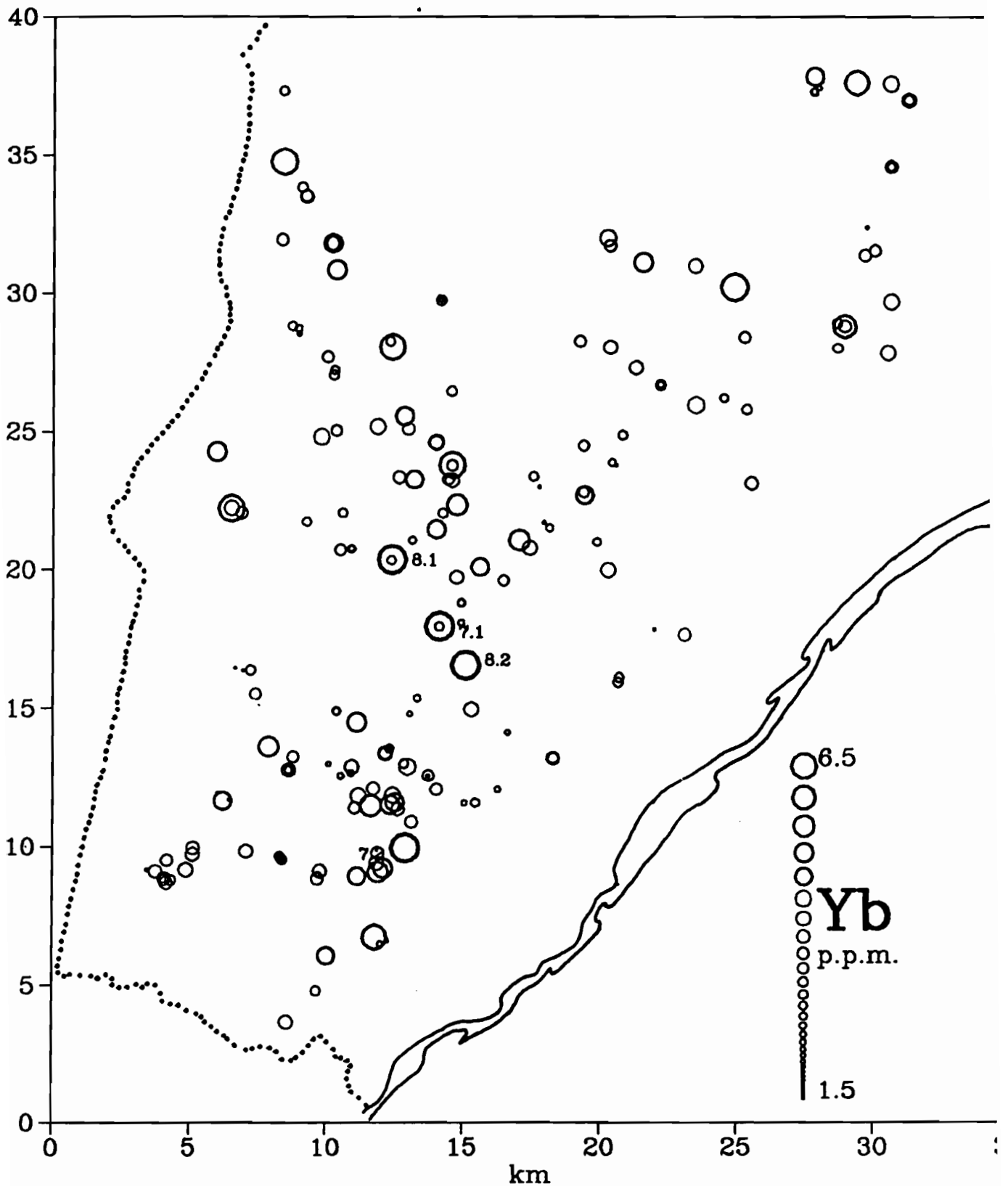
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Europium



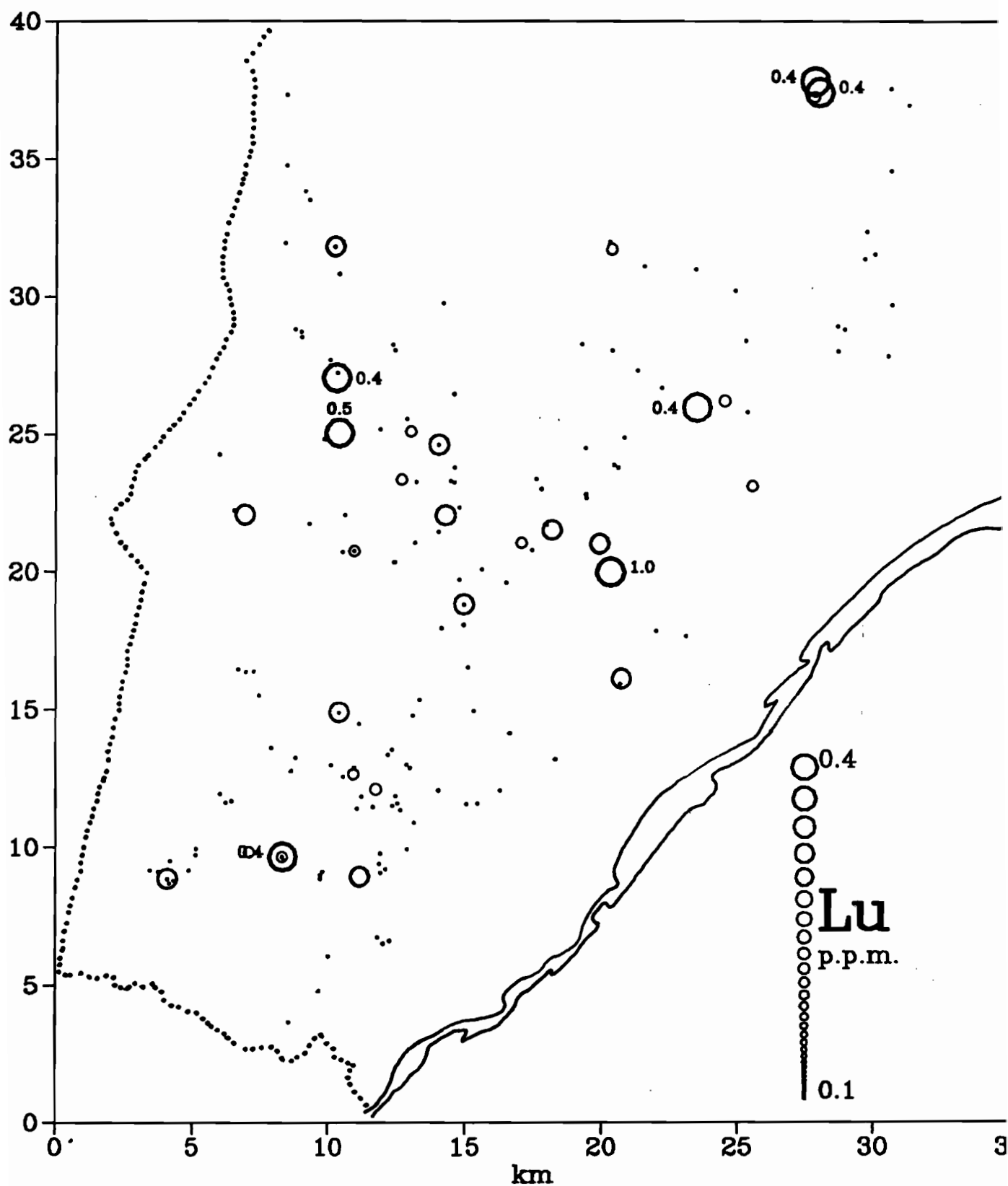
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Ytterbium



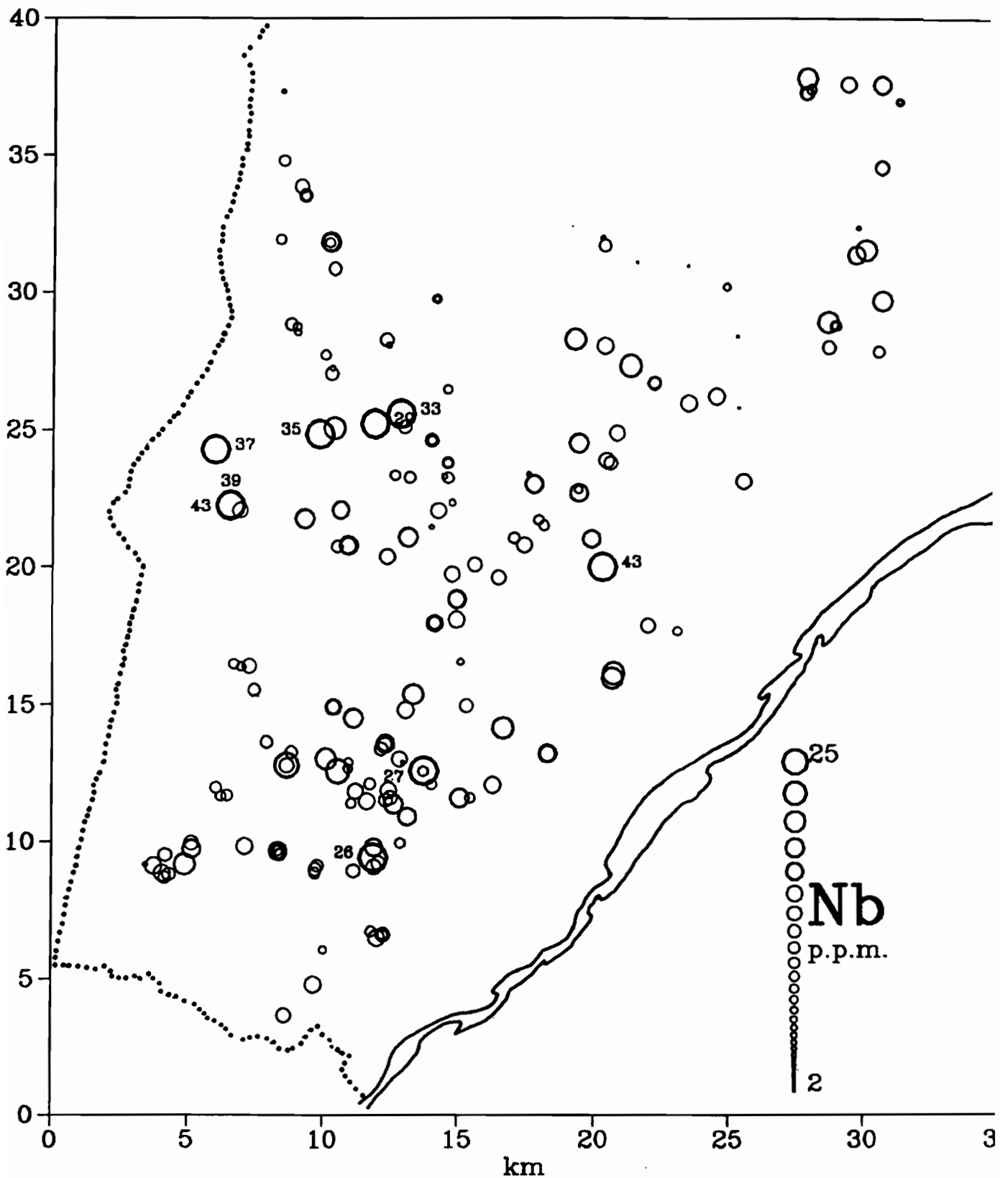
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Lutetium



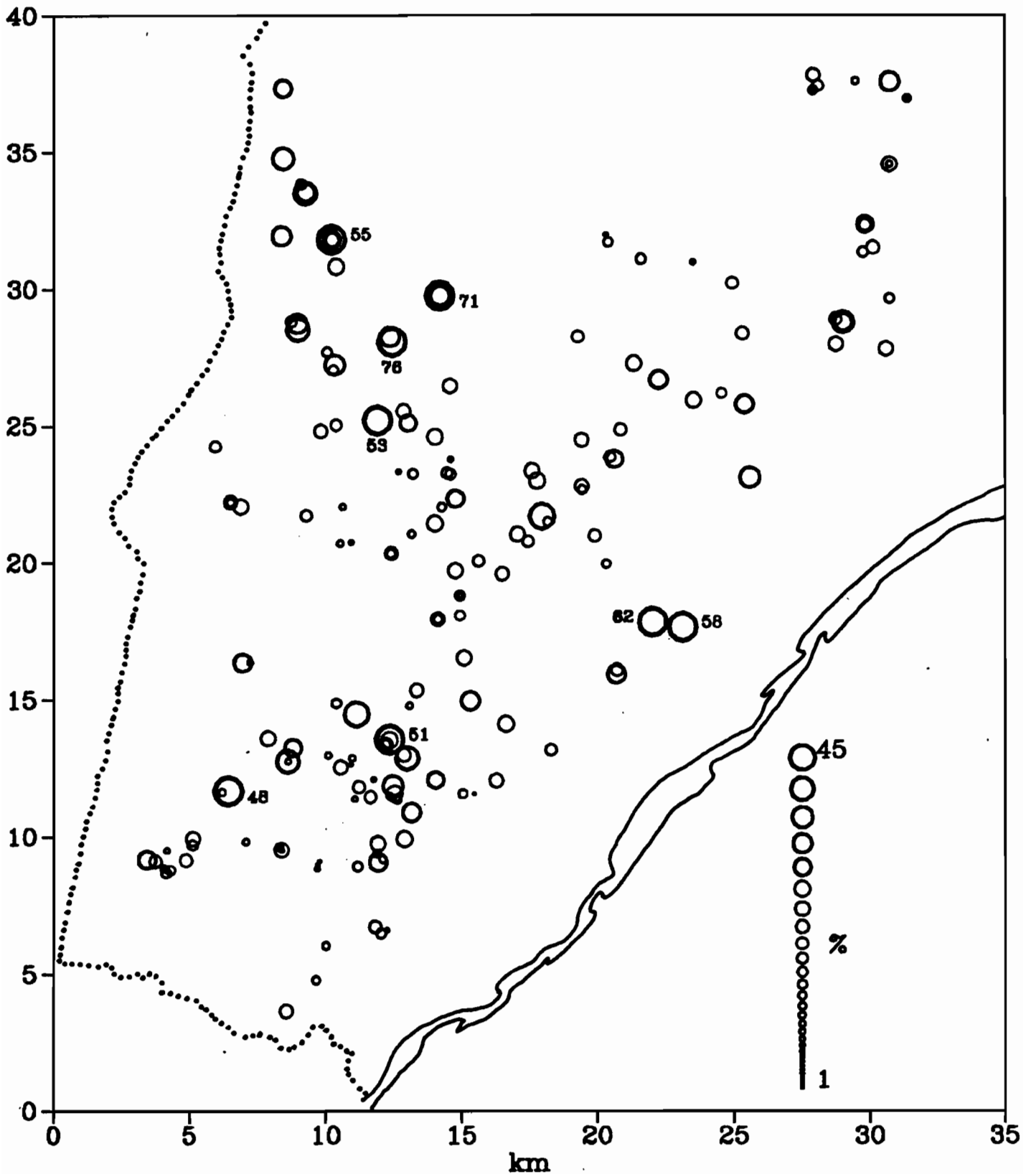
**Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Niobium



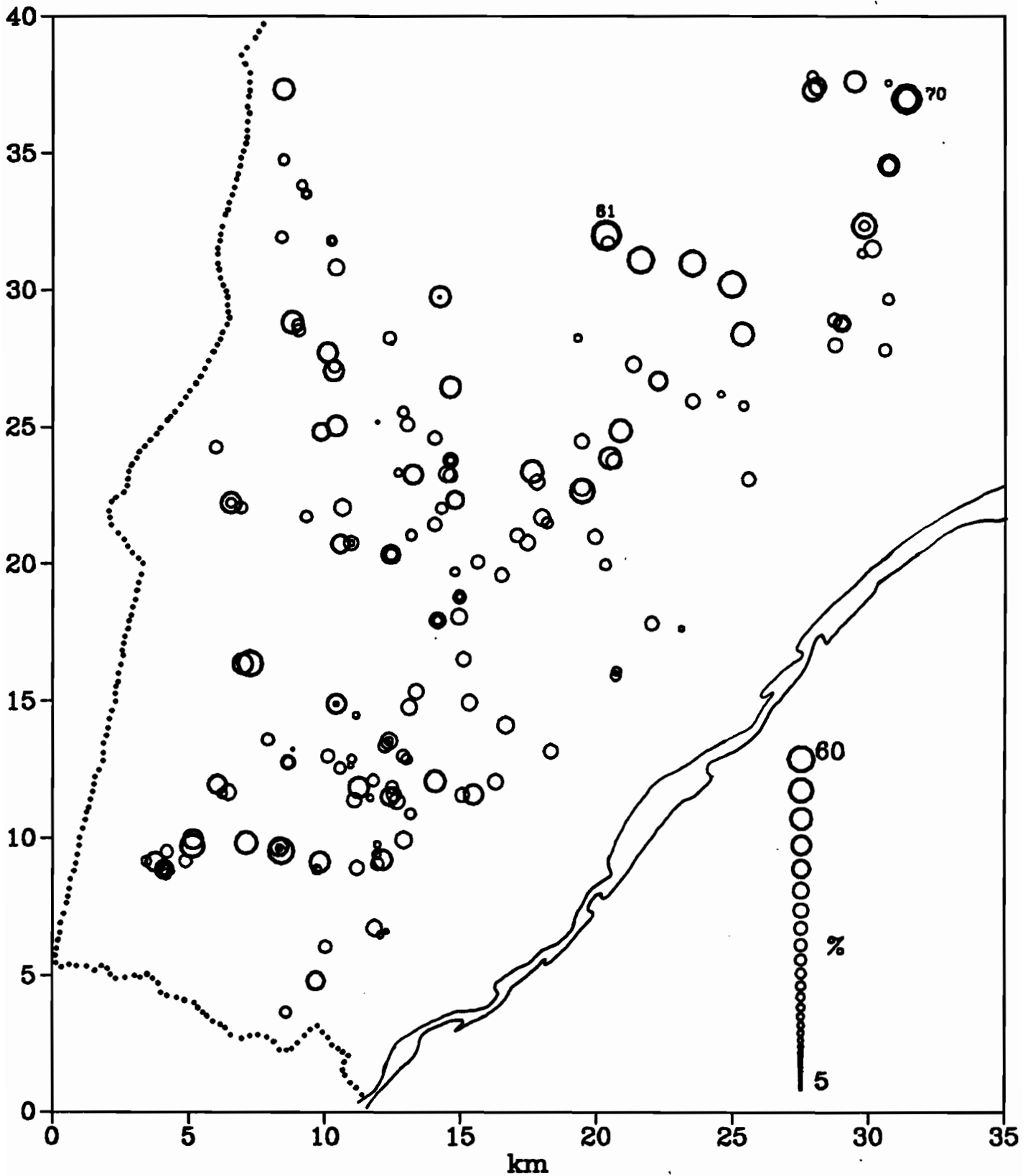
Geochimie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)

Carte des teneurs en Goethite



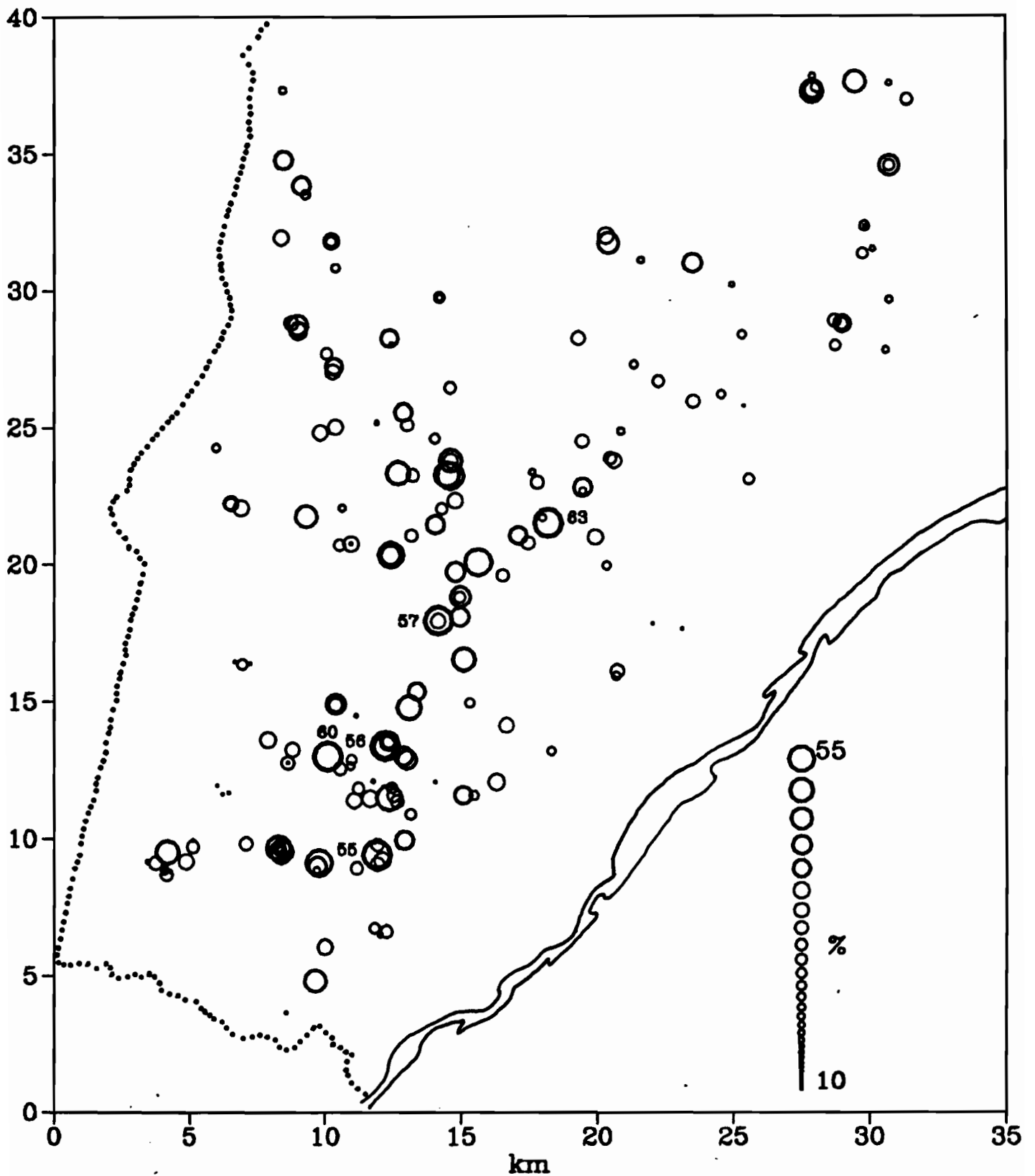
**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Hematite



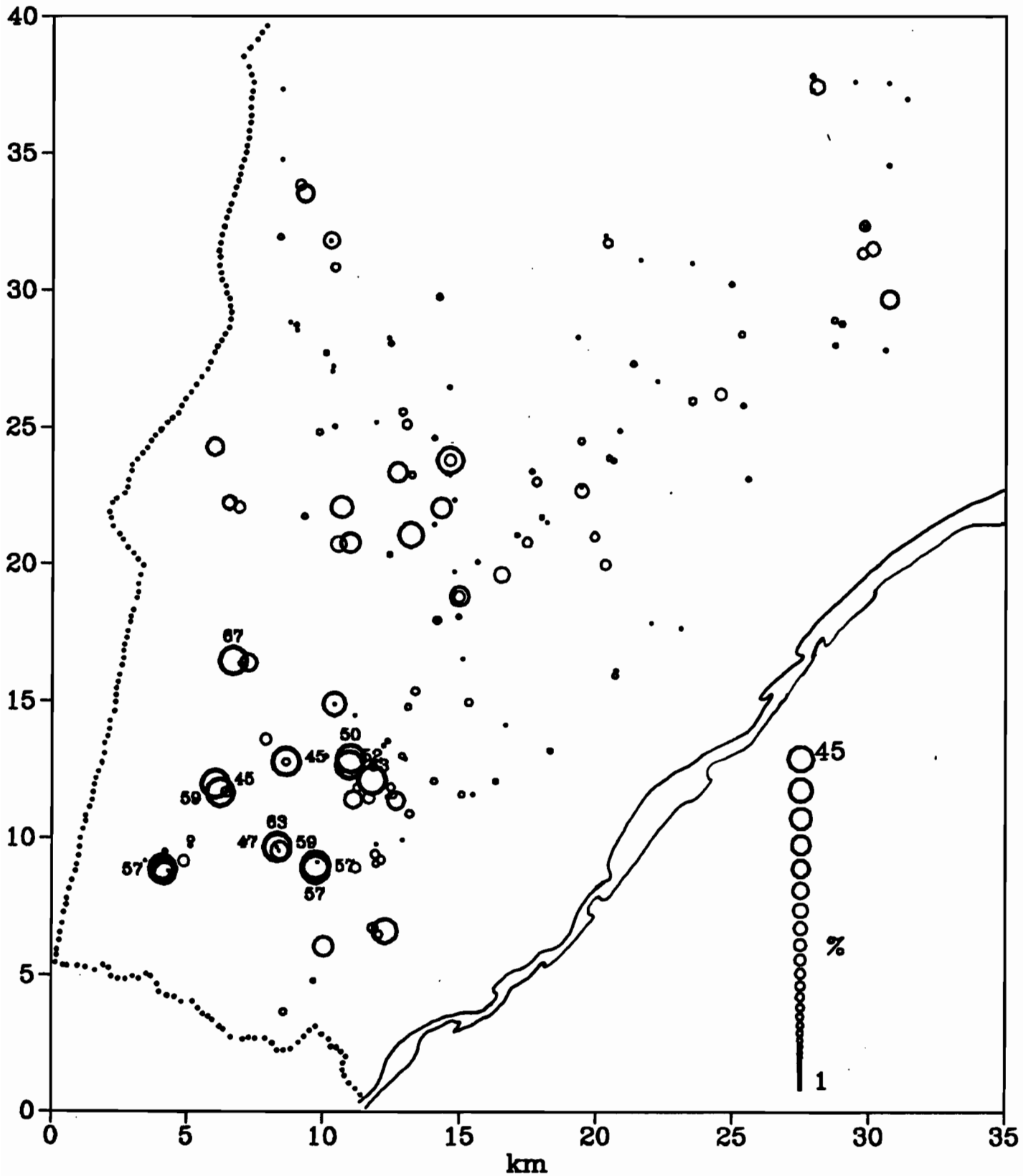
**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Kaolinite



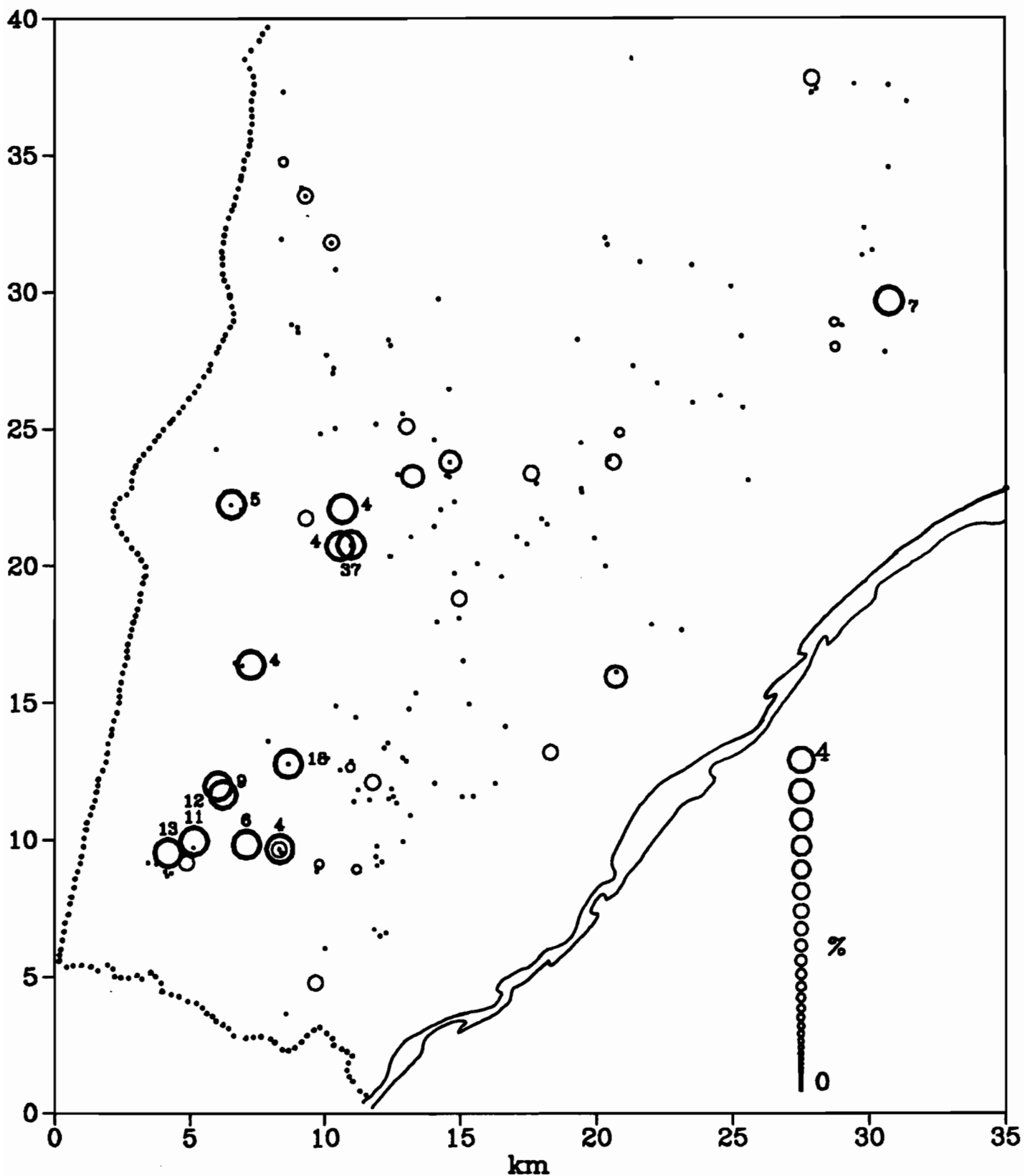
**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Gibbsite



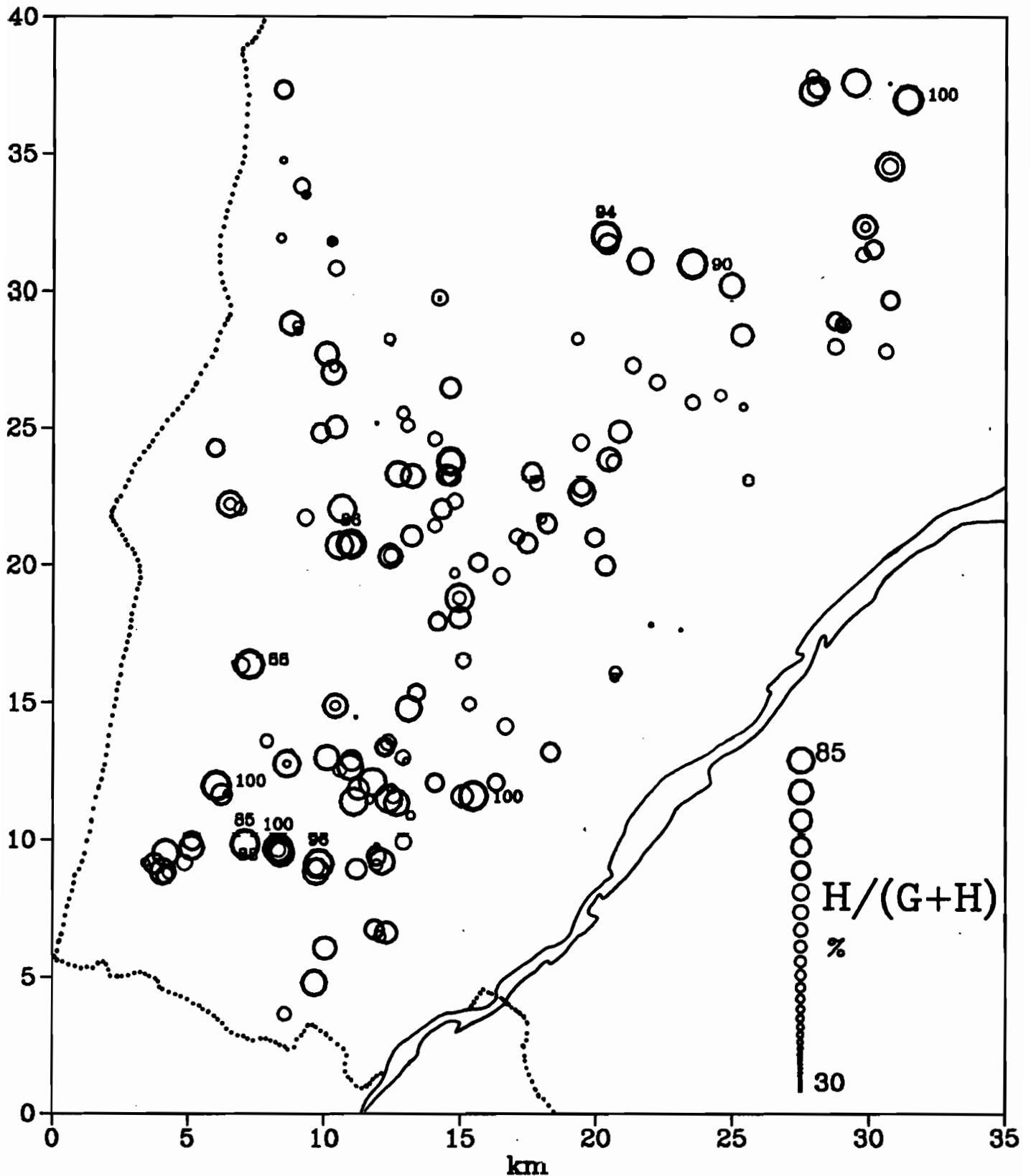
**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Boehmite



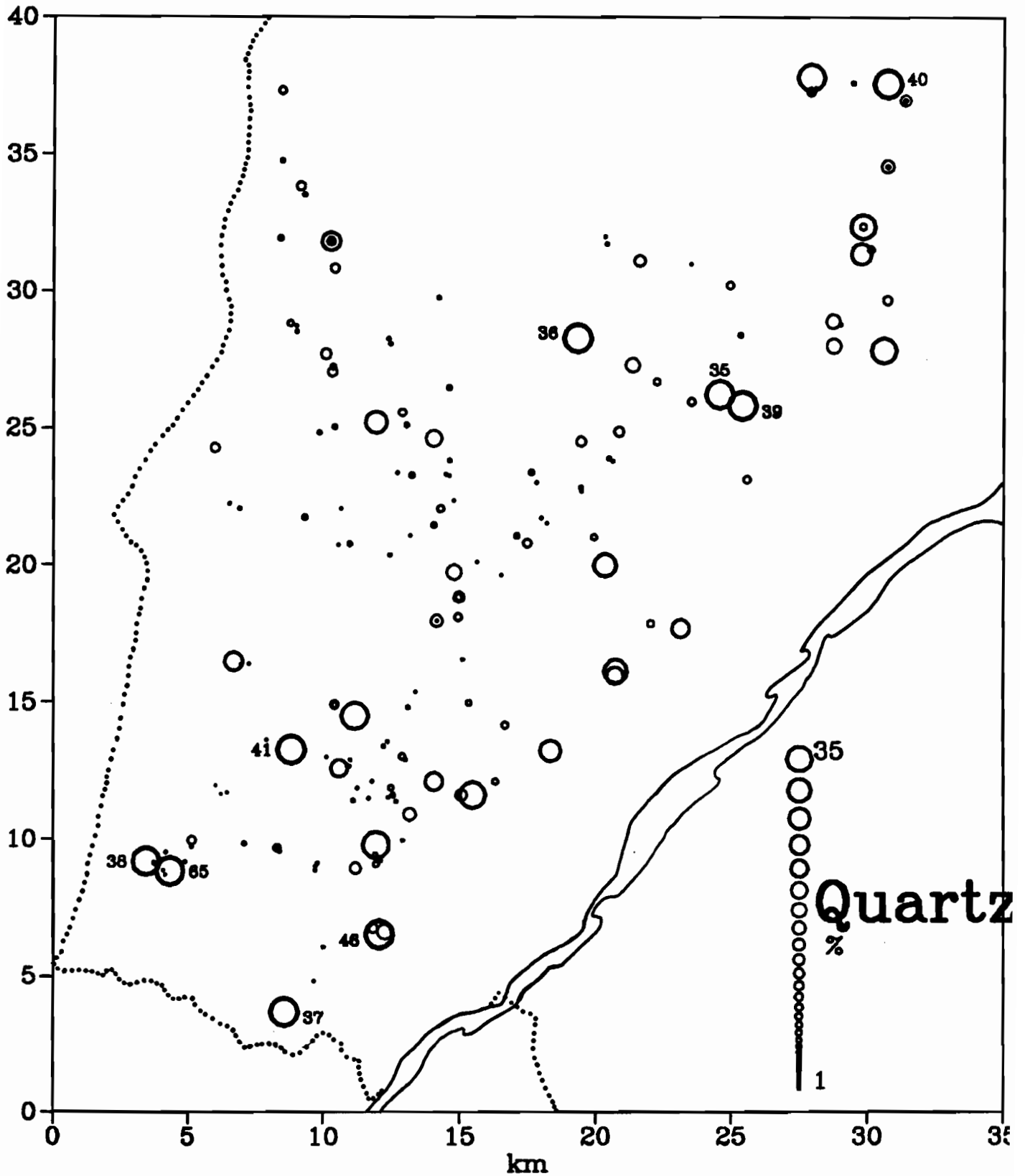
**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte du rapport Hematite/goethite

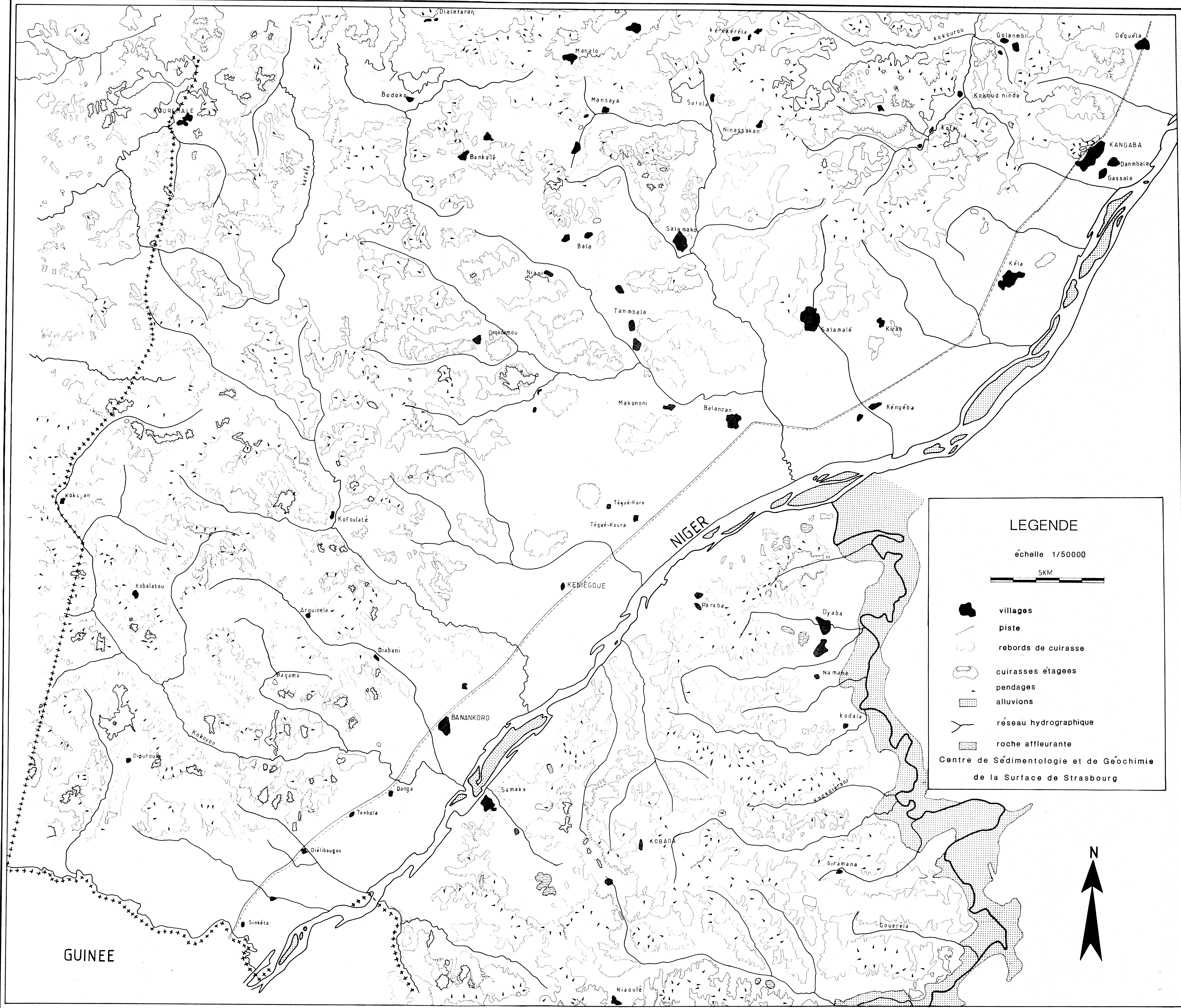


**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**

Carte des teneurs en Quartz



**Mineralogie des Cuirasses lateritiques
du district de Kangaba (Sud Mali)**



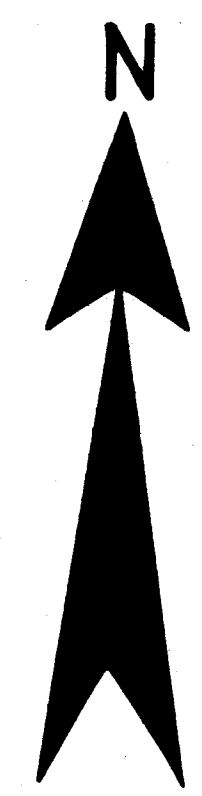
LEGENDE

échelle 1/50000

5KM

- villages
- piste
- rebords de cuirasse
- cuirasses étagées
- pentages
- alluvions
- réseau hydrographique
- roche affleurante

Centre de Sédimentologie et de Géochimie
de la Surface de Strasbourg



MORPHOLOGIE DES PLATEAUX CUIRASSES - REGION DE KANGABA (MALI)