



HAL
open science

**LES FORMATIONS MEUBLES SUR LES GRANITES
DE SONNEMAIN ET DE QUINTI N (Massif
armoricain) ARENES, ARENES REMANIEES ET
LIMONS**

Gabriel Plihon

► **To cite this version:**

Gabriel Plihon. LES FORMATIONS MEUBLES SUR LES GRANITES DE SONNEMAIN ET DE QUINTI N (Massif armoricain) ARENES, ARENES REMANIEES ET LIMONS. Sciences de la Terre. Université de rennes 1974. Français. NNT : . tel-01757902

HAL Id: tel-01757902

<https://insu.hal.science/tel-01757902>

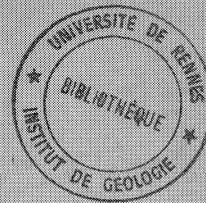
Submitted on 4 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

S-4-74
D

SERIE : C
N° d'Ordre : 320
N° de Série : 105



THESE
présentée

DEVANT L'UNIVERSITE DE RENNES

U. E. R. Structures et Propriétés de la Matière

pour obtenir

le titre de DOCTEUR en TROISIEME CYCLE

Spécialité : GEOLOGIE

PAR

Gabriel PLIHON

Sujet de la Thèse :

LES FORMATIONS MEUBLES SUR LES GRANITES
DE BONNEMAIN ET DE QUINTIN (Massif armoricain)
ARENES, ARENES REMANIEES ET LIMONS

Soutenu le 10 JUIN 1974 devant la Commission d'Examen

Melle S. DURAND

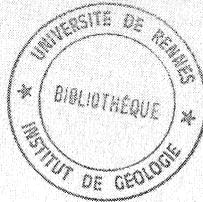
Président

Mme J. ESTEOULE-CHOUX

MM J. ESTEOULE

J. HAMEURT

Examineurs



INSTITUT de GÉOLOGIE
de RENNES

Numero
d'inventaire
Bibliothèque

74/143 = 1897

SERIE : C
N° d'Ordre : 320
N° de Série : 105

THESE
présentée

INSTITUT de GÉOLOGIE de RENNES	
Numero d'inventaire Bibliothèque	74/143

DEVANT L'UNIVERSITE DE RENNES

U. E. R. Structures et Propriétés de la Matière

pour obtenir

le titre de DOCTEUR en TROISIEME CYCLE

Spécialité : GEOLOGIE

PAR

Gabriel PLIHON

Sujet de la Thèse :

LES FORMATIONS MEUBLES SUR LES GRANITES
DE BONNEMAIN ET DE QUINTIN (Massif armoricain)
ARENES, ARENES REMANIEES ET LIMONS

Soutenue le

devant la Commission d'Examen

Melle S. DURAND

Président

Mme J. ESTEOULE-CHOUX

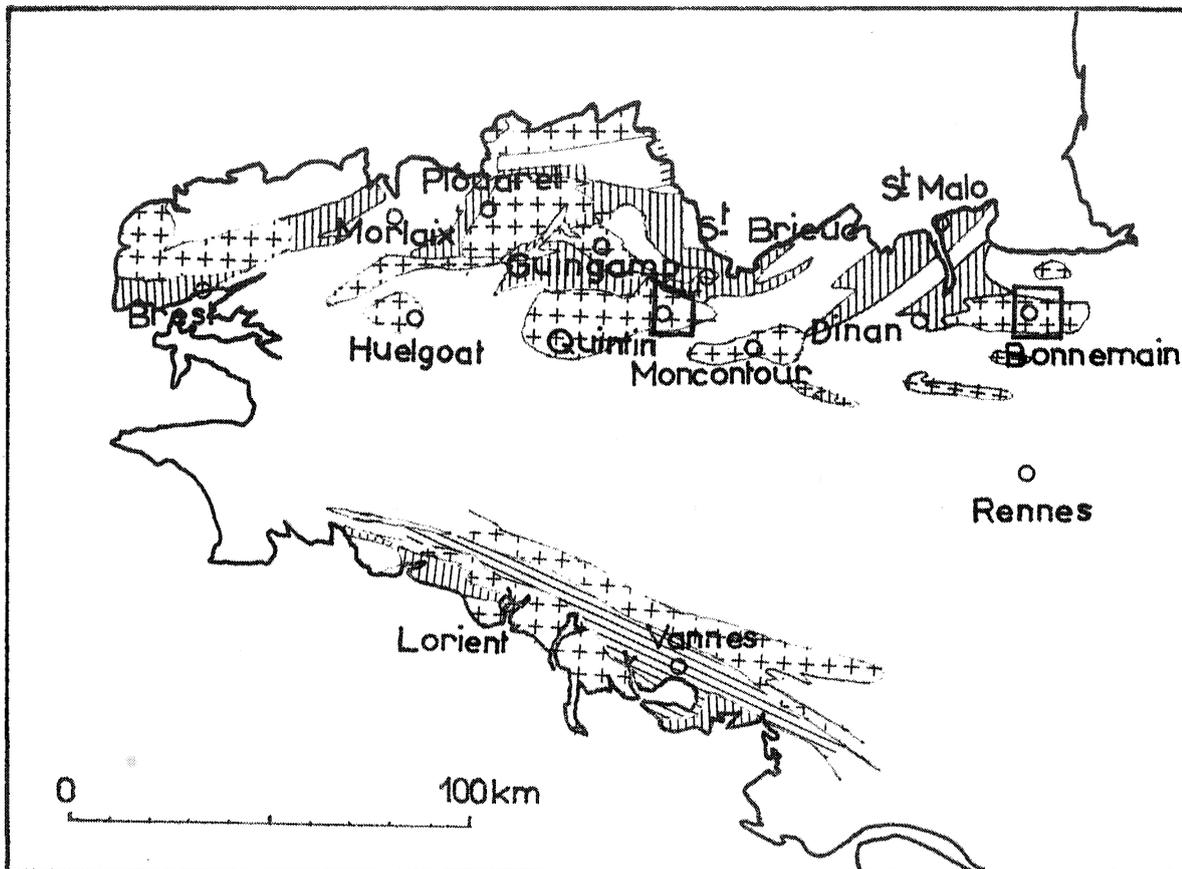
MM J. ESTEOULE

Examineurs

J. HAMEURT

**Que ceux qui ont contribué à la réalisation
de ce travail soient ici remerciés.**

FIGURE 1 - SITUATION DES ROCHES QUARTZO-FELDSPATHIQUES ALTEREES OBSERVEES



Extrait de la Carte Géologique du Massif-Armoricain
 Institut de Géologie - Rennes (1972)

- Granite
- Migmatites et granite d'anatexie
- Granites gneissiques et Schistes cristallins indifférenciés
- Régions étudiées

INTRODUCTION

Lorsque j'ai commencé l'étude des produits d'altération des roches granitiques je ne pensais pas aborder le problème des relations qui existent entre les arènes et les formations superficielles limoneuses qui les recouvrent. Ce sont les travaux relatifs à la coupe de la Boinderie (massif granitique de Bonnemain) qui m'ont révélé ces liens et ont ainsi donné une nouvelle orientation à ce travail.

L'étude de cette seule coupe n'a pas permis une interprétation cohérente, aussi l'extension limitée des limons sur le massif de Bonnemain et les mauvaises conditions d'observation m'ont amené à rechercher de nouvelles coupes sur d'autres massifs.

Un stage, effectué au Laboratoire Régional des Fonts et Chaussées de St-Brieuc pendant l'été 1972, consacré en partie à l'observation des produits d'altération des roches quartzo-feldspathiques, m'a permis en outre de constater, notamment dans la partie septentrionale du Massif Armoricaïn, l'abondance des formations limoneuses reposant sur granite. Devant les multiples possibilités qui s'offraient pour compléter le travail entrepris sur le massif de Bonnemain, c'est le massif de Quintin que j'ai retenu en raison de sa nature pétrographique différente, de l'importance des coupes fraîches qu'il présentait et de l'abondance des formations limoneuses.

Je décrirai donc successivement les arènes des deux massifs et les limons qui les recouvrent en essayant de mettre en évidence leurs caractères communs et aussi ceux qui leur sont propres. Puis je tenterai une explication de l'origine et de la mise en place de ces formations

limoneuses qui apparaissent comme le résultat d'un remaniement complexe au même titre que certaines arènes.

Ce travail comprend trois parties :

I - Les méthodes d'étude

II- La description et l'étude des coupes :

- sur le massif de Bonnemain
- sur le massif de Quintin

III- L'interprétation des résultats à la lumière des connaissances acquises sur l'arénisation dans d'autres régions et la recherche des conditions dynamiques qui ont régi la mise en place des formations remaniées. Enfin, je tenterai une datation des différents épisodes.

Première partie

LES METHODES D'ETUDE.

Les méthodes d'étude doivent être adaptées à la nature des échantillons et au plus grand nombre de ceux-ci. Leurs limites d'application doivent donc être suffisamment vastes et convenir à des matériaux aussi différents que les arènes granitiques et les limons, terme que je vais préciser ultérieurement.

I - ECHANTILLONNAGE ET NUMÉROTAGE DES ECHANTILLONS.

La bonne qualité des coupes, généralement situées le long de routes, a permis un vaste échantillonnage à la fois vertical et latéral. Les échantillons recueillis sont soit massifs (granites et leurs roches associées), soit meubles : arènes, formations sableuses et limons. Le numérotage des échantillons, parfois effectué en plusieurs temps en raison d'échantillonnages successifs, est différent sur chaque massif.

Sur le massif de Bonnemain, chaque échantillon est défini par une abréviation (correspondant au lieu-dit le plus proche de la coupe) suivie d'un nombre qui indique la position de l'échantillon. Les symboles sont les suivants :

Bo	: lieu-dit la Boinderie, commune de Cuguen (35)
Pi	: lieu-dit la Pinderie, commune de Cuguen (35)
Lab	: lieu-dit la Labourais, commune de Cuguen (35)
Vill	: lieu-dit la Villorien, commune de Cuguen (35)
Rieux	: lieu-dit les Rieux, commune de Cuguen (35)
Hg	: lieu-dit la Higourdais, commune d'Epiniac (35)

Sur le massif de Quintin, l'abréviation QUI est suivie d'un nombre de quatre chiffres : les deux premiers définissent une coupe, les deux autres caractérisent la situation de l'échantillon dans celle-ci.

II - LES METHODES D'ETUDE.

1) étude des échantillons compacts.

Les échantillons de roche saine ou peu altérée ont été étudiés en

plaque mince au microscope optique. Quelques échantillons ont été broyés afin de répertorier leur cortège de minéraux lourds.

2) étude des roches meubles.

Les techniques utilisées sont les mêmes que celles que j'ai décrites dans mon rapport de D. E. A. (PLIHON, 1971).

a) étude granulométrique.

- granulométrie de l'échantillon total.

Cette granulométrie est faite en deux temps :

- la fraction supérieure à 1,600 mm, dimension qui correspond à la passoire aux trous de 2 mm, est tamisée sur une série de tamis AFNOR.
- dix grammes de la fraction inférieure à 1,600 mm sont dispersés dans l'hexamétaphosphate de Na (DUCHAUFOR, 1960), et les fractions dont les particules correspondent à des diamètres équivalents de 2μ , 5μ , 10μ et 20μ sont prélevées à l'aide d'une pipette de Robinson (méthode sédimentométrique, CAILLIERE et HENIN, 1963) : les fractions supérieures à 20μ sont tamisées après lavage.

Les pourcentages de chaque fraction sont alors calculés, soit par rapport à l'échantillon total, soit par rapport à la fraction inférieure à 2 mm (passoire).

Les coupures granulométriques utilisées sont les suivantes :

supérieur à 20 mm		cailloux	
2 mm à 20 mm		graviers	
200 μ à 2 mm	S g	sables grossiers	sables
100 μ à 200 μ	S f	sables fins	
50 μ à 100 μ	S t f	sables très fins	
20 μ à 50 μ	L g	limons grossiers	limons
2 μ à 20 μ	L f	limons fins	
inférieur à 2 μ	A	argiles	

nota : - la limite 2 mm correspond aux trous d'une passoire dont l'équivalent est le tamis à maille de 1600 μ .

- les définitions du mot limon sont celles retenues par la commission de terminologie réunie lors du colloque sur les limons du bassin de Paris en 1969.

LIMON : "définition d'une fraction granulométrique : fraction granulométrique de matériaux dont les dimensions sont comprises entre 2 μ et 50 μ ."

"définition géologique : formation superficielle continentale meuble, où domine la fraction inférieure à 50 μ et où les éléments plus grossiers ne prennent qu'une place accessoire ou accidentelle."

A partir des résultats granulométriques, des courbes sont construites; soit par rapport à la fraction inférieure à 2 mm, soit par rapport à la masse de l'échantillon total.

Sur les courbes cumulatives de l'échantillon total les quartiles Q 1, Q 2, Q 3 sont déterminés et permettent de calculer certains indices (VATAN, 1967):

- la déviation arithmétique des quartiles : $\Gamma a = \frac{Q3 - Q1}{2}$

- le coefficient de Trask : $S_o = \sqrt{Q3 / Q1}$ qui caractérise la dispersion autour du grain moyen : c'est un indice de classement : plus la dispersion est faible, plus S_o est proche de l'unité.

- l'asymétrie de l'histogramme qui exprime la symétrie par rapport à la médiane : $A_s = \frac{Q1 \cdot Q3}{(Q2)^2}$

$A_s > 1$: classement maximal du côté fin

$A_s < 1$: classement maximal du côté grossier

$A_s = 1$: classement théoriquement identique de part et d'autre de la médiane.

D'autres courbes ont été construites en ordonnées gaussiennes :

- en abscisse arithmétique : courbes de Doeglas (DOEGLAS, 1946)

- en abscisse logarithmique : courbes de Henry (in GABIS, 1963).

- granulométrie des sables.

Seule la fraction sableuse est tamisée sur une colonne de tamis Tyler après élimination de la fraction argileuse et limoneuse par décantation, puis cuisson dans une solution d'acide chlorhydrique au demi pendant 20 minutes. Les courbes, tracées comme précédemment, sont construites avec les pourcentages calculés par rapport à la fraction sableuse ou à la masse de l'échantillon total. Toutefois la série de tamis Tyler ne comporte pas de tamis de 50 μ , aussi la fraction sableuse n'a pas exactement la même signification que précédemment : elle commence à 44 μ . Je n'utiliserai cette limite qu'exceptionnellement.

b) étude minéralogique.

1) les fractions sableuses grossières.

Les fractions sableuses ainsi traitées à l'acide chlorhydrique sont observées à la loupe binoculaire en lumière réfléchie sur fond noir.

2) étude des minéraux lourds.

Les minéraux lourds sont séparés par différence de densité à l'aide d'une liqueur dense, le bromoforme ($d = 2,89$ à $20^{\circ} C$, DUPLAIX, 1948 ; PARFENOFF, POMEROL, TOURENC, 1970) puis montés entre lame et lamelle, observés et comptés au microscope optique.

L'extraction se fait sur les fractions granulométriques après cuisson des sables ce qui a pour inconvénient de détruire la monazite et l'apatite, mais cette cuisson est nécessaire pour éliminer la chlorite, qui, présente en grande quantité, gêne l'observation des autres minéraux. Les refus des tamis sont groupés en quatre lots granulométriques :

- classe α : minéraux compris entre 350 et 700 μ
- classe β : minéraux compris entre 175 et 350 μ
- classe γ : minéraux compris entre 62 et 175 μ
- classe θ : minéraux compris entre 44 et 62 μ et minéraux inférieurs à 44 μ ;

Les résultats, présentés sous forme de tableaux, font apparaître :

- le pourcentage pondéral de minéraux lourds par rapport à la fraction sableuse traitée.
- le pourcentage en nombre d'opacques par rapport aux minéraux transparents et altérés, et par rapport au nombre total de grains extraits.
- le pourcentage en nombre de chaque groupe minéralogique par rapport au total de transparents et altérés.

Seule la fraction δ a été systématiquement étudiée, car elle est la plus représentative, les fractions α et β étant trop pauvres en minéraux lourds. Quant à la fraction θ , outre les difficultés de séparation, la faible taille des minéraux ne permet pas de bonnes déterminations, notamment en dessous de 44μ .

3) minéralogie de la fraction argileuse.

- étude aux rayons X : diagrammes d'agrégats orientés.

Quelques gouttes de suspension argileuse, saturée au calcium, sont déposées sur une plaque de verre de telle sorte que par sédimentation puis évaporation les feuillets argileux soient tous orientés dans le même plan. La plaque sèche est placée sur un goniomètre suivant le montage dit de Bragg-Brentano : les plans réticulaires basaux des minéraux phylliteux se présentent toujours suivant les conditions de Bragg et diffractent ensemble. On enregistre alors la séquence 001, de l'échantillon naturel, de l'échantillon chauffé à 550°C pendant une heure, de l'échantillon glycérolé à 80°C pendant deux heures sous pression de vapeurs saturantes.

- étude par analyse thermique différentielle : A. T. D.

Il s'agit d'enregistrer les variations thermiques subies par un échantillon d'argile (au sens granulométrique et minéralogique), lorsqu'on élève sa température de 20°C à 1100°C . Ces variations sont mesurées à l'aide de thermo-couples et par référence à une substance inerte, l'alumine calcinée. Le four utilisé est un four Adamel et l'enregistrement sur plaque photographique de la courbe $St = F(t)$ (variation de la température propre à l'échantillon en fonction de la température du four) sur un appareil Saladin-Le Châtelier.

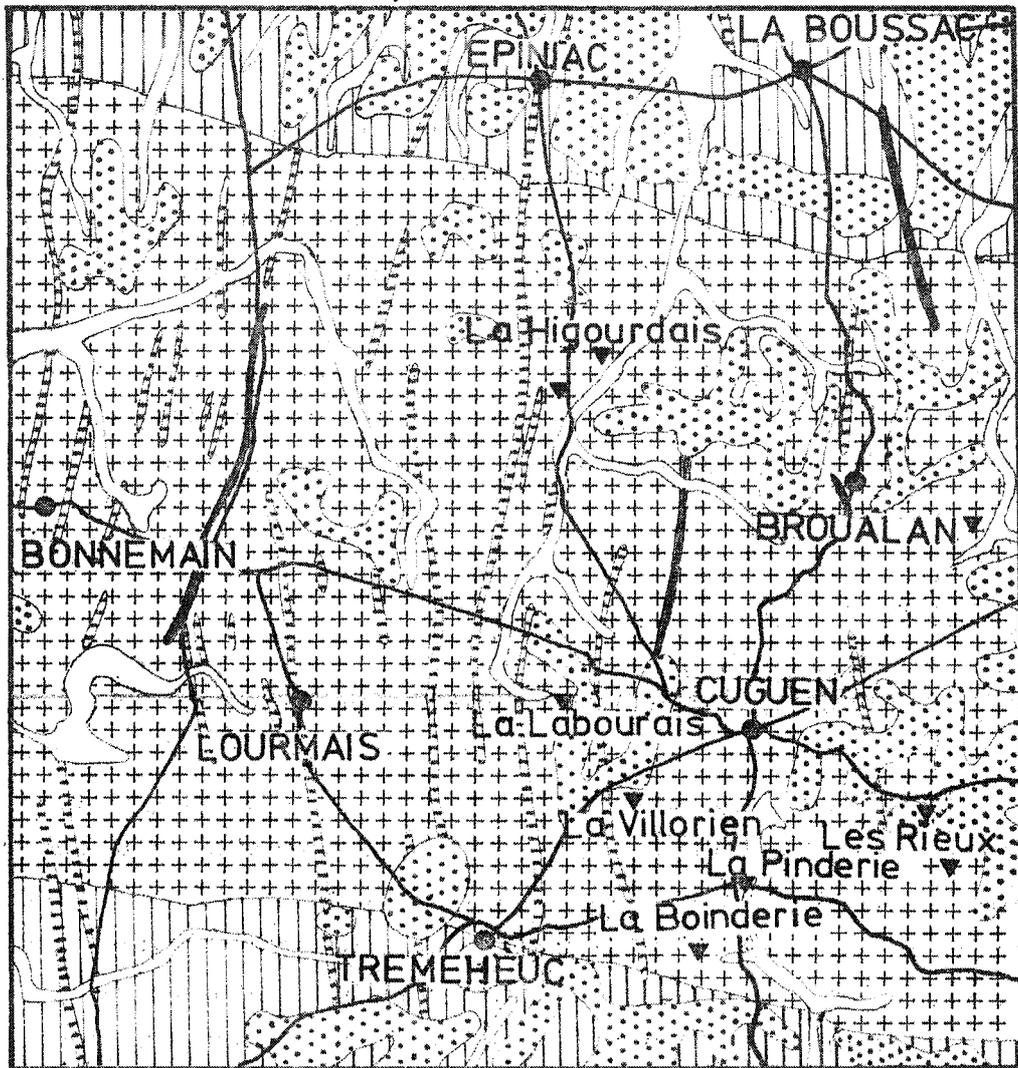
Deuxième partie

LES FAITS

CHAPITRE ILE MASSIF GRANODIORITIQUE DE BONNEMAIN
ET SES FORMATIONS SUPERFICIELLES.

Le massif granitique de Bonnemain constitue un vaste plateau qui domine les formations briovériennes. Long d'une soixantaine de kilomètres entre Tressé et St-Pierre de Flesguen à l'Ouest, et la Fontenelle à l'Est, large d'une dizaine de kilomètres (figure 1), son contact avec le Briovérien est marqué par une puissante auréole de métamorphisme (feuilles de Dinan et Avranches, carte géologique de France au 1/80.000ème). Il appartient au cortège granitique de la Mancéllia (COGNE, 1962) auquel BERTHOIS (1935) a attribué un âge hercynien et GRAINDOR, plus récemment (1970), un âge cadomien.

FIGURE 3 : LE MASSIF DE BONNEMAIN : CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION ETUDIEE ET SITUATION DES COUPES.



Extrait de la feuille de DINAN au 1/80 000

Echelle : 1/80 000

- | | | |
|---|------------------|------------------------|
|  | a ² | Alluvions |
|  | a ^{1b} | Limon |
|  | ε ⁵ | Filons de diabase |
|  | Q | Filons de quartz |
|  | X γ ₁ | Schistes micacés |
|  | γ ₁ | Granodiorite |
| ▼ | | Coupes échantillonnées |

I - PETROGRAPHIE DU GRANITE ET DES ROCHES ASSOCIEES.

JONIN (1969) distingue dans ce massif trois faciès granitiques :

- le granite bleu à l'Ouest (St Pierre de Plesguen, Lanhélin, Bonnemain).
- le granite gris à l'Est (Bonnemain, Cuguen, la Fontenelle).
- le granite blanc en bordure du granite gris.

La zone étudiée forme une bande Nord-Sud, comprenant Epiniac, Cuguen et St-Léger des Prés, et est constituée de granite gris et blanc. Toutefois, à l'affleurement, ces deux types ne se distinguent pas l'un de l'autre (figure 3).

1) Pétrographie du granite.

La biotite, souvent transformée en chlorite, est le seul minéral phylliteux important dans le granite sain. Ses feuilletés déformés et écartés par la cristallisation postérieure du quartz présentent toujours une extinction onduleuse, probablement due aux forces tectoniques qui ont présidé à la mise en place de la roche, car tous les autres minéraux et notamment le quartz, ont une extinction roulante. Les feldspaths plagioclases, de type oligoclase, subautomorphes et de taille variable sont les plus importants. Les feldspaths alcalins, peu nombreux, et le quartz, ont cristallisé entre biotite et plagioclase. Les myrmékites, perthites et micropegmatites ne sont pas rares, et un échantillon (La Vill 25) est constellé de très jolies associations graphiques. La taille moyenne du grain est relativement constante mais peut varier localement, le granite devenant plus fin sans que sa composition minéralogique change. Muscovite, zircon, tourmaline, apatite et rutile sont les minéraux secondaires, et si JONIN (1969) différencie le granite gris du granite blanc par la présence de cordiérite dans le premier, je n'ai observé celle-ci que dans une plaque de granite gris (Les Rieux 10).

Cette roche, qui a été légèrement tectonisée, est une granodiorite à biotite, à grain moyen et à structure équante.

2) Les enclaves.

Multiplés, aussi bien dans le granite gris que dans le blanc, elles peuvent être classées en plusieurs types (JONIN, 1969) :

- les enclaves surmicacées
- les enclaves de quartz
- les enclaves de cornéennes
- les enclaves de roches éruptives

Les enclaves surmicacées sombres apparaissent bien sur le fond clair de la roche encaissante. De forme quelconque, leurs limites sont franches et leur taille ne dépasse guère quelques dizaines de cm. Parfois elles sont marquées par une légère orientation. Les minéraux principaux y sont les minéraux phylliteux : biotite, chlorite et muscovite, associés à des minéraux de métamorphisme : andalousite et cordiérite auxquels s'ajoutent quelques quartz et quelques feldspaths.

Les enclaves de type cornéennes, claires, sont souvent pénétrées par le granite. De texture granoblastique elles sont constituées de quartz en petits grains, de biotites automorphes parfois chloritisées, de muscovite de taille très variable, de peu de feldspaths, de cordiérite pinnitisée et de minéraux opaques.

Les enclaves de roches éruptives sont, soit des microdiorites quartziques (Hg 16) à composition proche de celle de la granodiorite, à texture grenue fine, soit des roches de type microgranitique (25 bis).

Les enclaves de quartz sont formées de grandes plages quartz-euses s'interpénétrant, souvent fracturées et parfois associées à du disthène (10 ter).

Des origines distinctes peuvent être attribuées à ces enclaves : elles peuvent correspondre soit à des lambeaux de roche encaissante recristallisés, soit à des différenciations magmatiques ou à une interaction de deux types de magmas (DIDIER et LAMEYRE, 1969).

3) Le cortège filonien.

Les différenciations aplitiques, peu nombreuses, n'existent qu'en petites bandes de quelques cm (La Boinderie) et parfois en larges veines (Les Rieux). La roche, hololeucocrate, constituée essentiellement de feldspath, d'un peu de quartz et de petites baguettes de mica noir chloritisé, possède une texture finement grenue.

De petites veines pegmatoïdiques parcourent le granite et sont composées de quartz et de feldspaths nettement plus gros que dans la roche encaissante.

Les filons de dolérite d'âge Fermien (Feuille de Dinan, carte géologique de France au 1/80.000ème) sillonnent le massif dans une direction N-S (figure 3), mais il est difficile de les observer en place. Par contre les boules d'altération sont fréquentes.

4) La différenciation dioritique de la Boinderie (cf. figure 5 relative à cette coupe).

Cette roche très altérée, visible sur une vingtaine de mètres, le long de la coupe de la Boinderie, renferme des grains sensiblement de la même taille que la granodiorite. On y observe moins de quartz et plus de feldspaths, notamment des plagioclases, et un troisième minéral verdâtre abondant très altéré dont on voit encore des clivages à 120° mais dont l'étude aux rayons X montre qu'il s'agit bien d'un mica. C'est là probablement une amphibole transformée en minéraux micacés associés à de nombreuses anatases, association qui pourrait venir d'une action hydrothermale (PARFENOFF, POMEROL, TOURENO, 1970).

Cela laisse supposer que la roche originelle est une diorite, roche que JONIN (1969) n'a pas décrite.

5) Les premières transformations minéralogiques.

Observée depuis longtemps, décrite par COLLIER (1961) et MILLOT (1964), la zone de cémentation est caractérisée par des transformations minéralogiques importantes mais insuffisantes pour entraîner la désagrégation. A l'affleurement la roche devient grise, parfois

brune s'il y a beaucoup d'oxydes et hydroxydes de fer. Les fissures et diaclases sont nettement mieux marquées par la présence de ce fer, car l'action de l'eau y est plus intense. L'altération affecte la masse rocheuse granodioritique mais aussi ses enclaves et filons. Les feldspaths blanchissent, sans devenir toutefois pulvérulents, tandis qu'au microscope on observe un voile brun dans la masse du minéral parsemé de petits points noirs d'oxydes, tandis que la séricitisation se développe. Les plagioclases sont souvent plus altérés que les feldspaths potassiques ; la transformation commence généralement par l'extérieur du minéral et gagne progressivement son centre. Le phénomène inverse est rare dans la granodiorite.

Les biotites, déjà fortement chloritisées dans la masse de la roche saine (JONIN, 1969) sont, lorsque l'altération devient assez importante entièrement transformées en chlorite, les minéraux formés ayant la même orientation que le minéral original. Elles se transforment aussi en vermiculite et il est possible d'observer les associations chlorite-biotite, biotite-vermiculite, vermiculite-chlorite. Parallèlement, des dépôts opaques et bruns deviennent de plus en plus importants : ce sont les oxydes et hydroxydes de fer qui se fixent de préférence sur les plans de clivage.

La muscovite, peu abondante, sauf dans certaines enclaves, reste intacte de même que le quartz dans lequel des fissures sont soulignées par des dépôts d'oxydes de fer. Les minéraux secondaires de la granodiorite ne subissent pas de transformations.

Dès les premiers stades de l'altération météorique l'évolution minéralogique est différentielle, affectant préférentiellement sous un climat défini un ou plusieurs minéraux, laissant les autres intacts ou peu transformés (RONDEAU, 1958 ; COLLIER, 1961). En ce qui concerne la granodiorite de Bonnemain, biotite et feldspaths plagioclases sont les minéraux les plus sensibles.

II - LES AFFLEUREMENTS ET LES COUPES ETUDIÉES.

La figure 3 montre la position des affleurements et des coupes étudiées. Si le granite sain et massif existe dans de nombreux affleurements superficiels et dans de petites carrières aujourd'hui abandonnées, les formations d'altération sont assez difficiles à observer car les carrières ouvertes dans l'arène sont rares. Par contre, les tranchées de drainage permettent un échantillonnage de la partie supérieure du profil d'altération alors que la construction de routes entaille suffisamment les profils et offre une vue d'ensemble de ceux-ci.

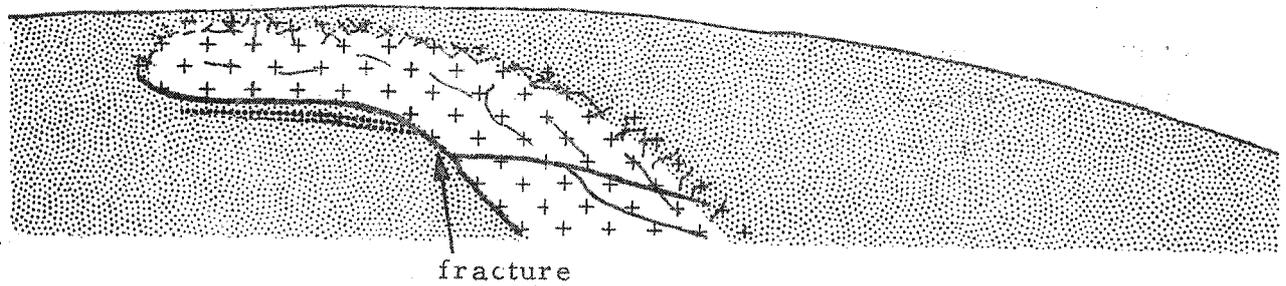
Trois types de coupes ont été étudiées :

- 1) - la carrière de la Higourdais (Hg) ouverte dans l'arène
- 2) - la coupe de la Boinderie située le long d'une route
- 3) - des coupes de moindre importance dont bon nombre ont été décrites (PLIHON, 1971). Elles sont situées soit le long des chemins vicinaux (La Labourais, Le Villorien), soit dans ^{des} tranchées de drainage sur des zones planes humides (La Villorien, Les Rieux, La Labourais), soit dans de très petites carrières d'arène (La Pinderie).

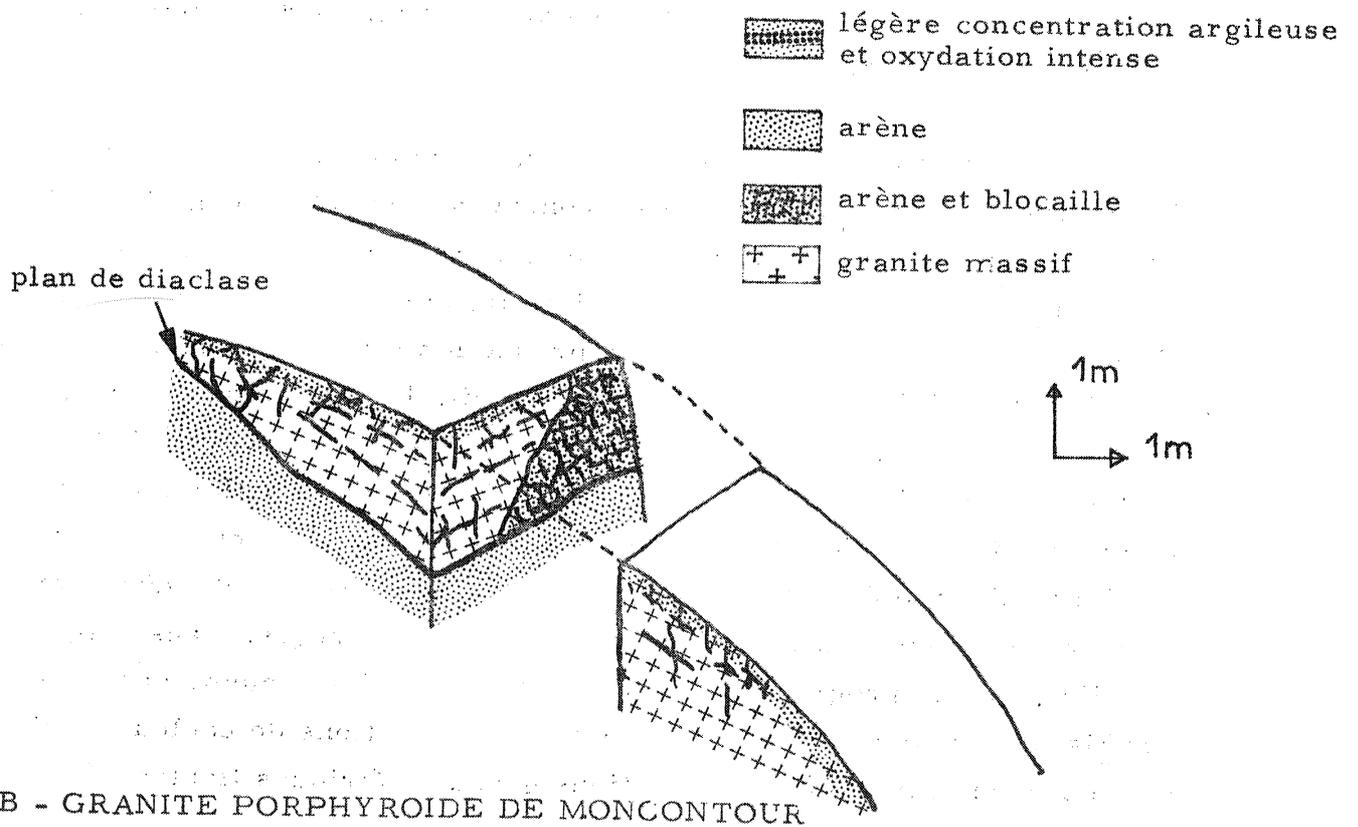
A) LA CARRIERE DE LA HIGOURDAIS : LES ARENES GRANITQUES.

1) Description.

Située à 500 mètres à l'Est de la route Cuguen-Epiniac, au lieu-dit la Higourdais, cette carrière est ouverte dans l'arène, à la partie supérieure du dôme morphologique limité par le réseau hydrographique. De forme ovale, seule la partie Sud ne présente pas de front de taille, alors qu'ailleurs celui-ci, haut d'au moins deux mètres, est constitué d'arène grise, rarement rouge. Toutefois, dans le détail, des différences de couleur moins intenses peuvent marquer la zone arénisée : ainsi dans la coupe Hg 3... une masse désagrégée blanche de forme ovoïde est visible dans un ensemble légèrement rougeâtre, lui-même surmonté d'une



A - GRANODICRITE DE BONNEMAIN : Coupe Hg



B - GRANITE PORPHYROIDE DE MONCONTOUR

FIGURE 2 - - FORMATION D'ARENE EN RELATION AVEC LA CIRCULATION DES EAUX DANS LES DIACLASES ET FRACTURES

arène plus blanche. Dans la partie Est de la carrière, on observe, outre l'arène, un pointement rocheux qui affleure presque jusqu'à la surface et une arène sous la roche massive (figure 2). Les enclaves, nombreuses et variées, sont, soit restées massives, soit altérées, soit désagrégées. Des fissures, verticales ou obliques, droites ou courbes, en relation visible ou non avec la surface, marquent la zone arénisée par leur couleur rouge brique et leur concentration en matériaux plus fins argileux ou limoneux. L'ensemble est surmonté d'un sol brun peu épais (10 à 20 cm) très sableux.

- 2) Granulométrie des formations meubles : (quelques courbes sont présentées avec celles relatives aux formations de la coupe de la Boinderie, figure 7).

Les courbes granulométriques cumulatives des fractions inférieures à 2 mm (passoire) sont concaves vers le bas dans le mode de représentation retenu et possèdent une fraction sableuse largement dominante. L'ensemble des arènes de cette carrière est très homogène : l'intensité de la désagrégation et la production d'argiles varient peu, aussi le faisceau défini par ces courbes est étroit, le pourcentage moyen d'argile ne dépassant pas 3%. Un seul échantillon d'arène rubéfiée (Hg 51) présente un taux d'argile important (21%). Toutefois la désagrégation n'est jamais complète et la fraction inférieure à 2 mm ne représente qu'une partie de l'échantillon (40 à 70%), les graviers étant constitués de grains grossiers ou de petits morceaux de granite non encore désagrégés. Dans cette carrière, aucune progression verticale n'est sensible, même dans les profils les mieux développés. En outre les variations de couleur de l'arène ne correspondent pas à des variations granulométriques (tableau 1).

La granulométrie des enclaves est semblable à celle des arènes par la forme des courbes et les pourcentages de fraction argileuse et limoneuse formés (tableau 1), mais il y a une diminution du mode et de la médiane en rapport avec la taille des minéraux de la roche, celle-ci ayant un grain plus fin que le granite.

Echantillons	A %	Lf			Lg	Stf	Sf	Sg
	< 2 μ	2 μ -5 μ	5 μ -10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -100 μ	100 μ -200 μ	200 μ -2000 μ
Hg 07 arène grise	0,5	0,5	1	1,6	2,9	4,8	9,3	79,4
Hg 021 arène grise bas de coupe	3,3	1	1,3	1,5	3,1	5,4	9,9	74,5
Hg 24 arène blanchâtre	1	1,1	0,9	2	2,7	4,7	8,6	79,2
Hg 34 arène blanche sommet de coupe	1,5	0,2	0,9	2,3	2,5	4	7,4	81,3
Hg 33 arène rougeâtre	2,4	1,3	2,5	4,7	5,4	6,9	9,9	66,8
Hg 32 poche d'arène blanche	2,4	1,4	2,1	3,2	4	6,6	11,7	68,4
Hg 11 enclave	3,6	0,9	1,9	2,3	9,1	25,3	33,4	23,5
Hg 08 enclave	1,7	0,5	8	1,7	2,3	5,5	13	75,3
Hg 011 (fissure)	3,3	1	3,8	1,5	4,1	6,9	12	67,5
Hg 015 (fissure)	6,1	4,3	1,2	4,6	6	8	12,4	57,3
Hg 22 (fissure)	2,3	1,7	1,6	2,2	3,5	4,9	9,2	74,6
Hg 23 (fissure)	9,5	8	6,2	11	13,8	11,6	11,3	28,6

Tableau 1 : Carrière de la Higourdais : Répartition granulométrique des échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

Les produits qui colmatent les fissures possèdent une courbe granulométrique dont la concavité vers le bas est identique à celle des arènes, mais la fraction argileuse est plus développée (3 à 9%, tableau 1), et les variations au niveau des fractions limoneuses sont plus importantes. Le taux de gravier est faible et les sables grossiers restent prédominants, la taille moyenne des grains étant légèrement plus faible que dans l'arène.

3) Minéralogie.

Les fractions sableuses grossières sont constituées de quartz laiteux ou translucide, de feldspaths farineux peu friables et de biotites chloritisées.

Les fractions argileuses ont été étudiées à l'aide des rayons X et de l'analyse thermique différentielle (A. T. D.). Les minéraux argileux des arènes sont caractérisés par des raies larges et ou dissymétriques. La famille des minéraux à 7 Å est représentée par un pic très large dissymétrique du côté des petits angles (entre 7, 2 et 8 Å) qui correspond à de la kaolinite désordonnée ou kaolinite pM (CAILLERE, HENIN, 1963). Ce minéral est bien représenté et semble d'autant plus mal cristallisé qu'il est bas dans la coupe. Les deux autres minéraux importants sont l'illite et la vermiculite en quantités sensiblement égales (figure 4).

Associés à ces minéraux, des édifices interstratifiés irréguliers sont toujours présents sous forme d'épaulements ou de petits pics massifs. Leur importance quantitative est faible mais constitue la marque visible de l'évolution minéralogique qui existe dans les arènes. Les mieux représentés sont l'illite-chlorite, la vermiculite-chlorite et l'illite-vermiculite. Leur détermination est parfois malaisée en raison, soit de pics larges et massifs et peu importants, soit d'association de ces édifices où intervient la chlorite, inexistante par ailleurs.

Dans les fissures (figure 4), zones à légère concentration en argile et à oxydation intense (couleur rouille) en relation avec une circulation préférentielle de l'eau, les minéraux argileux sont sensiblement les mêmes que ceux des arènes, les proportions respectives de chaque type étant variables. Dans un échantillon la montmorillonite apparaît et

les édifices interstratifiés sont mieux représentés que dans la roche arénisée.

4) Résumé.

L'étude de cette carrière montre que l'arénisation s'est développée de façon irrégulière, des zones préférentielles de circulation d'eau pouvant provoquer l'altération de la roche en profondeur, isolant ainsi une masse rocheuse en surface. Le taux d'altération varie très peu dans les arènes, tandis que les fissures sont des zones à légères concentrations de particules fines (argileuses et limoneuses). Les minéraux argileux qui se sont développés dans les arènes sont caractérisés par la kaolinite dominante, associée à l'illite et à la vermiculite bien représentées; les édifices interstratifiés sont toujours présents mais en faible quantité. Cette association minéralogique se retrouve aussi dans les argiles des fissures.

B) LA COUPE DE LA BOINDERIE (BO) : ARENES, LIMONS ET FORMATIONS INTERMEDIAIRES.

1) Description.

Cette coupe affleure à la partie supérieure du versant Sud d'une petite vallée orientée Ouest-Est, le long d'une route communale passant par le lieu-dit "La Boinderie" (figure 3). Elle permet d'observer à l'Ouest de ce village, le granite sain massif, le granite altéré et arénisé, la diorite arénisée et des limons superficiels. La figure 5 montre les relations spatiales qui existent entre toutes ces formations, tandis que sur la figure 6 les détails et les caractéristiques de deux profils verticaux sont rapportés.

L'arène granitique est grise et localement parcourue de veines rouilles où s'est produite une oxydation; elles dessinent un réseau à mailles décimétriques irrégulières. Les enclaves sont rares dans cette coupe aussi bien dans la zone altérée que dans la zone massive. Par

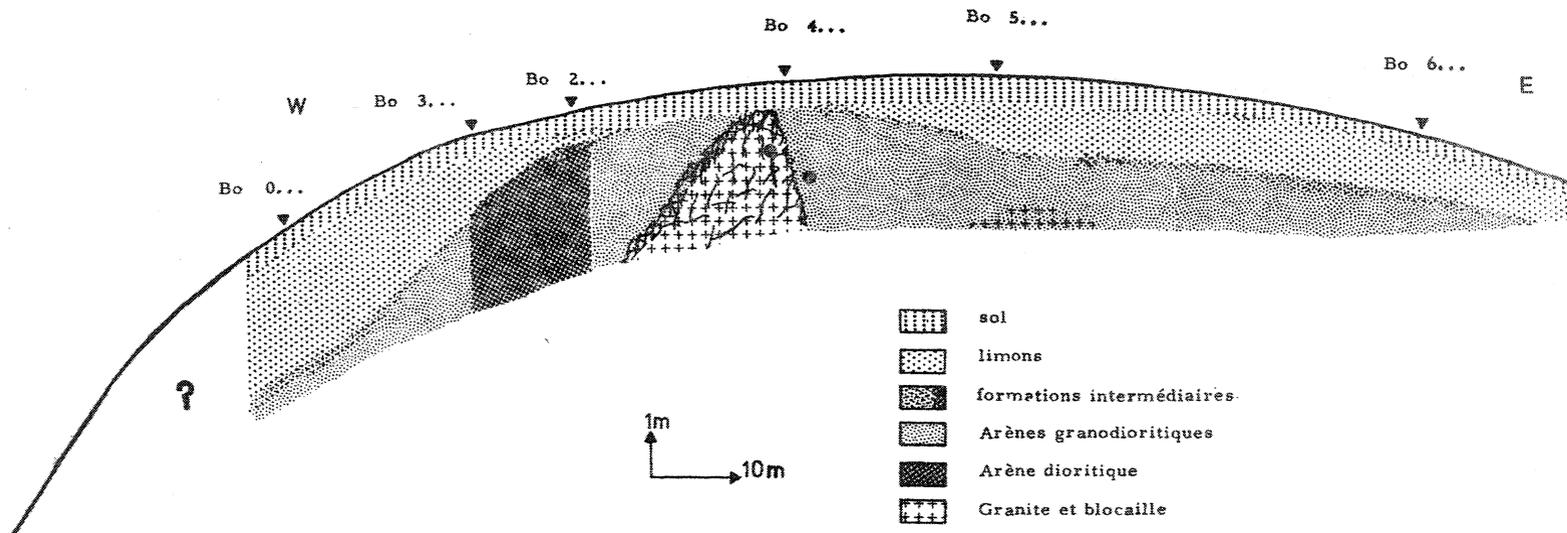


FIGURE 5 - SCHEMA GENERAL DE LA COUPE
DE LA BOINDERIE (Bo)

contre de petits filonnets apliques fracturés et non désagrégés sillonnent le granite et l'arène granitique. Dans la partie Est de la coupe, non représentée sur la figure 5, affleure un filonnet quartzo-feldspathique en voie d'altération.

Dans la partie Ouest de la coupe, sur une vingtaine de mètres, l'arène devient plus feldspathique et prend une teinte légèrement verdâtre : il s'agit des produits d'altération de la diorite. Verticalement cette arène est marquée par des successions de niveaux plus ou moins oxydés bruns et de niveaux verdâtres plus importants. Parfois elle devient rouge-brun et englobe entièrement une masse d'arène claire (figure 6).

L'ensemble de ces produits d'altération en place (arène granitique et arène dioritique) est surmonté de matériaux jaunes d'épaisseur variable à texture limoneuse ou sablo-limoneuse, notamment dans la coupe Bo 0... . Le passage des arènes à ces limons est en général net quoique dans certaines coupes (Bo 0... et Bo5...) il soit diffus et progressif, simplement souligné par quelques petits morceaux de granite encore compacts. Seule la partie la plus élevée au niveau du pointement rocheux, n'est pas recouverte de limons. L'ensemble de la coupe est surmonté d'un sol brun épais (50 à 70 cm) et limoneux.

2) Granulométrie des formations meubles (figure 7 et tableau 2).

Les courbes granulométriques cumulatives des arènes granitiques, de la fraction inférieure à 2 mm, de l'échantillon total, et des fractions sableuses, présentent des caractères communs : une concavité de la courbe vers le bas et une prédominance de la fraction sableuse grossière. Les pourcentages d'argile des fractions inférieures à 2 mm sont supérieurs à 5% et oscillent, selon les échantillons, entre 5 et 15%. Le faisceau (figure 8) défini par l'ensemble des courbes est nettement plus large que celui des arènes de la Higourdais et légèrement décalé vers les petites dimensions.

La fraction de graviers et cailloux, constituée de grains de quartz, de feldspaths et de petits morceaux de granite non désagrégés varie entre 50 et 20% de la masse de l'échantillon total et, à un

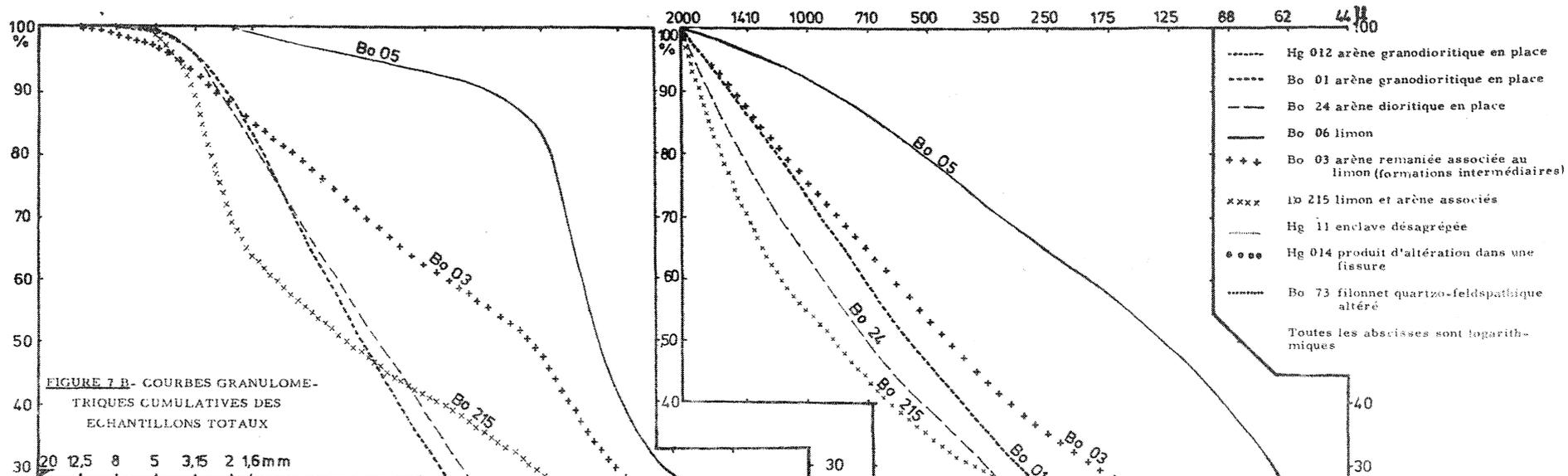


FIGURE 7 B- COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES ECHANTILLONS TOTAUX

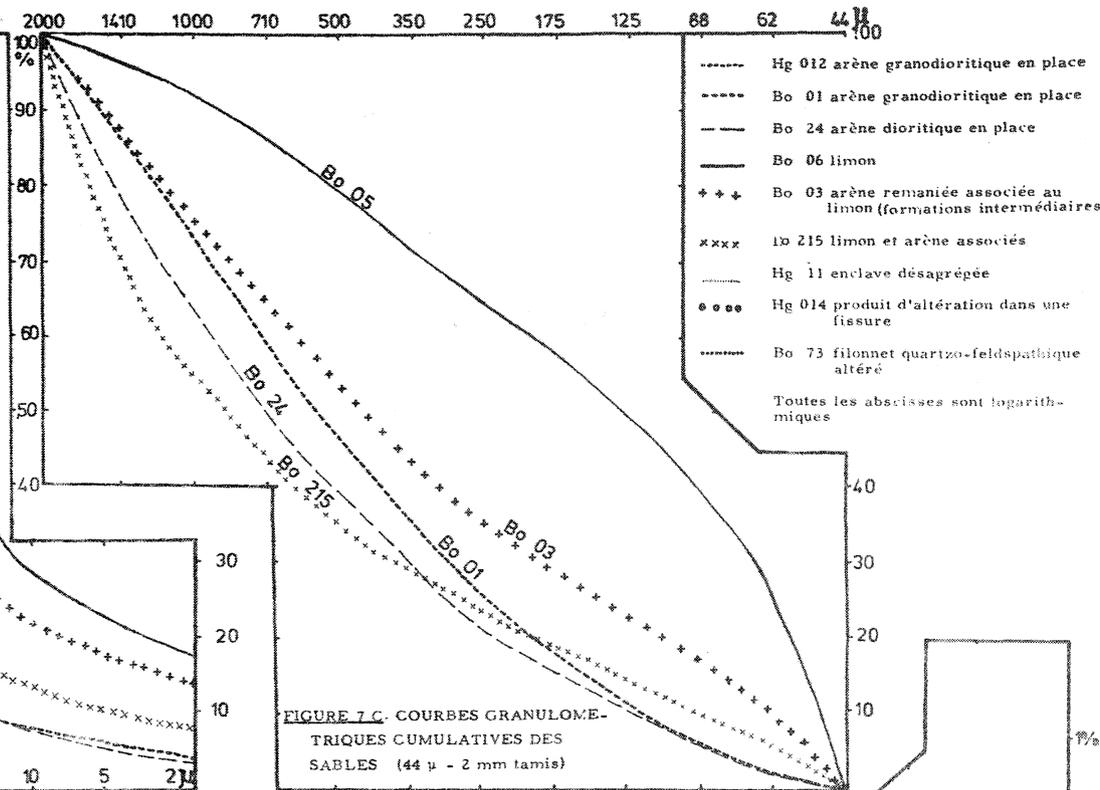


FIGURE 7 C. COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES SABLES (44 μ - 2 mm tamis)

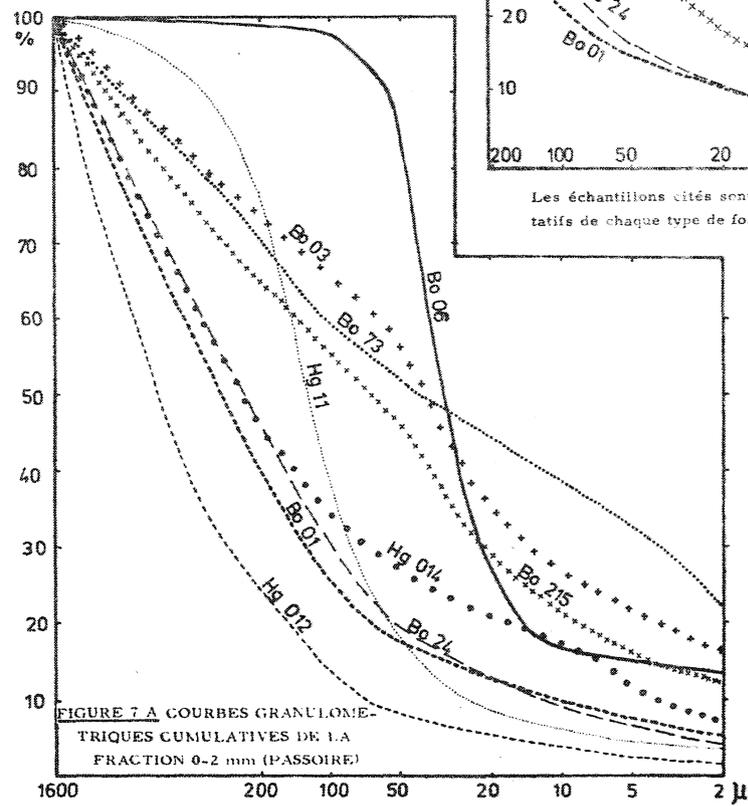


FIGURE 7 A COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DE LA FRACTION 0-2 mm (PASSOIRE)

Les échantillons cités sont représentatifs de chaque type de formation.

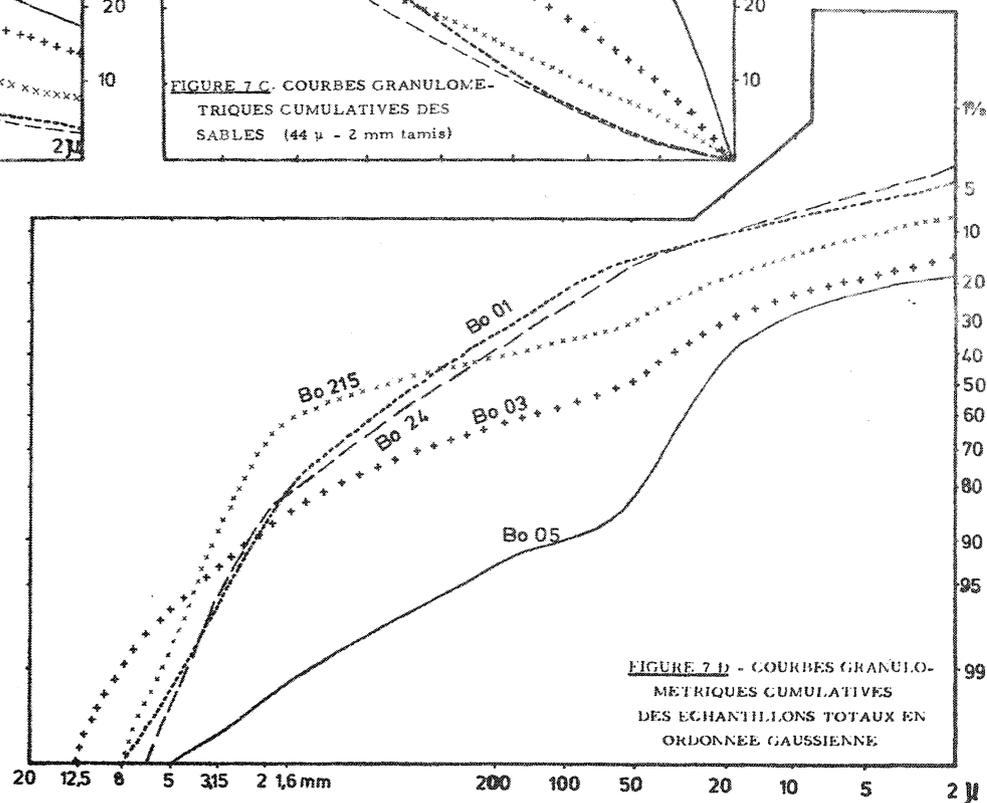


FIGURE 7 D - COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES ECHANTILLONS TOTAUX EN ORDONNEE GAUSSINNE

accroissement de la fraction argileuse correspond une réduction de la fraction supérieure à 2 mm. En ordonnée de probabilité et en abscisse arithmétique (construction possible entre 2μ et 200μ en prenant les pourcentages relatifs à l'échantillon total) les courbes deviennent droites entre 20 et 200μ , c'est-à-dire que cette répartition est normale et obéit à la loi de GAUSS. Toutefois si le taux d'argile devient élevé ces courbes ont tendance à s'arrondir. En abscisse logarithmique la répartition des arènes est rarement droite mais souvent formée de deux segments sécants aux environs de 100μ . Lorsque la courbe tend vers une droite la répartition est proche d'une distribution lognormale identique à celle observée par GABIS (1963) dans les arènes du Velay.

Le filonnet quartzo-feldspathique altéré (Bo 7...) présente un pourcentage d'argile très variable (de 8 à 38% de la fraction inférieure à 2 mm). Les courbes cumulatives sont toujours caractérisées par une légère concavité vers le bas identique à celle des arènes quoique moins accentuée. La fraction de graviers et cailloux devient par contre moins importante.

La granulométrie de la fraction inférieure à 2 mm des arènes dioritiques ressemble à celle des arènes granitiques. Toutefois, si le pourcentage moyen d'argile reste sensiblement identique (8 à 9%), la fraction limoneuse des arènes dioritiques devient plus importante alors que la taille du grain moyen diminue légèrement, celui-ci appartenant toujours à la fraction sableuse : il y a donc un léger décalage des courbes vers les petites dimensions qui se marque de la même façon sur le faisceau défini par l'ensemble des courbes (figure 8). La granulométrie de la fraction sableuse est toujours marquée par la concavité vers le bas des courbes et par la prédominance des sables grossiers. Par contre la fraction de cailloux et graviers n'a plus dans ces arènes qu'une importance relativement faible, dépassant rarement 20% de la fraction totale. En ordonnée de probabilité, quelle que soit l'abscisse, les types de répartition sont identiques à ceux des arènes granitiques. D'une façon générale il n'y a pas, dans aucun type d'arène, de variations granulométriques verticales régulières.

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	<2 μ	2 μ -5 μ	5 μ -10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ - 100 μ	100 μ -200 μ	200 μ 2000 μ
BO 42 arène granitique	4, 2	1, 9	1	1, 7	2, 7	4, 3	8, 2	75, 9
BO 54 arène granitique	7, 4	2, 8	1, 5	3	4, 5	5, 2	8, 5	67, 2
BO 26 arène dioritique blanche	5, 8	2, 4	3, 8	3, 5	6, 3	9, 6	13, 7	55
BO 27 arène dioritique rouge	7, 9	3	4	4, 7	6	9	12, 7	52, 5
BO 215 formation intermédiaire	12, 4	3, 7	5, 1	7, 7	17, 8	9, 6	8, 7	35, 1
BO 310 limon jaune	17, 3	4, 2	5, 7	12, 3	44, 9	8, 4	1, 8	5, 4
BO 0 7 limon sableux jaune	17, 8	2, 4	2, 9	4, 1	29, 9	18, 7	7, 8	16, 4
BO 71 filonnet quartzo-feldspathique	18, 9	7, 9	4, 1	6	6	7, 4	9, 6	39, 9

Tableau 2 : Coupe de la Boinderie : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

La granulométrie des formations limoneuses jaunes présente une certaine hétérogénéité si l'on considère tous les échantillons. Un certain nombre de ceux-ci (la majorité) possède une fraction bien classée entre 10μ et 60μ , fraction limoneuse représentant 50 à 60% de la masse totale des échantillons ce qui entraîne une forme sigmoïde des courbes. Le taux d'argile de ces formations est toujours supérieur à 10%, et la moyenne se situe autour de 15%. Ces échantillons correspondent à la définition des limons. La fraction sableuse est alors faible tandis que la répartition granulométrique de cette seule fraction n'est plus concave vers le bas mais vers le haut, l'importance des résidus sableux grossiers diminuant vers les grandes dimensions, à l'inverse de ce qui est observé dans les arènes. Quant aux cailloux et graviers ils ne sont plus que très faiblement représentés (quelques %). En ordonnée gaussienne, en abscisse arithmétique et en abscisse logarithmique, la répartition est linéaire entre 10 et 60μ faisant un angle net avec les fractions de taille inférieure et supérieure : il y a ici une véritable coupure dans la distribution granulométrique. Dans la coupe Bo 0... , à la partie supérieure des limons, la fraction limoneuse diminue au profit de la fraction sableuse, variation verticale qui se manifeste aussi sur les taux d'argile.

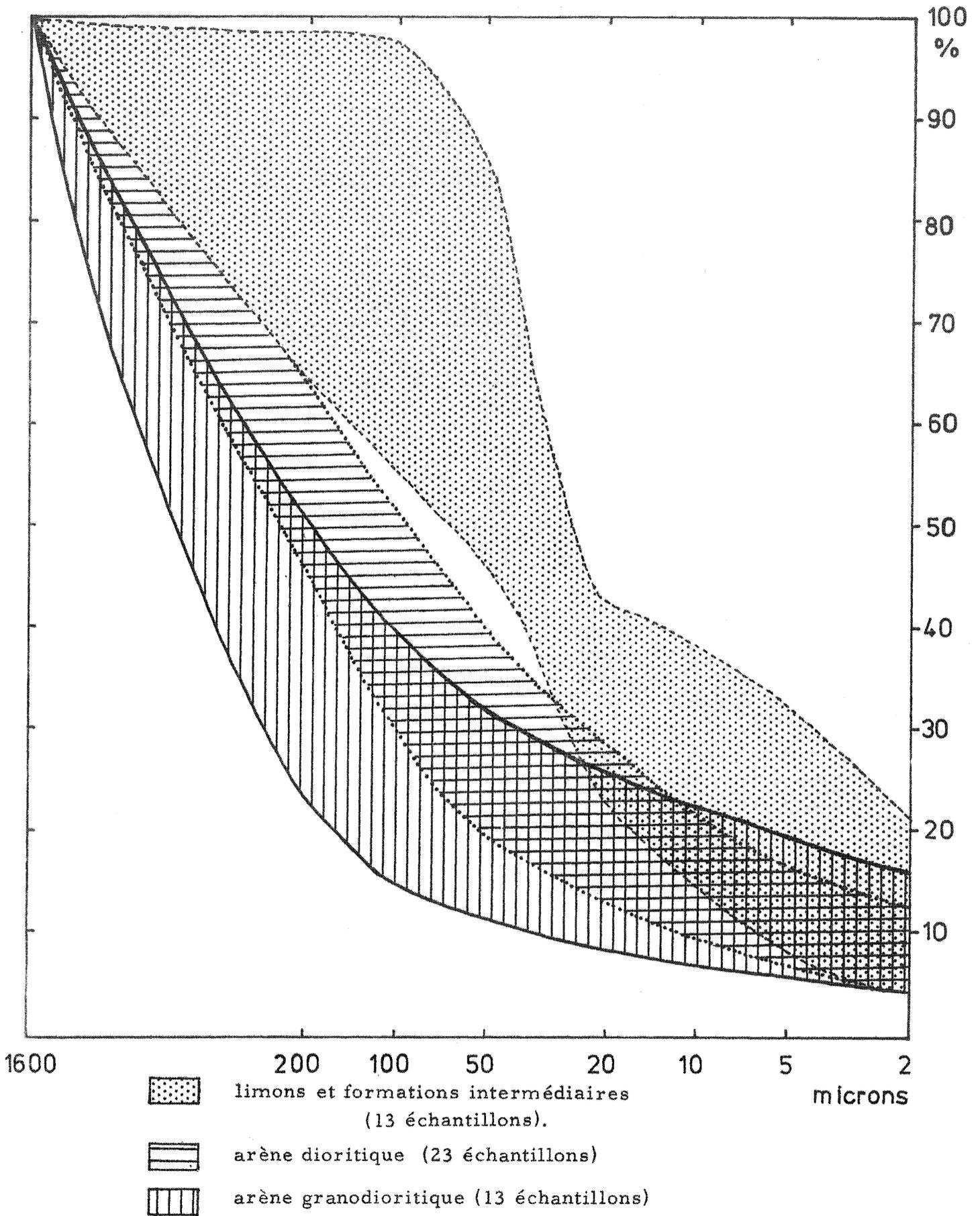
Les autres échantillons, situés entre les arènes et les limons ne présentent pas les mêmes caractéristiques granulométriques (Bo 03, Bo 215, Bo 56). Leur distribution est assez proche de celle des arènes mais présente un renflement dû à un excès de fraction limoneuse par rapport aux arènes en place. Leur fraction de graviers et cailloux est plus développée que dans les limons et semblable à celle des arènes avec, dans certains cas (Bo 03), présence de petits blocs de granite altéré mais non désagrégé. Je qualifierai ces échantillons de formations jaunes intermédiaires, car ils ne correspondent pas à la définition des limons.

Les indices granulométriques (tableau 3) ont été calculés à partir des courbes relatives à l'échantillon total. Selon le degré d'altération dans les arènes, la valeur de la médiane et de la déviation arithmétique varie beaucoup, diminuant avec un accroissement de l'altération. Par contre dans les limons ces valeurs oscillent peu. Le classement (So)

TABLEAU 3 : INDICES GRANULOMETRIQUES
DES FORMATIONS DU MASSIF DE BONNEMAIN

Nature des échantillons	Numéro échantillon	Q1	Q2	Q3	Dévia- tion arithmé- tique	Clas- sement	Asy métrie
		(μ)	(μ)	(μ)	(μ)	So	As
Arène granodioritique	Bo 01	130	450	1 250	560	3, 10	0, 8
	Bo 42	450	1400	3 150	1 350	2, 65	0, 72
	Bo 61	350	1450	3 200	1 425	3, 02	0, 53
Arène dioritique	Bo 24	100	350	1 150	525	3, 39	0, 94
	Bo 213	180	1450	4 800	2 310	5, 16	0, 41
	Bo 36	50	180	460	205	3, 03	0, 71
Formations remaniées	Bo 02	140	670	2 600	1 230	4, 31	0, 81
	Bo 03	13	57	630	308, 5	6, 96	2, 52
	Bo 05	7	25	40	16, 5	2, 39	0, 45
	Bo 07	15	42	100	42, 5	2, 58	0, 85
	Bo 215	36	500	2 200	1 082	7, 82	0, 32
	Bo 310	9	27	42	16, 5	2, 16	0, 52
	Bo 63	6	27	42	18	2, 65	0, 35

FIGURE 8 : COURBES ENVELOPPES ET FAISCEAUX
 GRANULOMETRIQUES DES DIFFERENTS GROUPES
 D'ECHANTILLONS DE LA COUPE DE LA BOINDERIE



est moyen dans les arènes, bon dans les limons et mauvais dans les formations intermédiaires (Bo 02, Bo 03, Bo 215). Il est toujours meilleur du côté des particules grossières sauf dans les formations intermédiaires.

3) Minéralogie.

a) les fractions sableuses grossières.

A l'oeil nu les fractions sableuses grossières semblent peu différentes qu'il s'agisse des arènes granitiques ou dioritiques ou des limons. Observés à la loupe binoculaire les grains sont constitués de minéraux isolés nettoyés de leurs oxydes par la cuisson dans l'acide chlorhydrique au demi. Dans l'arène granitique le quartz, transparent ou laiteux a une forme quelconque et possède encore à sa surface des lambeaux de minéraux associés (feldspaths ou micas). Les feldspaths, blanchis, farineux et friables ont conservé leur forme automorphe pour nombre d'entre eux avec des arêtes arrondies et des angles émoussés. Les phyllites, déjà très altérées dans la zone de cimentation n'ont pas résisté à l'action de l'acide, aussi existent-elles en petits feuillets, de plus en plus nombreux vers les petites dimensions. Très peu de zircons sont observables, tandis que la tourmaline est toujours présente en grains épars.

Dans les arènes dioritiques où le quartz est nettement moins abondant, les feldspaths et les minéraux micacés légèrement verdâtres deviennent prépondérants. Dans les dimensions correspondant aux sables fins les grains d'anatase sont nombreux souvent associés aux grains micacés.

Dans les fractions sableuses des limons, la majorité des grains est identique à ceux de l'arène granitique tandis que d'autres d'origine dioritique (minéraux micacés verdâtres) apparaissent dans les limons situés en contrebas de la diorite (coupe Bo 0...).

b) les minéraux lourds.

L'étude des minéraux lourds a été entreprise dans chaque

type de formation : systématiquement sur la fraction γ (62-175 μ), dans quelques échantillons pour la fraction β (175-350 μ) et plus rarement sur les fractions δ (inférieur à 62 μ). L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau 4 et sur la figure 9.

- les minéraux lourds des arènes granitiques.

Dans les arènes granitiques les minéraux lourds ne constituent qu'une très faible partie des sables desquels ils sont extraits, et à fortiori de la roche puisqu'ils sont très peu nombreux dans les fractions plus grossières pourtant plus importantes. Dans la fraction γ les minéraux lourds ne représentent que 0,1 à 0,2% de la masse totale, parmi lesquels les minéraux opaques constituent la moitié des minéraux extraits. Zircon et tourmaline sont les deux principales espèces minéralogiques transparentes de cette fraction tandis que dans la classe β le zircon diminue nettement et dans la classe δ il prend une place majeure. Un seul échantillon contient un taux important de titanés (Bo 42), alors que les silicates de métamorphisme existent toujours en petite quantité. Quelle que soit sa taille chaque espèce minéralogique possède les mêmes caractéristiques. La tourmaline est irrégulière, sans forme précise, brune très pléochroïque, parfois décolorée et rarement bleutée (type indicolite). C'est un minéral caractéristique des granites (KRYNINE, 1946) et notamment de ceux dépourvus de muscovite (BERTHOIS, 1935). Le zircon incolore est bien cristallisé en baguettes allongées souvent bipyramidées ou en grains plus massifs. Ces formes ont été longuement décrites par BERTHOIS (1935). Parmi les minéraux titanés, l'anatase est le plus abondant, accompagnée d'un peu de sphène. Les silicates de métamorphisme sont divers : sillimanite parfois fibreuse, andalousite rarement rose, staurotide et grenat. Epidotes et amphiboles n'existent qu'en quantité négligeable.

- les minéraux lourds des arènes dioritiques.

Dans les arènes dioritiques le pourcentage pondéral des minéraux lourds est élevé : proche de 2% dans la fraction γ , il est encore de plus de 1% dans la fraction β . Les minéraux opaques sont nettement

Nature des échantillons	Classe granulométrique	Numéro des échantillons	% pondéral	Zircon	Titanés	Tourmaline	Silicates de métamorphisme	Epidote s. l.	Hornblende	Pyroxènes	Altérés	Opaques / Transparents			
												Opaques	Transparents		
Arenne	γ	Bo. 01	0,16	38,77	+	57,89	+	+	+		1,54	103,3	50,8	49,2	
		Bo. 01	0,13	1,02		93,52	4,44		+		+	43,7	30,4	69,6	
		Bo. 42	0,16	71,7	12,4	14,51	+				+	91,2	47,7	52,3	
		Bo. 42	0,05	7,23	15,66	73,49	2,4				1,2	137,4	57,9	42,1	
		Bo. 61	0,10	75,2	+	21,8					+	90,1	47,4	52,6	
Arenne	β	Bo. 24	2,09	4,78	94,76			+				4,31	4,14	95,86	
		Bo. 24	1,12	+	99,23					+		9,7	8,86	91,14	
		Bo. 213	2,23	2,74	96,77						+	10	9,10	90,90	
		Bo. 213	1,34	+	99,31							22,9	18,6	81,4	
		Bo. 36	1,79	1,3	98,4				+			20	16,7	83,3	
Formations	γ	Bo. 02	1,30	11,29	64,2	21,4	+	+	+		1,34	109	52,1	47,9	
		Bo. 02	0,86	1,14	45,84	33,33	7,59			1,52		10,6	201	66,8	33,2
		Bo. 03	1,39	14,41	59,46	15,62	3,90	3	2,10			1,5	362	78,4	21,6
		Bo. 03	0,63	+	35,79	32,74	7,15		4,76			19,05	376	79	21
		Bo. 05	0,49	29,1	48,6	12,6	2,70	3,2	4,3			+	329	76,7	23,3
		Bo. 05	0,46	+	21,58	48,2	11,51	1,44	5,04	2,16		9,35	443	81,6	18,4
		Bo. 07	0,48	34,5	4,27	16,28	7	18,6	9,3	1,94		7,8	680	87,2	12,8
		Bo. 215	2,19	2,36	96,12	+	57,8	11,11	4,44	9,65	+	15,55	329	76,5	23,5
		Bo. 215	1,07		97,15	1,79	+				+	+	39,3	28,2	71,8
		Bo. 310	1,19	5,5	79,8	5	3,8	3,3	2,3		+	+	131	56,7	43,3
remaniées	γ	Bo. 63	0,58	27,6	9,2	23,9	9,8	3,6	21,4	1,8	2,5	503	83,4	16,6	

Chaque chiffre correspond à un pourcentage

TABIEAU 4 : LES MINERAUX LOURDS DE LA COUPE DE LA BOINDERIE

moins nombreux que les transparents (moins de 20% de tous les minéraux extraits). Associés à quelques zircons, les minéraux titanés forment la quasi totalité du cortège transparent lourd, où l'anatase et le sphène sont les mieux représentés. Le sphène se trouve souvent associé, sous forme de globules de petite taille plus ou moins arrondis, aux minéraux micacés verdâtres caractéristiques de cette arène. L'anatase existe aussi sous cet aspect mais plus généralement en cristaux bien individualisés de taille très variable. Jaunâtre, parfois bleutée, sans pléochroïsme, sa forme passe de la tablette à la bipyramide tronquée ou non, dont les surfaces sont couvertes de stries caractéristiques en marches d'escalier. Le rutile, associé aux minéraux micacés sous forme d'inclusions aciculaires (cheveux de vénus) et la brookite en grandes plaquettes constituent les autres minéraux titanés d'importance secondaire. Des transformations hydrothermales (PARFENOFF, POMEROL, TOURENO, 1970) peuvent expliquer l'abondance de l'anatase et son association avec un minéral micacé dans la diorite et en moins grande quantité dans certains échantillons d'arènes granitiques.

- les minéraux lourds des limons.

Le cortège des minéraux lourds des limons varie avec leur position topographique selon qu'ils soient situés en aval ou en amont par rapport à la diorite altérée. En outre, les variations verticales dans certaines coupes sont importantes.

Dans la coupe Bo 6... située en amont de la diorite arénisée, les espèces sont :

zircon 27%
 tourmaline 24%
 amphibole 27%
 silicates de métamorphisme 10%
 titanés 9%

Dans les limons situés au-dessus de la diorite (coupes Bo 2... et Bo 3...), où le pourcentage pondéral des minéraux extraits est de 1,2%, un minéral domine : l'anatase (80%) accompagnée de zircon (5,5%),

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

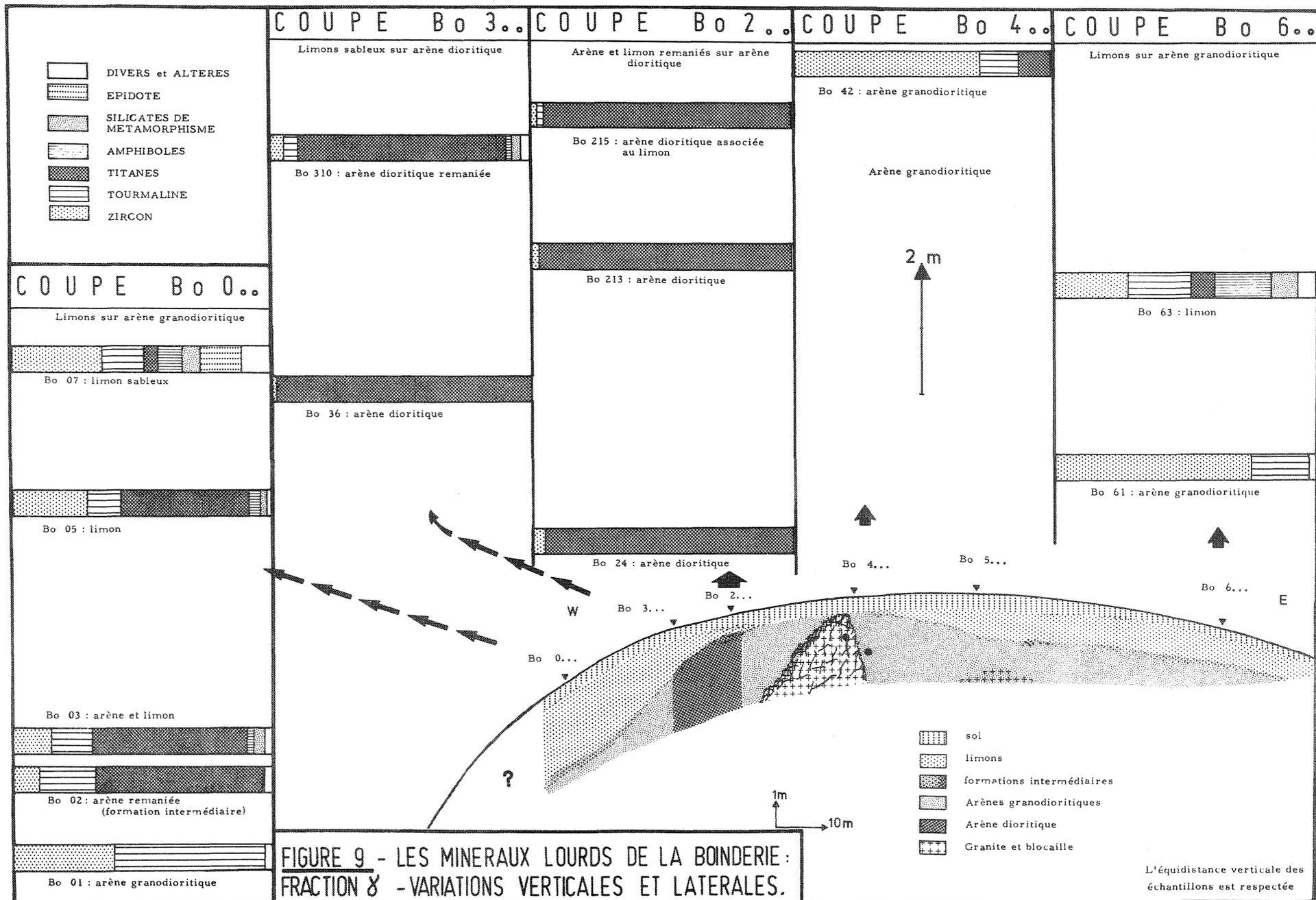


FIGURE 9 - LES MINERAUX LOURDS DE LA BOINDERIE : FRACTION X - VARIATIONS VERTICALES ET LATERALES.

tourmaline (5%), amphiboles (2, 3%) et silicates de métamorphisme (3, 8%).

Dans les limons situés sur l'arène granitique en contrebas de la diorite l'association minéralogique est aussi variée que précédemment mais subit en outre des variations verticales ; le trait dominant est l'abondance des titanés (anatase) à la base des limons et leur disparition presque totale au sommet, ceux-ci étant remplacés par le zircon, l'amphibole, les silicates de métamorphisme et les épidotes.

Le faciès des minéraux présents dans les limons est identique à celui des minéraux des arènes. L'amphibole, seul minéral qui n'existe pas dans celles-ci, est une hornblende verte parfois partiellement décolorée et qui n'a pas subi d'usure. Dans la fraction inférieure à 60 μ (classe Θ) on reconnaît des amphiboles, des zircons, des anatases, des épidotes et quelques tourmalines. Mais les difficultés de séparation puis de reconnaissance minéralogique à cette taille n'ont pas permis de faire de comptages.

- les minéraux lourds des formations intermédiaires.

Dans les formations intermédiaires on observe les mêmes variations que dans les limons : Bo 215 situé sur l'arène dioritique renferme principalement des titanés (96%) tandis que Bo 03 contient des titanés, des zircons, des tourmalines et quelques amphiboles.

Ces échantillons, situés au-dessus des arènes, possèdent à la fois certains caractères de celles-ci (courbes granulométriques concaves vers le bas, présence de graviers et de petits morceaux de granite) et certains caractères propres aux limons (fraction limoneuse relativement développée et nature des minéraux lourds). Ils apparaissent donc comme un mélange d'arènes et de limons effectué lors d'un remaniement. Je peux donc préciser leur dénomination en les appelant arènes remaniées, avec apport de matériaux distincts des produits d'altération du substratum.

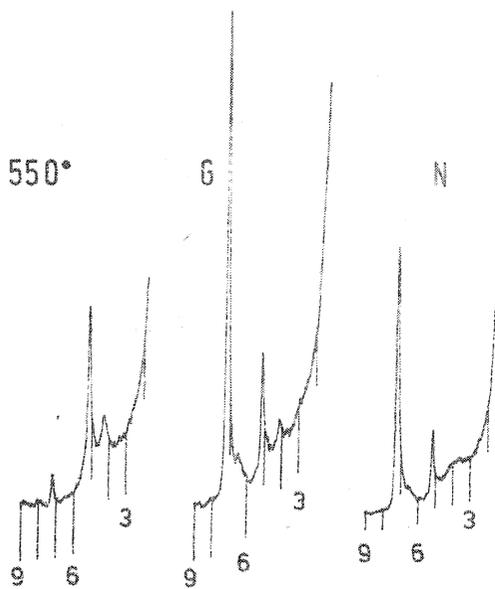
Ce remaniement peut d'ailleurs être mis en évidence uniquement par les minéraux lourds : ainsi Bo 02 contient un fort pourcentage d'anatase alors que l'échantillon d'arène granitique situé immédiatement au-dessous (Bo 01) n'en renferme pas : il y a ici association d'arène granitique (mise en évidence par le zircon) et d'arène dioritique (mise en évidence par l'anatase).

c) la fraction argileuse. (figure 10).

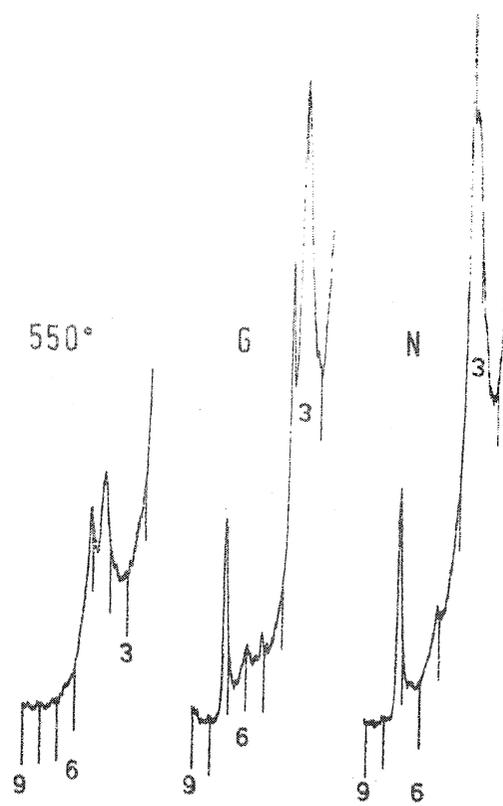
Dans l'arène granitique, la kaolinite, abondante, présente un pic dont seule la base est élargie : elle est moins désordonnée que dans les arènes de la carrière de la Higourdaïs. L'illite donne un pic bien défini à 10 \AA et existe dans tous les échantillons, contrairement à la vermiculite, qui n'apparaît que localement et parfois en abondance. La chlorite et la montmorillonite sont très mal représentées et toujours en quantité très faible. Les édifices interstratifiés irréguliers chlorite-vermiculite sont les plus importants associés à d'autres édifices $10-14 \text{ \AA}$ difficiles à déterminer.

Le filonnet quartzo-feldspathique altéré est caractérisé par l'abondance de la montmorillonite à laquelle est parfois associée de la kaolinite, qui semble bien cristallisée. La vermiculite, d'importance variable, l'illite, mal représentée et les interstratifiés chlorite-vermiculite constituent les minéraux secondaires.

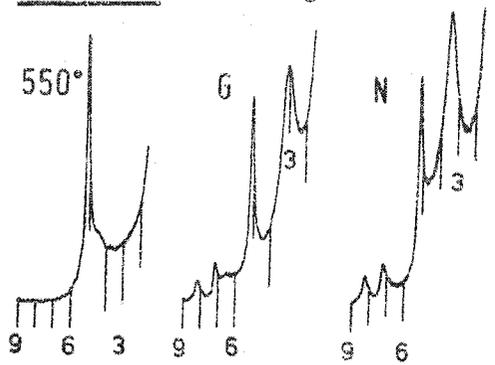
La fraction fine de l'arène dioritique est essentiellement caractérisée par une grande abondance de montmorillonite et d'illite auxquelles vient s'ajouter dans certains échantillons de la kaolinite. La présence de cette kaolinite n'a pas de rapports directs avec les zones claires et les zones oxydées brunes ni avec la position de l'échantillon dans la coupe. Ces associations posent des problèmes de génèse : la kaolinite vient-elle d'une altération différentielle des minéraux ou de différenciations pétrographiques de la roche ? Quant aux édifices interstratifiés dans cette arène, ils sont complètement absents.



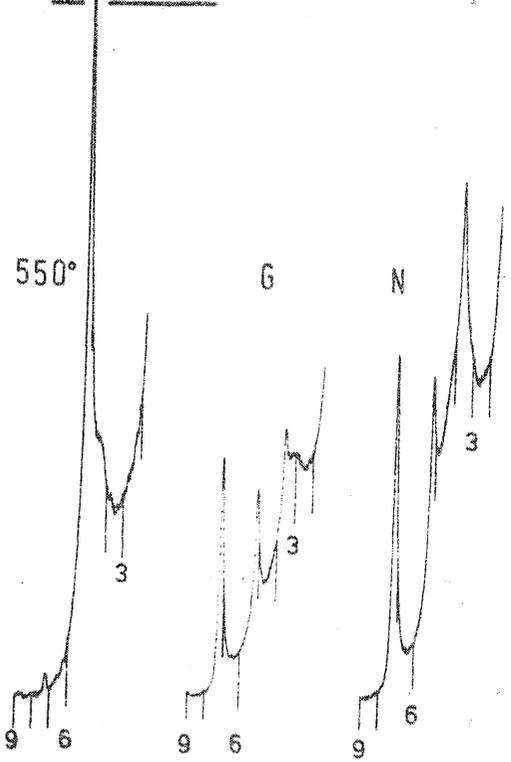
A : Bo 01 : arène granodioritique



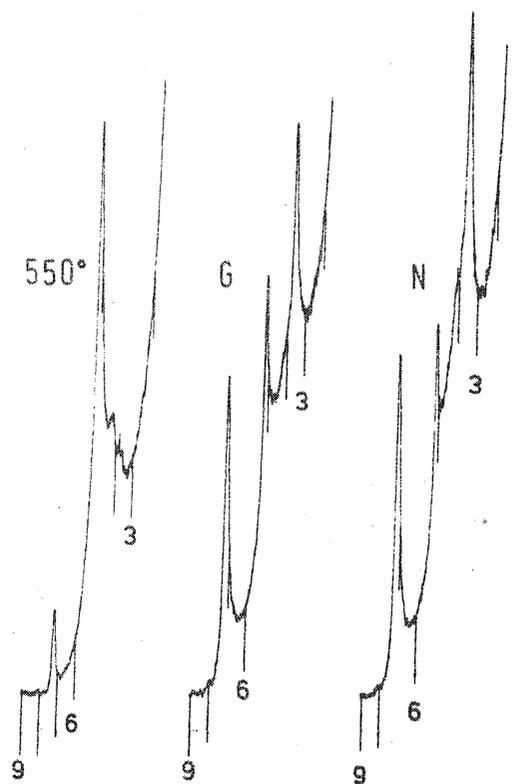
B : Bo 75 : filonnet quartzo-feldspathique altéré



C : Bo 213 : arène dioritique



D : Bo 05 : limon jaune en contrebas de la diorite



E : Bo 63 : limon jaune en amont de la diorite

FIGURE 10 : Composition minéralogique de la fraction argileuse dans la coupe de la Boinderie : diagrammes d'agrégats orientés (rayonnement $K\alpha$ du cobalt, graduation en degrés θ).

Dans les limons, la kaolinite, dont le pic est aigu et étroit, constitue le minéral le mieux représenté, associé à l'illite et à la vermiculite. La présence générale d'un peu de chlorite dans les limons différencie ceux-ci des arènes, tandis que la montmorillonite n'existe en petite quantité que dans les limons situés en aval de la diorite (coupe Bo 0...). Les édifices interstratifiés, en traces, sont identiques à ceux des arènes granitiques.

Dans les arènes remaniées le cortège minéralogique de la fraction fine est le suivant : kaolinite à pic aigu et étroit, illite d'importance moyenne, et, selon les échantillons, vermiculite et / ou montmorillonite. Il existe en outre de petites quantités d'édifices interstratifiés (chlorite-vermiculite, chlorite-montmorillonite et parfois illite-chlorite). Un échantillon est marqué par la présence d'un peu de chlorite.

4) Résumé.

Deux grands groupes de matériaux peuvent être définis dans la coupe de la Boinderie :

- les formations d'altération :
 - les arènes granitiques
 - les arènes dioritiques

- les formations superficielles situées sur les arènes :
 - les limons
 - les arènes remaniées

a) les formations d'altération.

Les arènes des deux roches grenues, granite et diorite, ont des caractéristiques granulométriques communes : courbes concaves vers le bas, prédominance des fractions sableuses grossières. Par contre leurs minéralogies sont nettement différentes :

- l'arène granitique est caractérisée par le quartz abondant, la tourmaline, le zircon, la kaolinite, l'illite, la vermiculite et des édifices

interstratifiés.

- l'arène dioritique renferme peu de quartz, beaucoup de minéraux micacés verts, de l'anatase en grande quantité, de l'illite, de la montmorillonite et parfois de la kaolinite mais jamais d'édifices interstratifiés.

b) les formations superficielles situées sur les arènes.

Reposant sur les arènes, elles s'en distinguent sur le terrain, sauf exception, par une plus grande abondance de la fraction limoneuse.

- les limons :

Les formations limoneuses sont caractérisées par l'abondance de la fraction 20-60 μ et la faible importance des fractions sableuses grossières et des graviers. On y trouve les mêmes minéraux que dans les arènes, et, suivant la position des limons par rapport à celles-ci, ce sont les minéraux de la diorite altérée ou du granite désagrégé qui prédominent. A ce stock minéralogique hérité de l'altération des roches sous-jacentes, s'ajoutent des amphiboles et des traces de chlorite. Deux grands ensembles peuvent donc être dégagés de ces résultats :

- un ensemble caractérisé par les produits originaires de l'altération sous-jacente,

- un ensemble défini par les éléments étrangers au substrat, et notamment le stock limoneux bien classé (20-60 μ) et les amphiboles.

- les arènes remaniées :

Les formations intermédiaires, ou arènes remaniées, sont caractérisées par une fraction limoneuse plus importante que dans les arènes en place, et en particulier par le fait que la nature des minéraux lourds varie comme celle des limons, c'est-à-dire, en fonction de leur position topographique. Les deux grands ensembles différenciés dans les limons sont donc aussi présents dans les arènes remaniées, mais dans des proportions différentes.

C) LES AUTRES COUPES.

1) Les coupes des Rieux, de la Villorien et de la Labourais.

- description.

Ces coupes , visibles le long de tranchées de drainage ou de routes ne permettent qu'une observation du sommet des profils d'altération sur une hauteur moyenne d'un mètre, dont la partie supérieure est formée d'un sol de couleur brune. Les coupes des Rieux et la Labourais se trouvent dans des zones planes et humides, tandis que la coupe de la Villorien recoupe perpendiculairement une petite vallée.

- granulométrie (tableau 5).

La granulométrie des arènes de ces coupes présente les mêmes caractères que dans la coupe de la Boinderie : les courbes cumulatives sont concaves vers le bas et la fraction sableuse grossière reste prédominante. Toutefois on note une évolution verticale : le taux d'argile et de fraction limoneuse augmente légèrement vers le sommet du profil d'altération et dans les sols. D'autre part, les échantillons situés dans les zones les plus humides sont plus argileux.

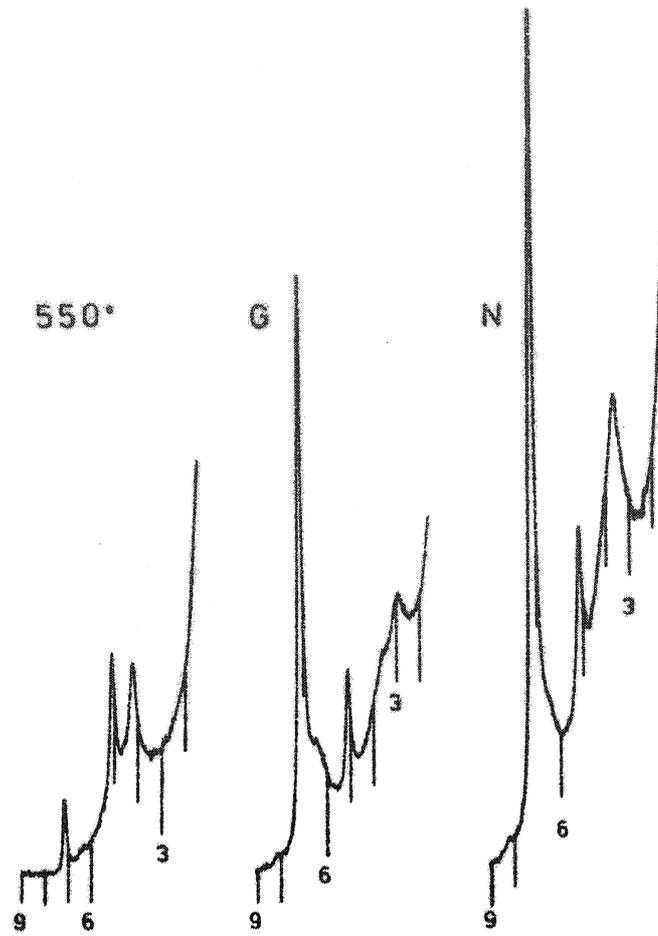
- minéralogie.

Les fractions sableuses sont constituées de quartz, feldspath et biotite. Dans les zones humides (Les Rieux, la Labourais) ces micas présentent des reflets dorés ou possèdent une couleur jaune d'or caractéristique d'une bauéritisation.

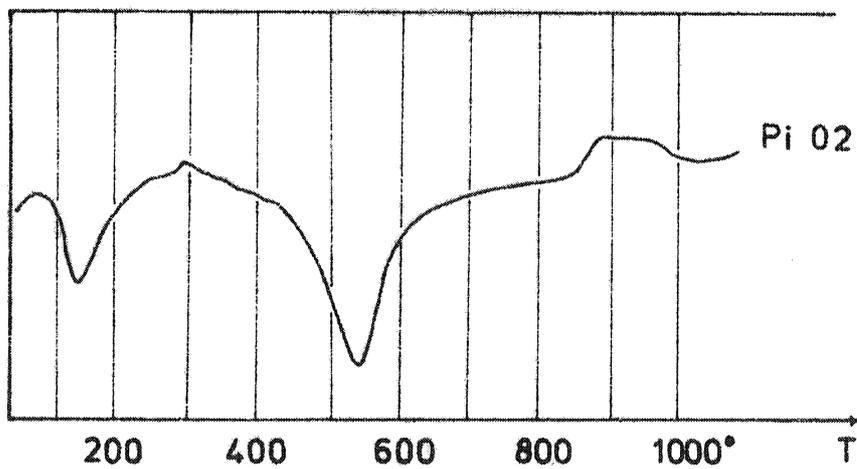
Peu variables dans un même profil, le taux de minéraux lourds et le pourcentage d'opaques parmi ceux-ci, présentent de nettes différences d'un affleurement à l'autre. Par contre le cortège minéralogique reste constant et ne présente que des variations de pourcentage pour chaque espèce : la tourmaline, comme à la Boinderie, demeure le minéral le mieux représenté dans les fractions γ et β ,

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	<2 μ	2 μ -5 μ	5 μ -10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -100 μ	100 μ - 200 μ	200 μ - 2000 μ
LAB 32 D arène	2,5	2,2	2,1	3,2	4,1	9,1	16,5	60,3
LAB 32 B sol de couleur brune	5,8	3,8	3,6	4	6,8	10,1	17	48,9
LAB 28 C arène	10,2	5,9	5,8	7,3	8,6	6,6	7,5	48,1
LAB 28 B sol	14	5,2	7,9	9,2	10,9	7,5	8,2	37
RIEUX 5 B arène	8,6	4,3	3,9	4,8	5,2	9,2	13,4	51,6

Tableau 5 : Coupes des Rieux et de la Labourais : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).



A : Pi 01



B : Pi 02

FIGURE 11 : Composition minéralogique de la fraction argileuse dans la coupe de la Pinderie.

A : diagramme d'agrégats orientés (rayonnement $K\alpha$ du cobalt, graduation en degrés Θ).

B : courbe d'analyse thermique différentielle.

suivie du zircon et des silicates de métamorphisme. Titanés (brookite), épidotes et amphiboles constituent les minéraux secondaires avec des pourcentages faibles (inférieure à 5%).

Dans la fraction fine sont associées la vermiculite et l'illite et très souvent la kaolinite. Les édifices interstratifiés sont toujours présents tandis que la montmorillonite existe dans l'arène d'un fond de vallée et la chlorite à l'état de traces dans quelques échantillons.

2) La coupe de la Pinderie.

Dans cette coupe, où l'arène grise affleure dans une petite carrière située sur le versant d'une vallée, seule la fraction fine a été étudiée (figure 11). Les variations verticales qu'elle présente sont intéressantes :

- l'illite, moyennement représentée, est présente dans toute la coupe, ainsi qu'un peu de vermiculite.
- la chlorite et l'interstratifié illite-vermiculite devient de plus en plus important de bas en haut, tandis que la kaolinite diminue et la montmorillonite disparaît au sommet.

Donc, parallèlement à une diminution très nette de la kaolinite vers le sommet et à la disparition de la montmorillonite, il y a apparition de la chlorite.

3) Résumé.

L'altération visible sur ces coupes de faible extension présente des caractères sensiblement identiques à celle des affleurements plus vastes, malgré leur situation morphologique différente. Toutefois, l'analyse de quelques profils montre une légère réduction granulométrique verticale, et dans la coupe de la Pinderie le cortège argileux varie verticalement : si l'illite et la vermiculite existent comme ailleurs, de même que la kaolinite, celle-ci diminue de bas en haut, tandis que la chlorite se développe au sommet.

D) CONCLUSION.

L'étude de l'ensemble des coupes situées sur le massif granodioritique de Bonnemain permet de distinguer deux groupes de matériaux meubles : d'une part, les produits d'altération en place ou arènes, d'autre part, situés sur les premières, des formations limoneuses et des matériaux à caractères intermédiaires entre les arènes et les limons, les arènes remaniées.

La désagrégation des roches grenues évolue toujours dans le même sens et la répartition granulométrique présente des caractères constants : une prédominance des fractions sableuses et une concavité vers le bas des courbes cumulatives. Dans cette répartition le facteur le plus important qui détermine la taille moyenne des grains de sable est la taille du grain moyen de la roche altérée. Ainsi les enclaves désagrégées présentent une courbe identique dans la forme à celles des arènes mais décalée vers les petites dimensions. Par contre entre la diorite et le granite altérés dont les grains ont sensiblement la même taille, les courbes sont très peu différentes. L'intensité de l'altération, définie essentiellement par le pourcentage d'argile dans la roche ameublie, est très variable. Elle est plus intense sur la roche située dans des zones planes et humides qu'au sommet des croupes granitiques, zone où l'érosion a d'ailleurs pu enlever une partie des matériaux ameublis. Dans l'ensemble aucune progression verticale importante et constante n'a pu être mise en évidence.

Les minéraux des fractions sableuses grossières des arènes sont ceux de la roche-mère, où seul le quartz ne semble pas avoir subi de transformations, tandis que les feldspaths et les micas se sont altérés. Déjà sensible dans ces fractions sableuses notamment par les proportions de quartz, la différence entre les arènes granitiques et dioritiques devient plus sensible et plus nette dans le cortège des minéraux lourds et les produits argileux.

Les minéraux lourds des arènes granitiques sont représentés par le zircon, la tourmaline et les minéraux de métamorphisme, tandis que la diorite désagrégée ne renferme que des minéraux titanés. Dans la fraction fine du granite altéré, l'illite, la vermiculite, la kaolinite et

les édifices interstratifiés constituent les minéraux argileux les mieux représentés, alors que dans la diorite n'existent que l'illite, la montmorillonite et parfois la kaolinite.

Les formations superficielles limoneuses se distinguent des formations d'altération en place d'un point de vue essentiellement granulométrique : la courbe cumulative a une forme sigmoïde avec prédominance de la fraction limoneuse. Par contre, la minéralogie des limons présente des caractères semblables à celle des deux types d'arènes mais variables selon leurs positions topographiques par rapport à celles-ci : si l'ensemble des limons possède quelques analogies minéralogiques avec les arènes granitiques, ceux qui sont situés en contrebas de l'arène dioritique (coupe Bo 0...) sont marqués par les minéraux de cette dernière, alors que ceux qui sont situés en amont n'en portent pas l'empreinte. D'autre part les limons renferment des amphiboles, minéraux absents du substratum altéré.

Les échantillons d'arène remaniée, dont la granulométrie est peu différente de celle des arènes, ressemblent aux limons par leur aspect jaunâtre et leurs caractéristiques minéralogiques, dont les variations sont fonction de leur position topographique.

Ainsi deux grands faits concernant les limons et les arènes remaniées apparaissent à la lumière de ces résultats :

- il y a eu mélange et remaniement : ces formations sont en effet constituées, d'une part, d'éléments originaires des arènes, (arènes granitiques et dioritiques) mis en évidence par les minéraux lourds et la fraction sableuse grossière, d'autre part, d'éléments extérieurs apportés, caractérisés par les amphiboles et le taux élevé de fraction limoneuse.

- ce mélange ne s'est pas fait au hasard, mais en fonction des positions topographiques respectives des limons (et arènes remaniées) par rapport aux arènes granitiques et dioritiques.

Les mécanismes de cette association, qui n'a pu se faire qu'après un ameublissement du substrat seront discutées dans la troisième partie.

CHAPITRE II

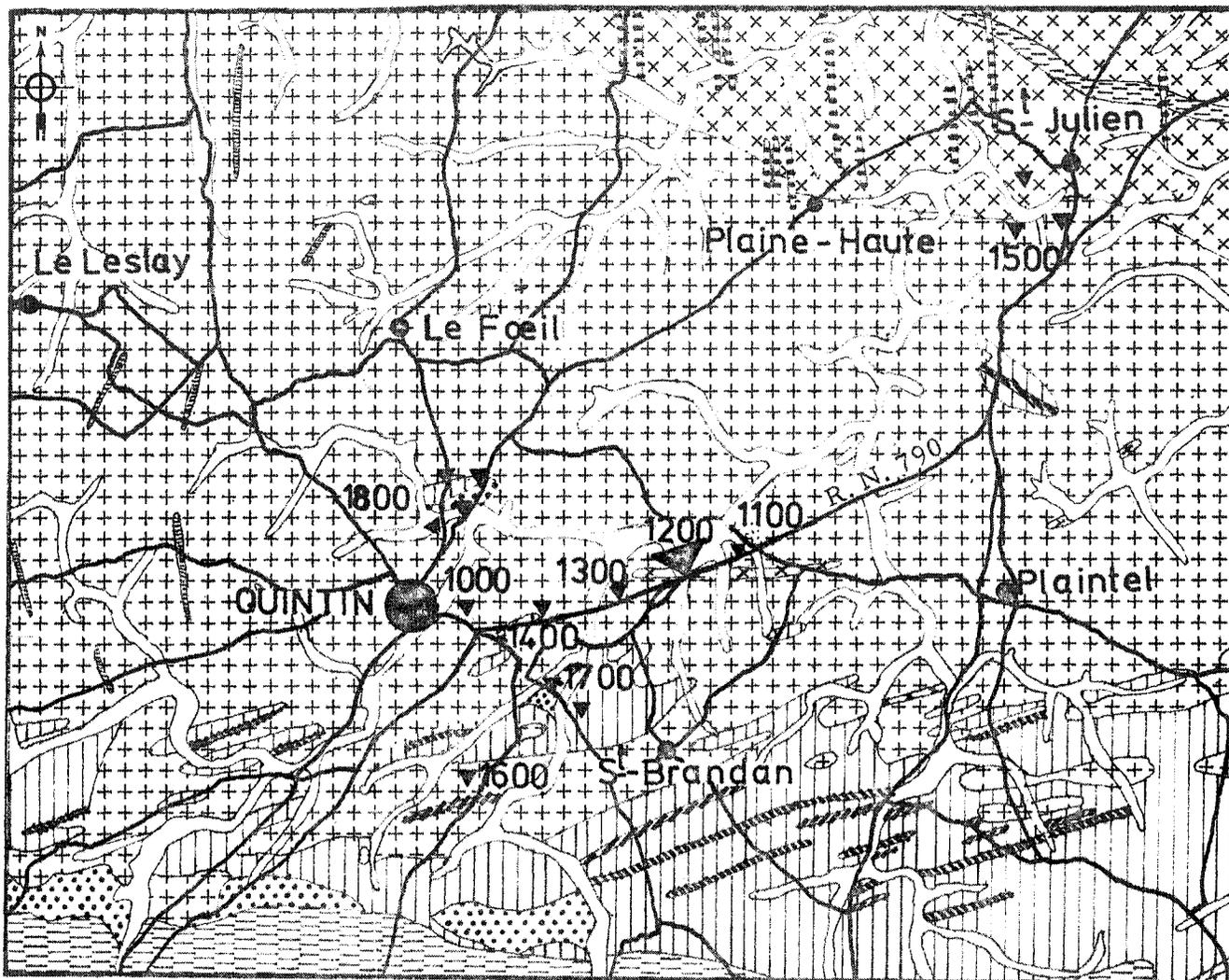
LE MASSIF GRANITIQUE DE QUINTIN ET SES FORMATIONS SUPERFICIELLES.

De Quintin, à l'Est, (20 Km au S. S. O. de St Brieuc) ce massif granitique s'étend vers l'Ouest jusqu'à Bulat, Maël-Pestivien, St-Micodème et Kergrist, soit sur une quarantaine de kilomètres (feuille de St-Brieuc carte géologique de France au 1/80.000). Mis en place, à l'époque hercynienne (BARROIS, 1896), dans une bande de formations primaires, il est aligné avec ceux de Huelgoat à l'Ouest et de Moncontour à l'Est.

Il ne forme pas dans la morphologie de la région un relief aussi net que celui de Bonnemain en raison de la plus grande résistance à l'érosion des roches encaissantes. Le réseau hydrographique l'a profondément découpé et a creusé des vallées larges à fond plat déterminant des dômes soit étroits et dissymétriques, soit larges et marqués par de légères ondulations superficielles qui forment de petites dépressions.

La zone étudiée correspond à la partie orientale du granite de Quintin où s'intercalent de nombreux lambeaux de roches associées (figure 12).

FIGURE 12 : LE MASSIF DE QUINTIN : CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION ETUDIEE ET SITUATION DES COUPES.



Extrait de la feuille de SAINT-BRIEUC au 1/80 000

Echelle : 1/80 000

	A	Eboulis de pentes		Q	Filons de quartz
	a ²	Alluvions		Gr	Schistes graphiteux
	X ₁	Schistes micacés		ε ⁵	Dolérites
	d ¹ X ₁	Schistes et quartzites micacés		η ⁴	Diorites et diabases
	γ ₁	Granite porphyroïde			Coupes échantillonnées
	X ₁ ¹	Gneiss granulitique			

I - PETROGRAPHIE DU GRANITE ET DES ROCHES ASSOCIEES.

Dans la zone étudiée la roche saine semble homogène si l'on ne considère que le granite qui présente une couleur bleutée dans les carrières et qui devient gris en surface. Mais les enclaves de petite taille et les formations encaissantes métamorphisées, apparaissent en lambeaux souvent de plusieurs centaines de mètres, entraînent une grande hétérogénéité sur le terrain.

1) Pétrographie du granite,

Deux ensembles se différencient nettement dans cette roche : la pâte grenue et les porphyroblastes. Ceux-ci, de densité et de taille variable, automorphes, sont constitués de feldspath alcalin (parfois de microcline) ou calco-sodique. Leurs limites ne sont pas toujours franches car ils bourgeonnent vers l'extérieur ou au contraire assimilent de petits lambeaux des minéraux de la pâte. Lorsqu'il s'agit de plagioclases ils sont très souvent zonés, plus acides à leur périphérie (An. 15-25) qu'à leur centre (jusqu'à An. 40).

La biotite, parfois chloritisée, en plages de petite taille, est déformée et parfois laminée. Les plagioclases, de type oligoclase, les feldspaths potassiques et le quartz ont une extinction roulante, signe de tensions tectoniques. Les minéraux secondaires, peu abondants, sont la muscovite et le zircon. Les analyses modales montrent de sensibles variations (tableau 6).

	quartz	feldspaths potassiques	plagioclases	biotite
QUI 1037	32	12,4	33,3	22,1
QUI 1205	39,6	17,2	22,9	19,6

Tableau 6 : Analyses modales de deux échantillons du granite de Quintin.

Dans ce granite porphyroïde calco-alcalin le cortège d'enclaves et de filons est moins diversifié que dans la granodiorite de Bonnemain, mais l'ensemble des roches encaissantes métamorphisées est très développé.

2) Pétrographie des enclaves.

Sombres, elles se voient très bien dans la roche granitique ; de taille décimétrique, rarement métrique, elles sont nombreuses et de formes sphériques. Finement grenues, on y reconnaît des plagioclases sub-automorphes de type oligoclase (An 25), peu de feldspaths alcalins, des biotites soit écrasées, soit automorphes de seconde génération, quelques amphiboles (hornblende verte ou décolorée), parfois des pyroxènes incolores (diopside) et ouralitisés et un peu de quartz en petits grains. Les minéraux accessoires sont le rutile (QUI 1035) et la tourmaline. Les ferromagnésiens sont quelquefois orientés. Dans ces enclaves, plus basiques que le granite, des cristallisations tardives, association de feldspath et de quartz, comparables aux porphyroblastes, se sont mises en place à l'emporte-pièce dans la masse microgrenue.

3) Les différenciations de bordure : les cornéennes.

Elles se trouvent en place dans le granite et à la limite de celui-ci, sans doute sous forme de bandes peu épaisses. Constituées de quartz de petite taille, de biotites, d'un peu de muscovite et de quelques feldspaths, leur structure est granoblastique, perturbée par la croissance en nids de feldspaths plus gros associés à un peu de muscovite, et par la présence de petits filonnets quartzo-feldspathiques d'origine probablement granitique.

4) Les lambeaux de roches métamorphiques.

Notés sur la carte lorsqu'ils ont une extension suffisante, ces lambeaux de roche encaissante métamorphisée au contact du massif intrusif, sont très nombreux dans la partie Sud-Est du massif de Quintin. D'aspects variés ces roches peuvent être, ou gneissiques avec alternance de lits quartzo-feldspathiques et de lits à prédominance de ferromagnésiens, ou uniformément grises quartzo-feldspathiques dans lesquelles seules quelques biotites soulignent une foliation. D'autres sont très micacées et feldspathiques, le quartz n'apparaissant qu'en petits grains. Dans la roche proche du granite l'influence de celui-ci est marquée par une

cristallisation plus grossière ou par de petits filonnets à cristallisation de type granitique, ainsi que par la présence de nids de quartz associé à quelques feldspaths. Les minéraux secondaires de ces roches sont variés : les plus fréquents sont le zircon, le grenat, l'épidote, quelques amphiboles, andalousite, sphène et titanés.

Ces schistes feldspathisés, ces leptynites, ces gneiss granitoïdes ne constituent que les mieux représentés de ce cortège métamorphique associé au granite (légende de la feuille de St Briec au 1/80.000).

5) Les filons et filonnets.

Les filonnets aplitiques et pegmatoïdiques sont rares dans la masse du granite et peu développés.

Quant aux filons, je n'en ai rencontré qu'un seul en bordure du massif altéré et n'affleurant que sur deux mètres. Il s'agit d'un filon de diabase constitué à 50% d'amphiboles et pour le reste de feldspath plagioclase. Ce type de filon n'existe qu'en bordure du massif et dans les roches encaissantes, ainsi que le note VELDE (1970).

6) La zone de cémentation : le début de l'altération.

Les manifestations de l'altération différentielle des minéraux dans la masse de la roche sont sensiblement les mêmes que celles qui affectent la granodiorite de Bonnemain, toutefois on note quelques différences. Les plagioclases ne sont pas toujours entièrement altérés, mais seulement leur périphérie ou leur centre et ce, d'autant plus qu'ils sont zonés. D'autres sont intacts de toute transformation observable au microscope. Quant aux feldspaths potassiques ils présentent le même aspect que les plagioclases, avec une diversité aussi grande.

Les porphyroblastes sont moins altérés et leur blanchiment apparaît pour une plus grande altération moyenne de l'ensemble de la roche.

Les biotites, contrairement à celles du granite de Bonnemain, ne sont pas systématiquement chloritisées, mais fréquemment en voie de décoloration.

Ainsi, si les premières transformations minéralogiques varient peu dans leur nature d'un granite à l'autre, dans le granite porphyroïdeelles sont plus ménagées, peut-être en raison de la plus grande variation dans la taille des grains feldspathiques.

II - LES AFFLEUREMENTS ET LES COUPES ETUDIÉES.

De nombreuses coupes ont été observées le long des talus de déblais dégagés lors de travaux routiers et notamment le long de la RN. 790 qui relie St-Brieuc à Quintin. Elles sont toutes situées autour de cette ville et recoupent parfois les lambeaux de roches associées métamorphisées, lambeaux qui donnent un contour irrégulier au massif. Ces coupes ont été retenues en raison de leur grande surface, ce qui m'a permis d'effectuer des observations sur de longues distances. Les types de matériaux échantillonnés et étudiés sont variés et vont de la roche altérée encore compacte à l'arène très argileuse et aux formations superficielles limoneuses qui sont abondantes et recouvrent de nombreuses pentes faibles.

Les coupes QUI 1000, QUI 1100, QUI 1200, QUI 1300 et QUI 1400 sont situées à l'Est de Quintin, le long de la RN. 790. La coupe QUI 1500 correspond à la limite Nord du massif, au Sud du village de St-Julien. Les coupes QUI 1600 et QUI 1700 se trouvent au Sud et au S. S. E. de Quintin et la coupe QUI 1800 au Nord de cette ville (figure 12).

A) LA COUPE QUI 1000 : ARENES, LIMONS ROUGES ET LIMONS JAUNES.

1) Description (figure 13).

Située à la sortie Est de la ville de Quintin, sur la RN. 790 cette coupe correspond à une section transversale d'une croupe granitique étroite et dissymétrique. La partie la plus élevée est constituée par un pointement massif de granite porphyroïde dont la fracturation et le débit en blocaille croît vers la surface en même temps que se développent quelques boules à débit en pelure d'oignon. Le flanc Ouest est abrupt et recouvert d'un sol pauvre très caillouteux. Le flanc Est s'abaisse régulièrement en pente douce et l'arénisation s'y est puissamment développée. Cette arène est grise, parfois blanchâtre et tend rarement dans les zones les plus altérées vers une teinte rouille. Le degré d'altération croît régulièrement de bas en haut, l'arène devenant de plus en

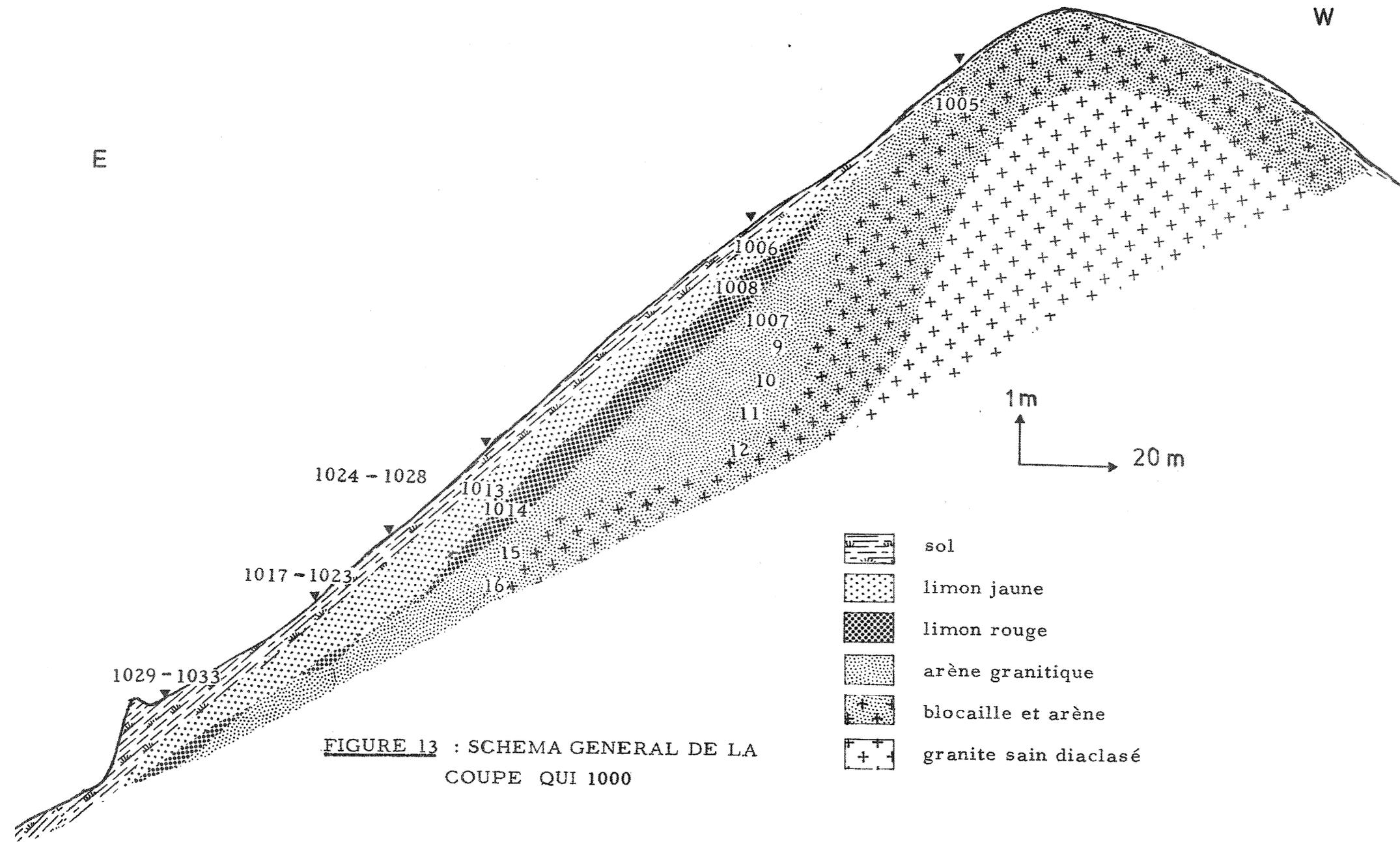


FIGURE 13 : SCHEMA GENERAL DE LA
COUPE QUI 1000

-  sol
-  limon jaune
-  limon rouge
-  arène granitique
-  blocaille et arène
-  granite sain diaclasé

plus argileuse : il y a là une progression verticale.

Les arènes sont recouvertes partiellement par une formation limono-argileuse rouge discontinue. Au-dessus viennent des limons jaunes qui reposent tantôt directement sur l'arène, tantôt sur les limons rouges. A la partie supérieure s'est installé un sol de couleur brune, limoneux et épais (50 cm). Ainsi selon les points on observe deux types de coupes :

- arène - limon rouge - limon jaune - sol
- arène - limon jaune - sol

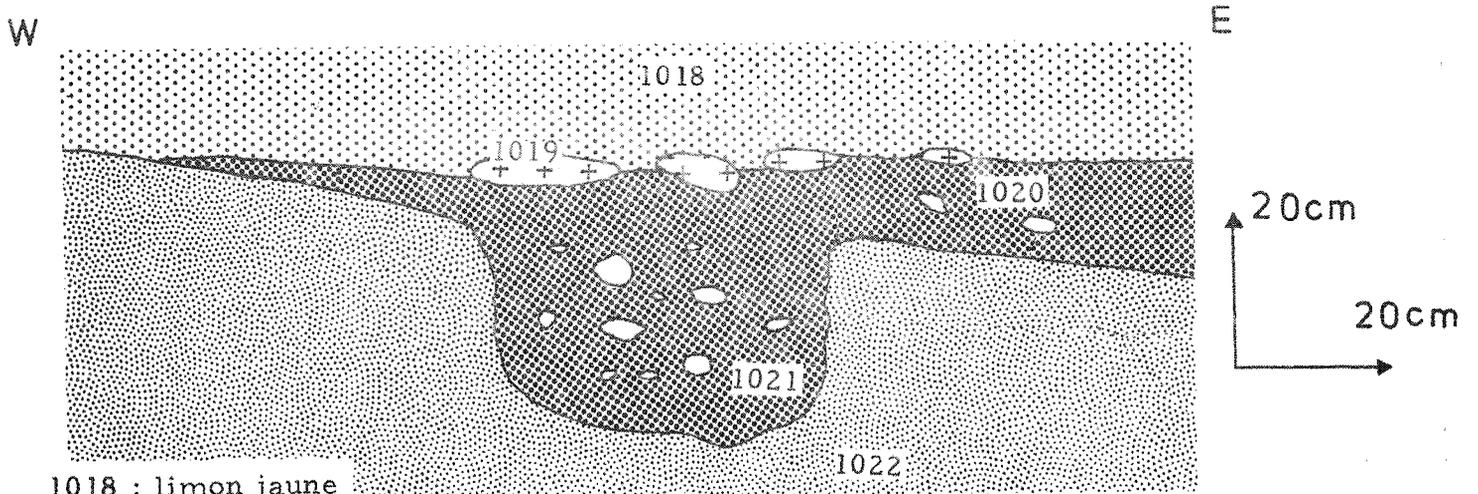
La hauteur maximale d'observation est de 6 mètres et se réduit progressivement vers l'Est. La limite entre les deux limons est franche et nette tandis que le passage des arènes aux limons (jaunes ou rouges) se fait soit de façon nette, parfois marquée par de petits cailloux et graviers, soit de façon diffuse sur une dizaine de centimètres. Certains détails de la coupe montrent de façon plus précise les relations qui existent entre ces formations (figure 14). Dans le profil QUI 1018 à 1022 une petite lentille de limon rouge présente la particularité, à sa partie inférieure, de former une sorte de poche, parsemée de petits cailloux et de graviers quartzeux, qui pénètre l'arène (QUI 1022) sur 20 cm de hauteur. Le contact de ces limons rouges et des limons jaunes supérieurs est marqué par des blocs de granite compact, peu altérés et posés à plat (QUI 1019) (figure 14 A).

Le dernier profil complet observable (QUI 1029 à 1033) est caractérisé par le fait qu'il est situé au niveau d'un talus en amont duquel les limons sont très développés tandis qu'en aval ils ont disparu. De plus, une masse d'arène de forme ovoïde de 40 cm de longueur, est intercalée localement entre les deux limons ; cette arène mélangée à une fraction limoneuse, a nécessairement glissé d'une partie supérieure de la coupe (figure 14 B).

2) granulométrie.

- les arènes.

Les courbes granulométriques cumulatives des arènes



1018 : limon jaune

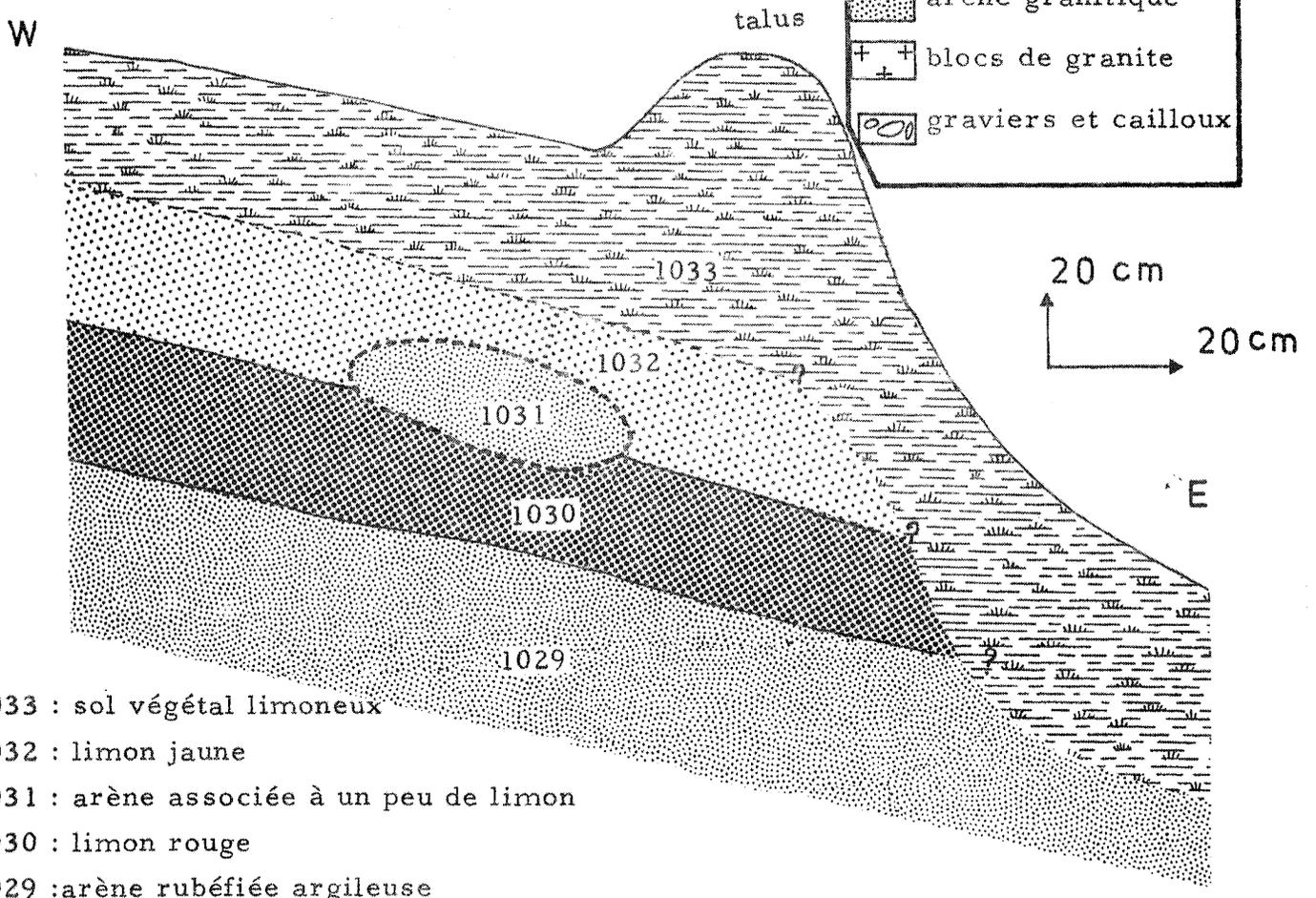
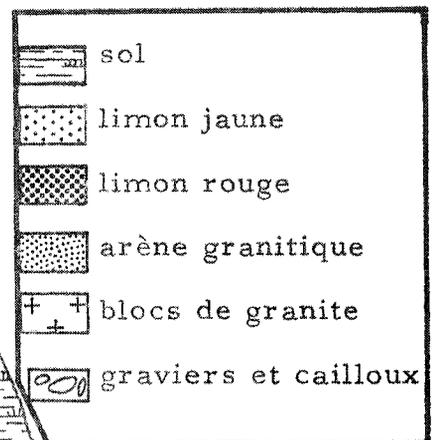
1019 : blocs de granite posés à plat entre les deux limons

1020 : niveau rouge sableux granuleux

1021 : limon rouge à graviers et cailloux

1022 : arène

A - Poche remplie de limons rouges



1033 : sol végétal limoneux

1032 : limon jaune

1031 : arène associée à un peu de limon

1030 : limon rouge

1029 : arène rubéfiée argileuse

B - Masse d'arène située entre les deux limons

FIGURE 14 : DETAILS DE LA COUPE QUI 1000

granitiques, qu'elles soient relatives aux fractions inférieures à 2 mm, à l'échantillon total ou à la fraction sableuse, ont toujours une forme concave vers le bas et une prédominance de la fraction sableuse grossière (figure 15 et tableau 7). La valeur de la médiane sur les courbes de l'échantillon total oscille autour de 1200μ tandis que le mode est légèrement plus élevé (1500μ). La fraction supérieure à 2 mm qui représente environ 25% de l'échantillon est constituée de gros grains correspondant à des porphyroblastes non fracturés et à des morceaux de granite non désagrégés. La taille de ces graviers ne dépasse guère 1 cm. Par contre, le taux de la fraction argileuse est très variable (1 à 14%), celui de la fraction limoneuse évoluant de façon identique : les fractions inférieures à 100μ augmentent régulièrement de la base à la partie supérieure des coupes. En outre il y a des variations latérales dans l'intensité de l'altération (figure 15), celle-ci étant généralement plus intense sous les limons rouges. Une augmentation de la fraction argilo-limoneuse est suivie d'une diminution de la fraction supérieure à 2mm : il y a une transformation granulométrique générale qui affecte la roche à mesure que celle-ci s'altère, et qui aboutit à une croissance du taux d'argile et dans une moindre mesure du taux de limon, mais pas à un décalage généralisé de la courbe vers les petites dimensions, la fraction sableuse grossière restant prédominante. En ordonnée gaussienne, les courbes entre 2μ et 2 mm sont soit rectilignes, soit constituées de deux segments sécants aux environs de 100μ .

- les limons.

La granulométrie des limons est très différente de celle des arènes (figure 15) : ces matériaux possèdent une fraction limoneuse grossière très bien classée qui correspond quelquefois à plus de 50% de la masse tamisée à 2 mm (tableau 7); les courbes cumulatives sont sigmoïdes.

Le taux d'argile des limons rouges est élevé (10 à 18% de la fraction tamisée à 2 mm), tandis que leur fraction limoneuse ne devient véritablement importante qu'entre 20 et 50μ , la médiane se situant

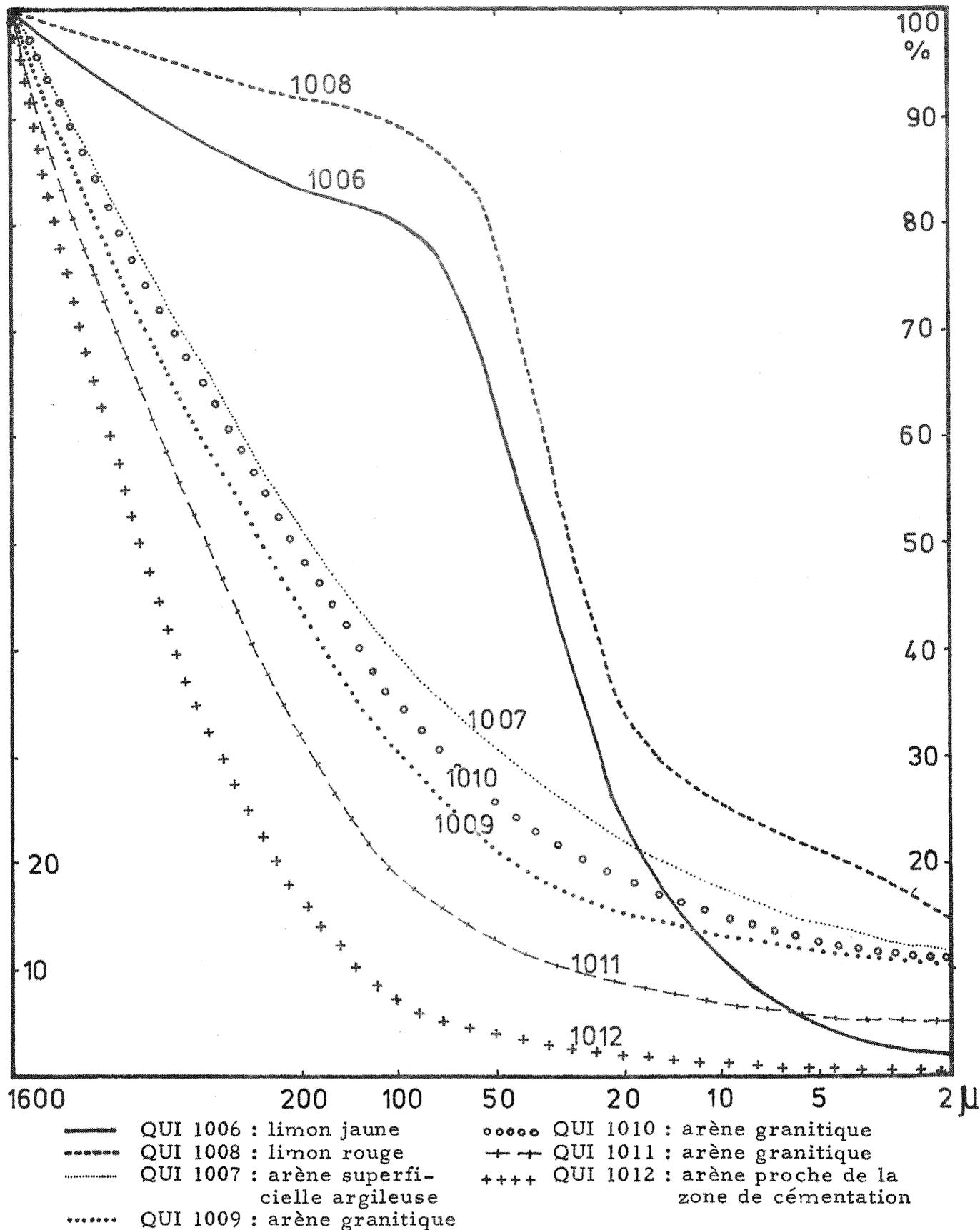


FIGURE 15 : COURBES GRANULOMETRIQUES DE LA FRACTION INFÉRIEURE A 2 mm (passoire) ; COUPE QUI 1000.

Evolution et variations verticales d'une coupe complète.

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	<2 μ	2 μ -5 μ	5 μ - 10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -100 μ	100 μ -200 μ	200 μ -2000 μ
QUI 1016 arène grossière	1,9	1,1	1	1,5	3,8	6,4	12,9	71,5
QUI 1029 arène argileuse	13,7	1,7	2,9	3,4	6,3	7,2	10,7	54,2
QUI 1030 limon rouge	17,8	2,1	4,1	11	53,2	6,6	1,1	4,3
QUI 1031 mélange arène-limon	6,5	5	4,9	10	33,6	11	2,7	26,1
QUI 1032 limon jaune	3,8	4,1	7	11,7	39,9	18,4	2,6	12,5
QUI 1033 sol limoneux	1,6	3,9	5,9	11,9	36	21,1	4,7	14,8

Tableau 7 : Coupe QUI 1000 : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

autour de 40μ . Leur fraction sableuse ne constitue que 5 à 10% de l'échantillon, alors que les quantités de graviers et cailloux sont très variables et peuvent atteindre 20%.

Les limons jaunes ont le même type de courbe mais légèrement décalée vers les grandes dimensions : la valeur de la médiane est proche de 48μ . La fraction argileuse est faible (1 à 6%) tandis que les limons fins (2μ - 20μ) sont plus développés que dans les limons rouges. La fraction sableuse constitue environ 10 à 15% de l'échantillon et la fraction supérieure à 2 mm, 10%.

Les courbes granulométriques cumulatives des fractions sableuses sont semblables dans les deux types de limons : la fraction inférieure à 88μ est importante et semble en continuité avec la fraction limoneuse tandis que la fraction supérieure à 88μ possède une concavité vers le bas, les refus de chaque tamis devenant de plus en plus importants vers les grandes dimensions.

En ordonnée gaussienne la fraction 20μ - 60μ a une répartition normale tandis que les autres fractions présentent des segments parallèles aux courbes de l'arène, sauf lorsqu'il y a abondance de graviers et cailloux qui forment alors un palier. Ces courbes caractérisent plusieurs ensembles dont l'origine n'est probablement pas commune :

- les argiles et les limons fins
- le groupe des limons grossiers
- l'ensemble des sables et graviers.

3) Minéralogie.

a) les fractions sableuses.

Les fractions sableuses grossières des arènes et des limons sont sensiblement identiques, composées de quartz laiteux ou transparent, de feldspaths farineux et de micas altérés, ces derniers n'étant importants que pour des dimensions inférieures à 1 mm (tableau 8). Aucun de ces grains ne présente de formes particulières mais ils sont très souvent

Echantillons		Fraction supérieure à 2 mm	Fraction 1410 μ - 2000 μ	Fraction 1000 μ - 1410 μ	Fraction 710 μ - 1000 μ	Fraction 500 μ - 710 μ
QUI 1005 arène grossière	F	23,6	8,9	9,5	12	17,8
	M	0	0	0	0,7	2,5
	R	76,4	91,1	90,5	87,3	79,7
QUI 1007 arène argileuse	F	5,4	4,2	6,2	11,6	12,7
	M	0	0	0	0,3	2
	R	94,6	95,8	93,8	88,1	85,3
QUI 1008 limon rouge	F	9,6	6,5	12,9	17,6	20,7
	M	0	0	0	0,6	1,6
	R	90,4	93,5	87,1	81,8	77,7
QUI 1006 limon jaune	F	11,9	13,1	20,3	21,7	21,5
	M	0	0	0	0	0,6
	R	88,1	86,9	79,7	78,3	77,9

Tableau 8 : Coupe QUI 1000 : Répartition pondérale des différents groupes minéralogiques dans quelques fractions granulométriques de sables grossiers.

F : pourcentage de feldspath
M : pourcentage de mica
R : pourcentage de résidu : grains de quartz plus ou moins propres.

associés à des fragments des deux autres, ce qui gêne la séparation en catégories. Dans les refus des tamis 1410, 1000, 710 et 500 μ , le taux de feldspath augmente vers les petites dimensions, ainsi que les minéraux micacés qui n'apparaissent qu'à partir de 1000 μ . Il est toutefois remarquable qu'il n'y ait pas de grandes différences entre les deux arènes QUI 1005 peu argileuse, et QUI 1007 argileuse, sauf au niveau des grains supérieurs à 2 mm où les porphyroblastes et les gros grains de feldspath constituent près de 25% en masse dans l'arène la plus grossière et 5% dans l'autre (QUI 1007). Les micas sont toujours mal représentés dans ces fractions grossières (2% de la fraction 500-710 μ). Aussi, malgré de nettes différences dans l'intensité de l'altération de ces deux échantillons, les variations dans les pourcentages de feldspath et de mica sont faibles. Plusieurs hypothèses sont possibles : la roche-mère n'est pas identique d'un point à un autre, ou bien il y a réduction de la taille des feldspaths lors de l'évolution de l'altération.

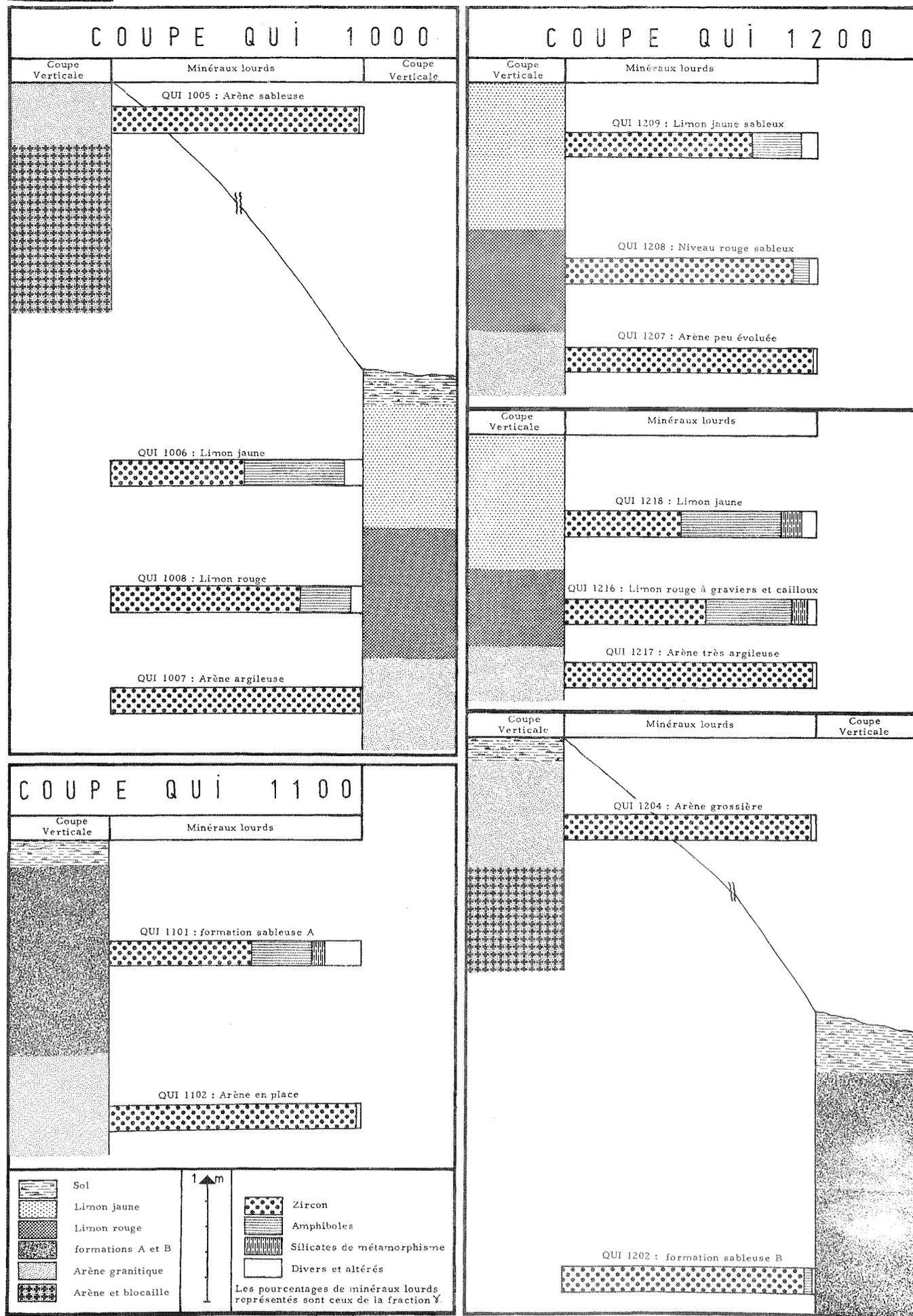
Dans les limons, les taux de feldspaths (dans les mêmes fractions granulométriques) sont plus importants que dans les arènes granitiques sous-jacentes, au contraire des micas. Quelques grains d'amphiboles, parfois associés à du quartz, et de rares petits grains de schistes graphiteux complètent le cortège minéralogique des fractions sableuses des limons.

b) les minéraux lourds.

Les minéraux lourds ont été recherchés seulement dans le profil QUI 1005 à 1008 qui présente l'avantage de montrer la succession complète arène, limon rouge, limon jaune (figure 16).

Les pourcentages pondéraux de minéraux lourds dans les arènes (QUI 1005 et QUI 1007) sont faibles : 0,2% dans la fraction α et moins de 0,1% dans la fraction β . Si les minéraux transparents sont les plus nombreux dans la première fraction, dans la seconde ils deviennent rares ou inexistantes. Ce fait s'explique en raison de leur nature minéralogique : le zircon est en effet le seul minéral lourd transparent bien représenté dans ces arènes, or celui-ci atteint

FIGURE 16 - LES MINÉRAUX LOURDS DES FORMATIONS MEUBLES DU MASSIF DE QUINTIN



rarement des dimensions supérieures à 200 μ . Dans la fraction θ (inférieure à 42 μ) il est aussi très bien représenté.

De forme cristallographique variable, allant de la baguette bipyramidée au grain massif, ce minéral est rarement incolore mais souvent brun et parfois presque opaque : il s'agit là de malacon (PARFENOFF, POMEROL, TOURENO, 1970) . Les quelques rares autres minéraux dont le pourcentage n'atteint pas 1% sont les silicates de métamorphisme et quelques grains d'amphiboles.

Dans la formation limoneuse rouge (QUI 1008) le pourcentage pondéral des minéraux lourds augmente (supérieur à 0,1%) ainsi que le nombre des opaques. Dans la classe γ , le zircon est le minéral le plus important (75%), associé à une hornblende verte (20%) rarement décolorée, peu altérée et sur laquelle les traces d'usure n'existent pas. Quelques minéraux titanés, épidotes et tourmalines complètent ce cortège. Par contre dans la fraction β , l'amphibole domine les autres espèces qui représentent moins de 8% des transparents.

Dans le limon superficiel (QUI 1006) les pourcentages pondéraux (supérieurs à 0,2%) et les pourcentages d'opaques augmentent encore. Dans les différentes fractions, les minéraux sont identiques à ceux des limons rouges mais on note un accroissement du taux d'amphibole (40% dans la fraction γ).

Dans la fraction θ les principaux minéraux, que je n'ai pas comptés, sont les suivants : amphibole, zircon, épidote.

Dans ces fractions granulométriques, correspondant aux sables fins et très fins de chacune des formations meubles, les caractéristiques minéralogiques apparaissent profondément différentes, malgré la prédominance aux petites dimensions du zircon dont le faciès est constant.

c) minéralogie de la fraction argileuse (figure 17).

Les minéraux argileux sont différents selon le degré d'altération du granite. La vermiculite, et surtout un édifice interstratifié régulier

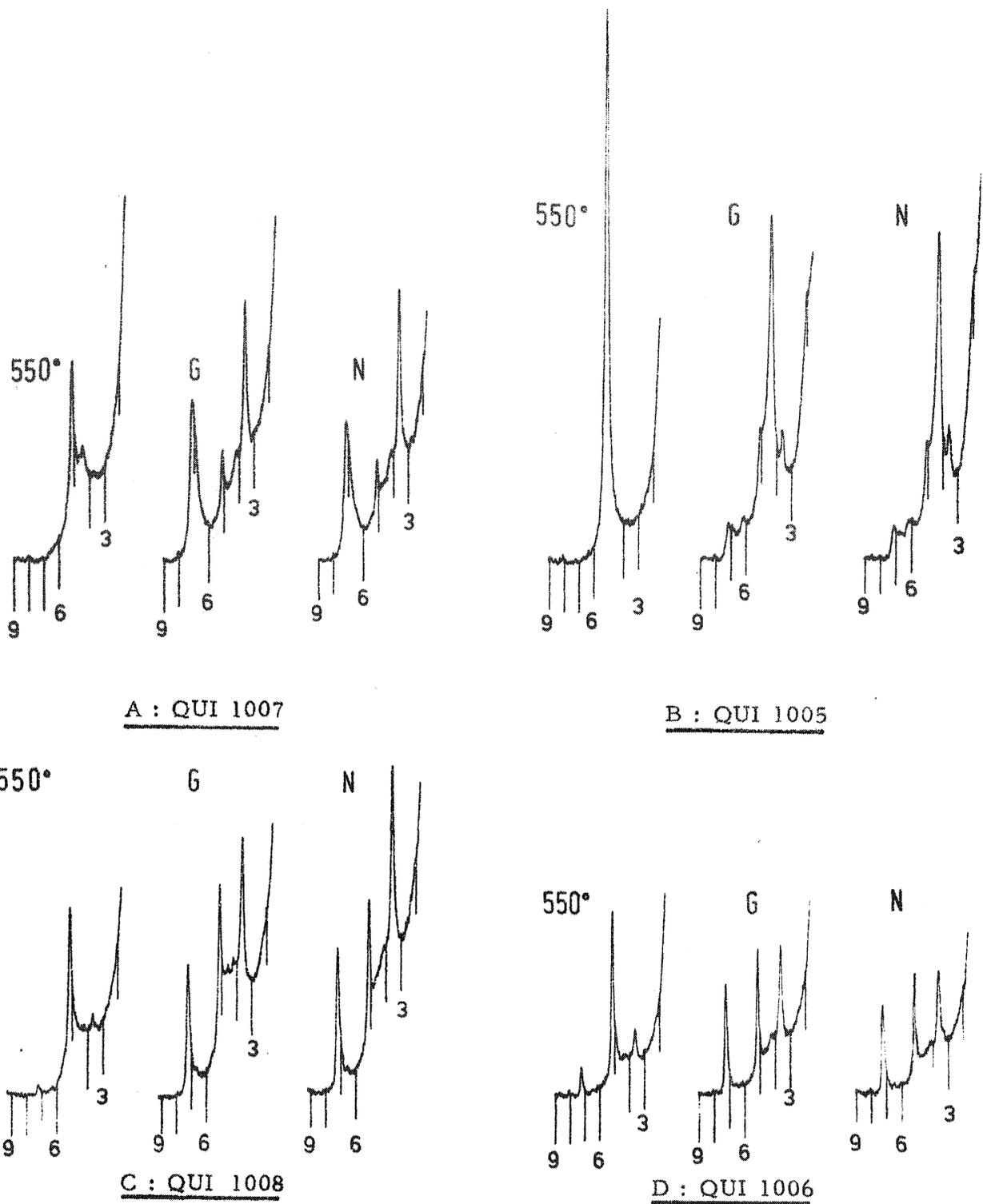


FIGURE 17 : Composition minéralogique de la fraction argileuse dans la coupe QUI 1000 : diagrammes d'agrégats orientés (rayonnement $K\alpha$ du cobalt, graduation en degrés θ).

A : QUI 1007 : arène granitique argileuse.

B : QUI 1005 : arène granitique peu évoluée

C : QUI 1008 : limon rouge

D : QUI 1006 : limon jaune.

	Limon jaune	Limon rouge	Arènes granitiques
	recouvre tout le flanc Est de la coupe	existe en lambeau entre limon jaune et arène	existe sur tout le flanc Est de la coupe
granulométrie	<ul style="list-style-type: none"> - courbe sigmoïde - peu argileux (< 6%) - médiane : 48μ - courbe de la fraction sableuse concave vers le bas entre 88μ et 2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - courbe sigmoïde - argileux (15%) - médiane : 40μ - courbe de la fraction sableuse concave vers le bas entre 88μ et 2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - courbe concave vers le bas - prédominance sables grossiers - médiane : 1200μ - % argile variable verticalement
fraction sableuse	Quartz, feldspaths et micas	Quartz, feldspaths et micas	Quartz, feldspaths et micas
minéraux lourds	Zircon et amphibole	Zircon et amphibole	Zircon
Argiles	<ul style="list-style-type: none"> - Kaolinite - Illite - Vermiculite - Chlorite 	<ul style="list-style-type: none"> - Kaolinite - Illite - Vermiculite - traces chlorite et (illite-vermiculite) 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>arène argileuse</u> : - kaolinite - vermiculite - illite-vermiculite - <u>arène sableuse</u> : - illite-vermiculite - vermiculite - traces de kaolinite

Tableau 9 : Caractères généraux des formations de la coupe QUI 1000.

illite-vermiculite, sont fortement développés alors que l'illite et la kaolinite, très désordonnée, sont mal représentés dans les arènes sableuses grossières proches de la zone de cimentation (QUI 1005). Dans l'arène argileuse (QUI 1007) située sous les formations limoneuses, la kaolinite désordonnée (pic large et dissymétrique du côté des grands angles) devient le minéral le plus important avec la vermiculite. Les interstratifiés illite-vermiculite et illite-chlorite ne sont plus représentés que par de petits pics massifs et larges.

Dans le limon rouge (QUI 1008), la kaolinite, l'illite et la vermiculite sont importantes associées à quelques traces de chlorite et d'interstratifiés illite-vermiculite.

Les limons jaunes sont caractérisés par une kaolinite au pic symétrique développé, une illite et une vermiculite bien représentées et des traces non négligeables de chlorite. Les édifices interstratifiés deviennent extrêmement réduits.

4) Résumé.

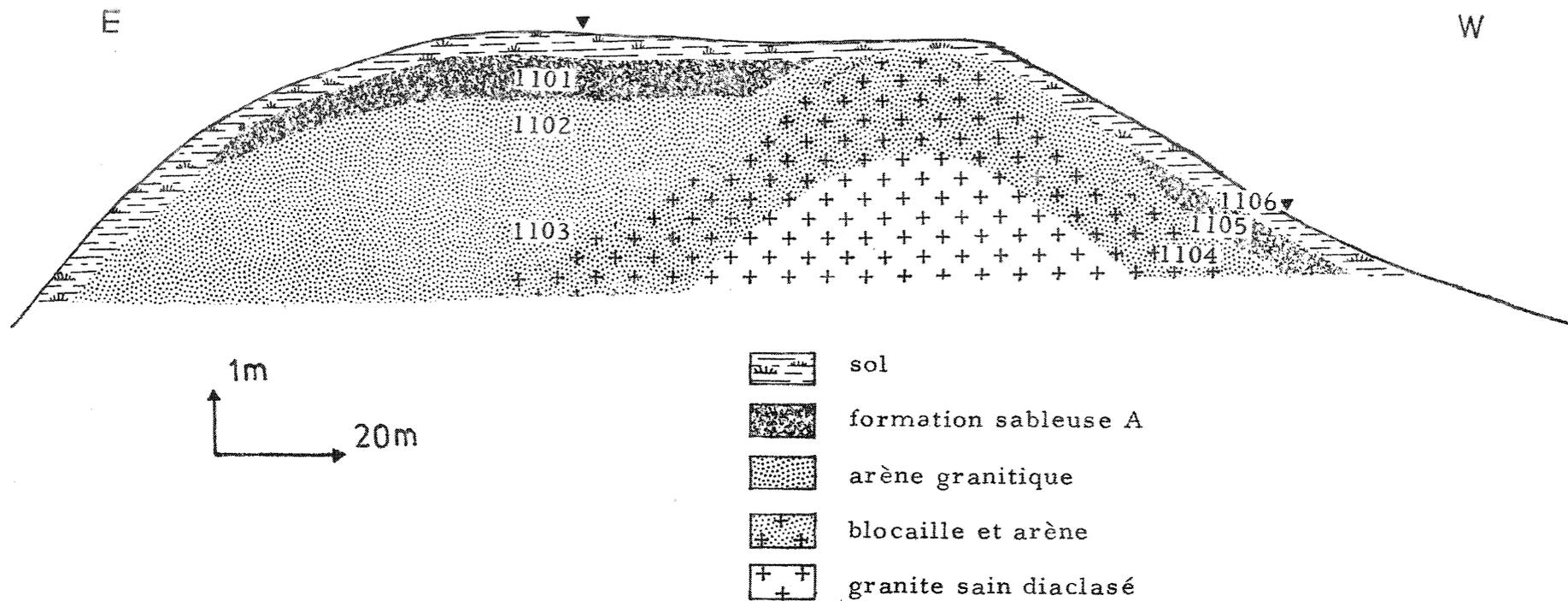
Cette coupe QUI 1000 présente donc trois types de formations meubles dont les différences sont importantes aussi **bien** du point de vue granulométrique (prédominance des sables dans les arènes, de la fraction limoneuse grossière dans les limons) que minéralogique (présence d'amphibole, d'illite et d'un peu de chlorite dans les limons). Toutefois une observation plus précise fait apparaître certaines analogies selon les fractions granulométriques : ressemblance des fractions sableuses **grossières**, présence de zircon à faciès constant dans le cortège minéralogique lourd (tableau 9).

B) LA COUPE QUI 1100 ; ARENES ET FORMATION SABLEUSE A.

1) Description (figure 18).

Située à 5 Km à l'Est de Quintin sur la RN. 790, cette coupe,

FIGURE 18 : SCHEMA GENERAL DE LA
COUPE QUI 1100



longue de 200 mètres, entaille la partie supérieure d'un flanc de dôme granitique, parallèlement à une vallée. La partie Ouest est constituée d'un pointement rocheux altéré en blocaille puis en arène dans sa partie supérieure.

Sur l'arène (QUI 1104) du flanc Ouest à pente forte, repose une formation sableuse (QUI 1105) puis un sol brun (QUI 1106). La partie Est de la coupe est formée d'arène granitique grossière (QUI 1102 et 1103) recouverte d'un ensemble sableux ressemblant à l'arène mais dont les grains ne semblent posséder aucune cohésion (QUI 1101). La limite entre les deux est assez distincte et j'appellerai cet ensemble sableux "formation sableuse A".

Cette coupe est surmontée d'un sol de couleur brune, sableux et épais (50 cm) sauf au niveau du pointement granitique.

2) granulométrie.

Les courbes granulométriques des arènes présentent les mêmes caractéristiques que celles de la coupe QUI 1000 : concavité vers le bas et prédominance de la fraction sableuse grossière, évolution verticale avec réduction granulométrique et augmentation de la fraction argileuse au sommet (tableau 10).

La répartition granulométrique de la formation sableuse A montre quelques ressemblances mais aussi de légères différences avec celle des arènes et notamment de l'arène sous-jacente (tableau 10). D'une part la concavité des courbes vers le bas, la prédominance de la fraction sableuse grossière et les taux d'argile sont identiques. Par contre on note un léger décalage vers les petites dimensions et la présence d'un faible bombement entre 20 et 100 μ qui entraîne une répartition en ordonnée gaussienne selon deux segments de droite sécants à 100 μ , alors que la répartition de l'arène sous-jacente est lognormale entre 2 μ et 2 mm.

3) minéralogie.

Les minéraux des fractions sableuses grossières, d'importance sensiblement égale, sont les mêmes dans les arènes en place et dans la

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	<2 μ	2 μ -5 μ	5 μ -10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -100 μ	100 μ -200 μ	200 μ -2000 μ
QUI 1101 formation sableuse A	6, 1	8, 2	7, 2	8, 5	17, 3	10, 9	9	32, 9
QUI 1102 arène	5, 1	3, 4	4, 6	7	10, 4	11, 4	15, 7	42, 5
QUI 1103 arène (base de la coupe)	3, 4	1, 5	1, 4	2, 3	4, 1	6, 1	11, 5	69, 7

Tableau 10 : Coupe QUI 1100 : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

formation A : quartz, feldspaths et mica noirs. Par contre les cortèges de minéraux lourds diffèrent (figure 16) : si le granite est toujours caractérisé par le zircon (98% dans la classe γ de l'échantillon QUI 1102), la formation A (QUI 1101) n'en possède plus que 54% associé à 24% d'amphibole, 6% d'épidote, 5% de silicates de métamorphisme et 3% de tourmaline.

Les minéraux argileux des deux ensembles sont identiques et présents dans les mêmes proportions : la kaolinite désordonnée et la vermiculite sont associées aux édifices interstratifiés (notamment illite-vermiculite) tandis que les minéraux micacés (illite) n'existent qu'à l'état de traces.

Dans cette coupe QUI 1100, les ressemblances entre les deux types de formation sont très grandes et les différences ne se manifestent que dans la fraction limoneuse grossière et sableuse fine, d'abord par un léger renflement sur les courbes granulométriques, ensuite par la présence d'amphibole dans l'échantillon QUI 1101, minéral qui est absent de l'arène en place.

C) LES COUPES QUI 1200 ET QUI 1300 : ARENES, FORMATIONS LIMONEUSES ROUGES ET JAUNES, FORMATIONS SABLEUSES B ET C.

1) Description (figure 19).

Ces coupes sont situées également le long de la RN. 790, entre les deux précédentes, et n'ont pas été dissociées car elles appartiennent à un même dôme morphologique, entre deux vallées à fond plat, et sur lequel existent de légères ondulations topographiques. La hauteur moyenne d'observation est de trois mètres mais varie de 1 à 10 mètres. Les différentes zones intéressantes vont être décrites d'Est en Ouest.

Dans la partie Est, au sein de la vallée, l'arène granitique (QUI 1203), visible sur une épaisseur de 50 cm, est surmontée d'un ensemble

sableux épais de 2 m (QUI 1201 et QUI 1202) que j'appellerai formation B ; sa limite inférieure est soulignée par quelques rares petits cailloux de granite très altérés.

Sur le versant, l'arène grise (QUI 1204) est peu développée. Au sommet, le granite massif (QUI 1205) forme un pointement à l'Ouest duquel la limite supérieure de l'arène (QUI 1207) forme une très légère dépression jusqu'à un second pointement (QUI 1220) qui constitue le point le plus élevé de la coupe. Cette petite dépression ne se marque pas dans la topographie car elle est remplie à la base par un niveau sablo-limoneux rouge (QUI 1208) surmonté d'un ensemble sablo-limoneux jaune (QUI 1209), d'extension plus vaste.

A l'Ouest du second pointement rocheux, et jusqu'à un troisième plus réduit, on retrouve la même disposition avec : arène très argileuse rouge (QUI 1217), limon rouge (QUI 1216) qui contient quelques cailloux et graviers quartzeux dont la surface est parfois lisse, et enfin limon jaune (QUI 1218). Puis la pente s'accroît légèrement jusqu'à une petite dépression limitée par un grand pointement rocheux (QUI 1306-1307) qui borde une vallée. Dans la dépression, l'arène (QUI 1301) est surmontée d'une formation sableuse : la formation C (QUI 1303). La limite entre les deux n'est pas nette mais progressive sur 10 cm (QUI 1302).

Le granite de ce grand pointement se fracture vers la surface et donne naissance à des boules dont la partie superficielle altérée se débite en pelure d'oignon. A la base de la coupe, l'observation d'un plan de diaclase montre l'évolution de la fracturation à partir d'un réseau orthogonal de diaclases: les angles et les arêtes des blocs se fracturent et s'altèrent entraînant la formation des masses arrondies que seront les futures boules.

Cette coupe présente donc plusieurs types de formations :

- la roche compacte des pointements, des boules et des blocailles.
- la roche granitique altérée :
 - arène et blocs de granite : blocailles
 - arène sableuse peu argileuse
 - arène argileuse

- des formations sableuses : - de bas de pente : formation B
- de petite dépression : formation C.
- des niveaux rouges : - limoneux peu sableux avec graviers et cailloux
- sableux et limoneux
- des niveaux jaunes : - limoneux avec quelques graviers
- superficiels - sablo-limoneux.

L'ensemble des zones limoneuses est recouvert d'un sol fin de couleur brune, souvent épais (40 à 60 cm), tandis que les arènes et les formations sableuses sont surmontées d'un sol brun sableux, parfois limono-sableux d'épaisseur très variable. Au niveau de chaque pointement rocheux, le sol est peu développé et caillouteux.

2) granulométrie, (figure 20 et tableau 11).

a) les arènes.

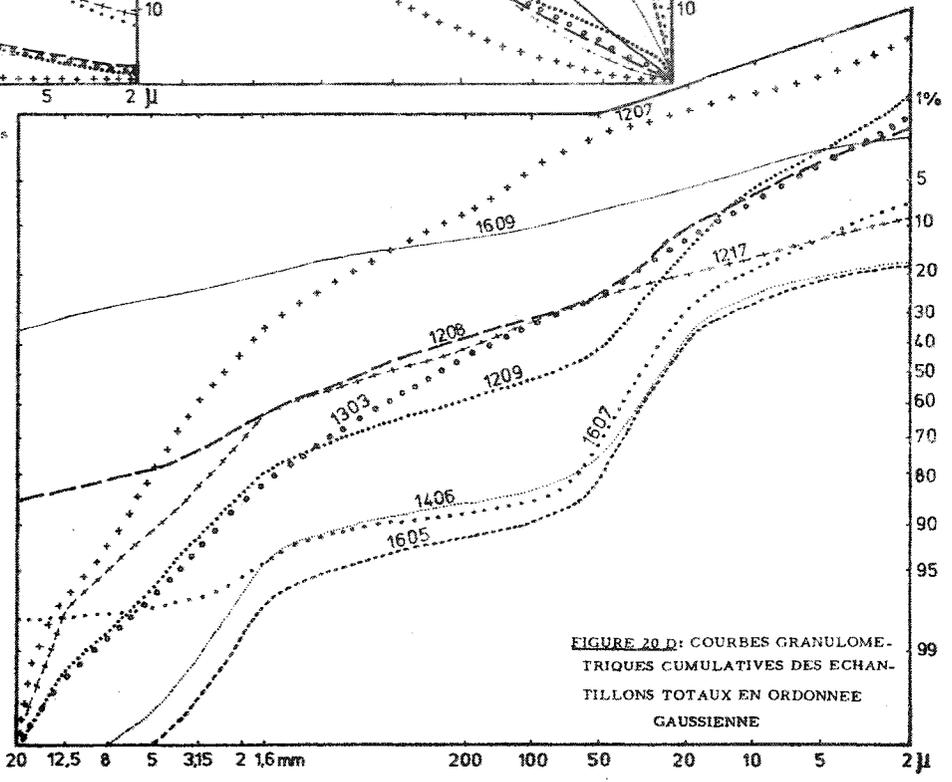
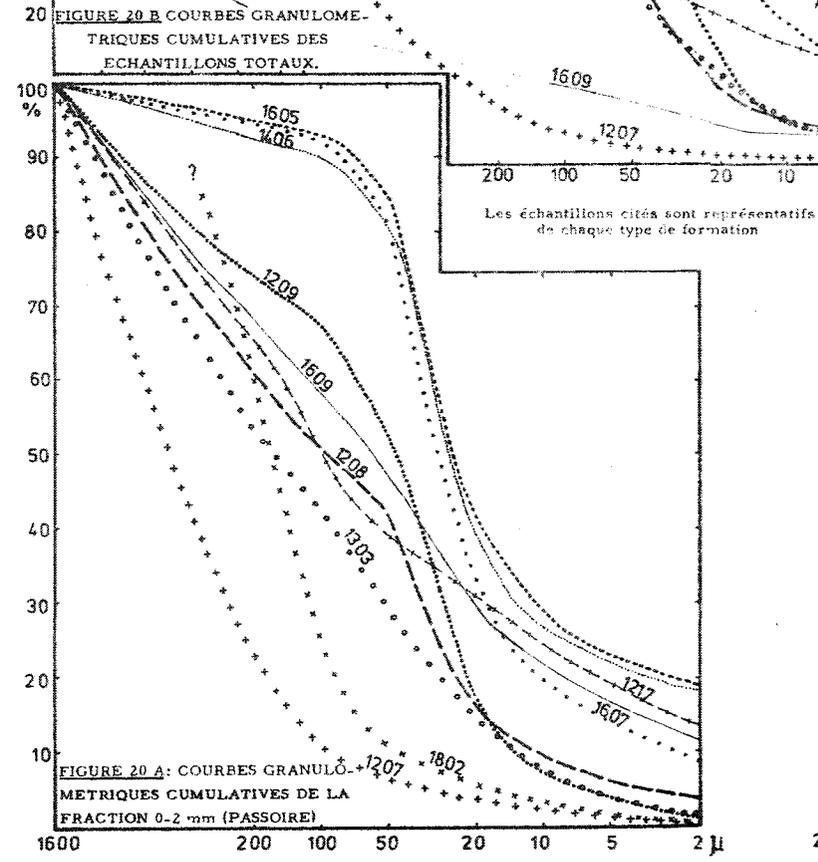
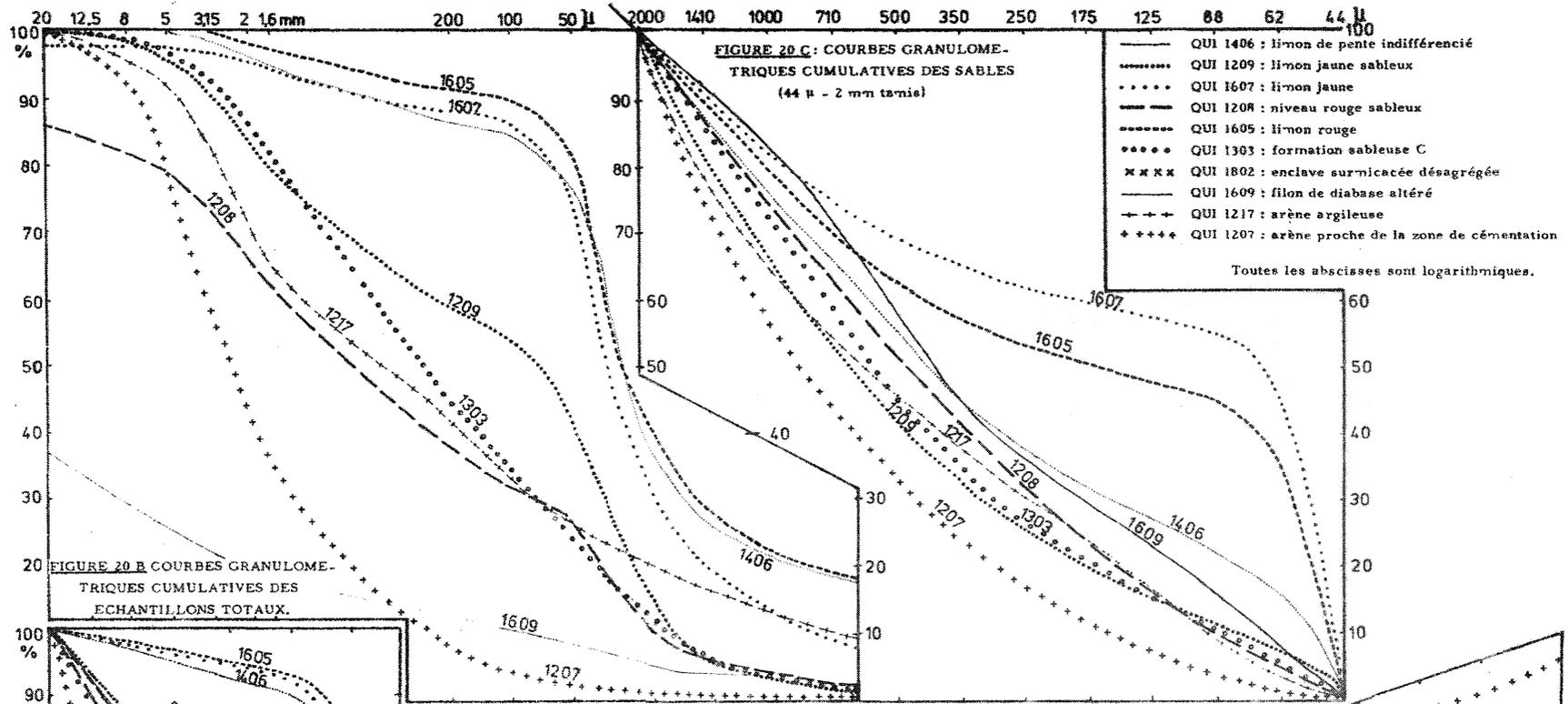
La granulométrie des arènes est identique à celles déjà étudiées et présente les mêmes variations. Dans le profil d'altération QUI 1216-1218, l'échantillon QUI 1217 est particulièrement argileux (14%) et a subi une réduction granulométrique au niveau des sables tandis que sa fraction de graviers et cailloux reste développée (35% de l'échantillon), comme dans certains échantillons d'arènes peu évoluées (QUI 1207 et QUI 1204 ont ainsi plus de 50% d'éléments supérieurs à 2 mm).

b) les formations sableuses B et C.

Les échantillons de la formation B présentent des courbes semblables à celles des arènes sous-jacentes ou des arènes du versant, avec toutefois un taux d'argile inférieur et une fraction de limons grossiers plus développée. Des débris de granite, supérieurs à 2 cm, ont été entraînés dans la masse et constituent plus de 10% de l'échantillon QUI 1202. Les fractions sableuses de cette formation ont le même type de répartition que celles des arènes mais avec une taille moyenne des grains

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	<2 μ	2 μ -5 μ	5 μ - 10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -100 μ	100 μ -200 μ	200 μ -2000 μ
QUI 1204 arène grossière	6	1,7	1,5	2,1	4,2	7,5	13,1	64
QUI 1301 arène	1,6	1,6	1,4	3,7	5,1	7,8	14,9	63,9
QUI 1202 formation B	2,1	2,6	2,7	5,1	11,6	12,1	14,3	49,6
QUI 1303 formation C	1,8	2,8	3,3	7,1	14,8	12,9	10,3	46,9
QUI 1216 limon rouge	21,8	4,1	4,8	11,8	40,5	11	1,3	4,7
QUI 1218 limon jaune	3,9	5,8	5,6	13,2	40,5	13,6	2,5	15,8
QUI 1208 niveau rouge sablo- limoneux	3,1	2,8	3,6	7,1	25,4	8,1	10,1	39,8
QUI 1209 niveau jaune sablo- limoneux	1	2,6	3,2	10,1	35,7	14,1	6,4	26,8

Tableau 11 : Coupes QUI 1200 et QUI 1300 : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).



légèrement plus faible. En ordonnée gaussienne la répartition est lognormale, celle de l'arène étant constituée de deux segments sécants à 60μ .

Les échantillons de la formation C, situés dans une légère dépression (profil QUI 1300), ont des courbes cumulatives concaves vers le bas et présentent un petit renflement au niveau des limons grossiers et des sables fins (20 à 100μ). Par contre la fraction supérieure à 2 mm n'est pas plus développée que dans l'arène sous-jacente et les fractions sableuses des matériaux ont la même répartition. En ordonnée gaussienne les courbes de ces échantillons sont constituées de deux segments rectilignes sécants aux environs de 100μ , mais l'angle ainsi formé est orienté vers le haut pour les arènes en place et vers le bas dans la formation C.

c) les formations rouges et jaunes.

Les formations rouges et jaunes, qui comblent de légères dépressions creusées à la surface de l'arène, adoucissent les pentes de part et d'autre du pointement rocheux le plus élevé. Ces formations présentent des caractéristiques granulométriques variées.

Dans la partie Est de la coupe, le niveau rouge sablo-limoneux (QUI 1208) contient une fraction limoneuse grossière importante (25% de l'échantillon tamisé à 2 mm), alors que les autres parties de la courbe cumulative (2μ à 2 mm) sont peu différentes de celles correspondant aux arènes. La fraction de graviers, cailloux et blocs est bien développée, notamment au-dessus de 2 cm. Le niveau sablo-limoneux jaune qui le surmonte renferme 25% de limons grossiers, mais aussi 25% de limons fins, 7% d'argiles et 43% de sables, ces pourcentages étant relatifs à l'échantillon tamisé à 2 mm. Sa fraction supérieure à 2 mm reste assez faible (20%) et est en continuité sur la courbe avec la fraction sableuse.

Les fractions sableuses de ces deux niveaux (rouges et jaunes) ont une répartition du même type que celles des arènes, la taille moyenne des grains étant légèrement plus faible. Sur les courbes en ordonnée gaussienne, seules les fractions limoneuses grossières s'individualisent nettement par rapport aux autres fractions. La granulométrie de ces deux formations présente donc des caractères identiques à ceux des limons et à

ceux des arènes.

Dans le profil QUI 1216-1218 les formations limoneuses présentent une courbe sigmoïde où la fraction 20-50 μ est la plus conséquente (plus de 50% de la fraction inférieure à 2 mm). Toutefois le limon rouge est très argileux (22%) alors que sa fraction sableuse est réduite (13%) contrairement au limon jaune (4% d'argile et 30% de sables). Les graviers et cailloux sont importants dans la formation rouge (12%) mais constitués essentiellement d'éléments supérieurs à 2cm alors que dans le limon jaune les graviers sont seuls présents (de 2 mm à 2 cm) en grande quantité (37% de l'échantillon). La répartition des fractions sableuses présente une concavité vers le bas pour les tailles supérieures à 88 μ , alors que les éléments inférieurs, qui constituent 35 à 40% de la fraction sableuse sont en continuité avec la fraction limoneuse (incomplètement représentée ici). En ordonnée gaussienne les fractions limoneuses et caillouteuses se distinguent très nettement.

Par conséquent, du point de vue granulométrique, les formations qui se présentent sous une même couleur (rouge ou jaune), et donc facilement repérables sur le terrain, peuvent être facilement divisées en deux catégories : les limons (profil QUI 1216-1218) et les niveaux sablo-limoneux (profil QUI 1207-1209).

3) Minéralogie.

a) la fraction sableuse grossière.

Les grains des sables grossiers (supérieurs à 500 μ) des arènes, des formations B et C et des limons sont identiques à ceux de la coupe QUI 1000 : quartz, feldspath et quelques micas constituent les minéraux essentiels. Les limons, comme précédemment, contiennent en outre quelques rares grains d'amphibole et de schistes graphiteux. Toutefois les pourcentages relatifs de chaque espèce minéralogique différent selon les coupes (tableau 12).

Dans les formations que j'ai appelées B et C (QUI 1202 et

Echantillons		Fraction supérieure à 2 mm	Fraction 1410 μ - 2000 μ	Fraction 1000 μ - 1410 μ	Fraction 710 μ - 1000 μ	Fraction 500 μ - 710 μ
QUI 1204 arène grossière	F	13,4	25,7	25	28,2	23,4
	M	0	0,5	0,8	4	15,6
	R	86,6	73,8	74,3	67,8	61
QUI 1202 formation B	F	11,8	9,9	9,6	15,8	11,2
	M	0	0	0	1	1,1
	R	88,2	90,1	90,4	83,2	87,7
QUI 1301 arène grossière	F	10	16,6	27,9	30,2	22,1
	M	0	0	0,7	4	9,9
	R	90	83,4	71,4	65,8	68
QUI 1303 formation C	F	14,6	14,4	25,1	24,5	19,6
	M	0	0	É	É	0,3
	R	85,4	85,6	74,9	75,5	80,1
QUI 1217 arène très évoluée	F	4	31,5	49,4	57,9	49,3
	M	0	0	0	É	1,5
	R	96	68,5	50,6	42,1	49,2
QUI 1216 limon rouge	F	1,3	15,3	27,3	23,9	26,2
	M	0	0	0	0	É
	R	98,7	84,7	72,7	76,1	73,8
QUI 1218 limon jaune	F	10,6	18	24,4	24,5	31,3
	M	0	0	0	É	0,3
	R	89,4	82	75,6	75,5	68,4

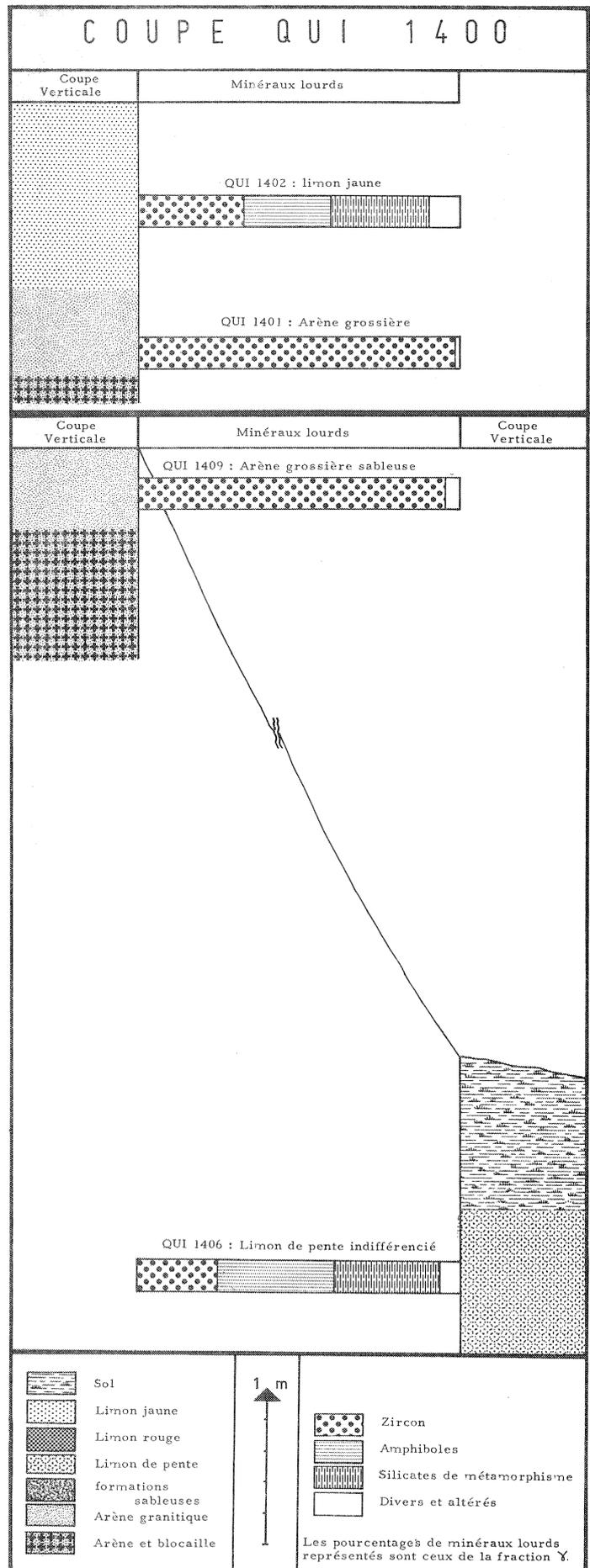
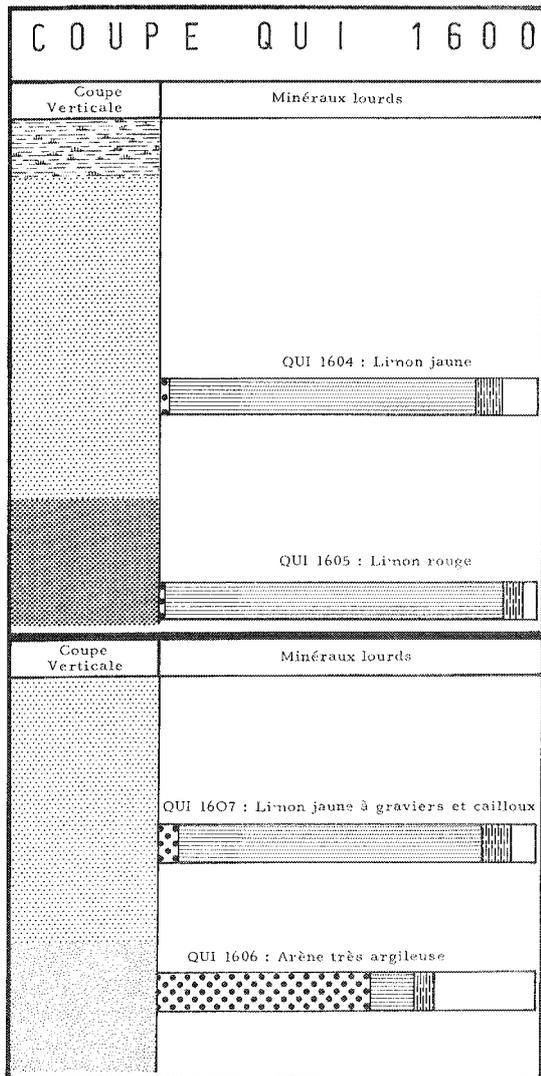
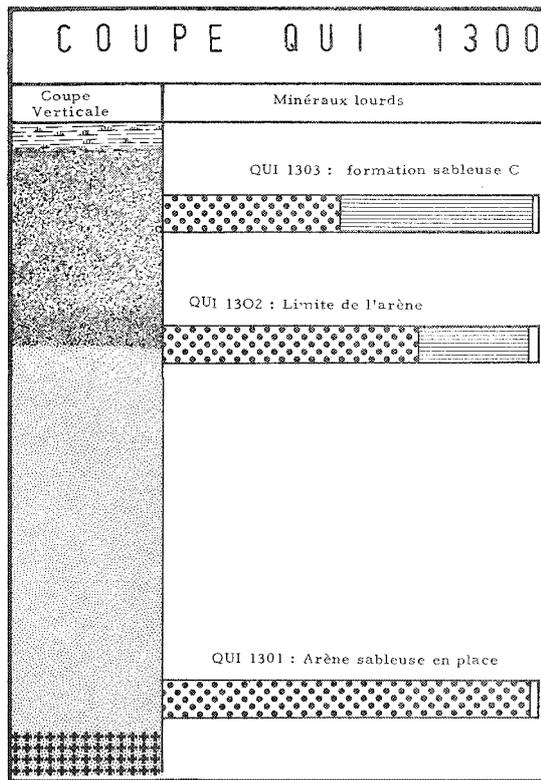
Tableau 12 : Coupes QUI 1200 et QUI 1300 : Répartition pondérale des différents groupes minéralogiques dans quelques fractions granulométriques de sables grossiers.

F : pourcentage de feldspath

M : pourcentage de mica

R : pourcentage du résidu : grains de quartz plus ou moins propres.

FIGURE 21 - LES MINÉRAUX LOURDS DES FORMATIONS MEUBLES DU MASSIF DE QUINTIN



QUI 1203) les taux de feldspaths sont inférieurs à ceux des arènes les plus proches (QUI 1204) ou sous-jacentes (QUI 1301), et les micas n'existent qu'en très petites quantités alors qu'ils deviennent abondants dans les fractions 500-1000 μ des arènes.

Dans la coupe QUI 1216-1218, les fractions sableuses grossières de l'arène comprennent une forte proportion de feldspaths que l'on retrouve dans les limons rouges et jaunes, bien que les pourcentages y soient moins élevés. Les micas sont peu abondants sur toute la hauteur du profil, et dans l'arène la fraction argileuse est fort développée.

b) les minéraux lourds.

L'étude des minéraux lourds dans la fraction χ (62 μ à 175 μ) révèle certaines différences selon la nature des échantillons. Les résultats relatifs aux échantillons 1200 sont présentés sur la figure 16 et ceux de la coupe 1300 sur la figure 21.

Les arènes granitiques en place sont, comme dans les coupes précédentes, caractérisées par le zircon de type malacon (au moins 95% des minéraux transparents lourds).

Dans la formation B de la vallée (QUI 1202) quelques amphiboles apparaissent (3%), minéral qui devient prédominant dans la formation C de la petite dépression (QUI 1303) avec 51%, pourcentage qu'il faut sans doute mettre en rapport avec un accroissement sensible du pourcentage pondéral des minéraux lourds (0,65% dans la fraction χ). Le zircon constitue l'autre espèce minéralogique présente. L'échantillon QUI 1302, qui se trouve dans la zone de passage entre l'arène et la formation sableuse C renferme 29% d'amphiboles.

Dans les formations sablo-limoneuses rouge (QUI 1208) et jaune (QUI 1209) le zircon reste prédominant : il constitue respectivement 91 et 75% des minéraux transparents à côté de l'amphibole qui représente 6% et 19%.

Dans les limons de la coupe QUI 1216-1218, l'amphibole

atteint un pourcentage plus élevé : 34% dans les limons rouges, et 39% dans les limons jaunes.

c) la fraction argileuse :

La minéralogie de la fraction fine présente des différences entre chaque type de formations, mais aussi à l'intérieur de chacune d'entre elles. Je présenterai donc les résultats coupe par coupe.

- Coupe QUI 1201-1204 :

Dans l'arène QUI 1204, la kaolinite désordonnée est associée à un interstratifié irrégulier chlorite-vermiculite, à un peu de vermiculite et très peu d'illite. Dans la formation B (QUI 1202) de bas de pente, proche de QUI 1204, les mêmes minéraux sont présents avec en outre un interstratifié illite-vermiculite.

- Coupe QUI 1300 :

Entre les échantillons de la formation C (QUI 1302 et QUI 1303) peu de différences existent si ce n'est le développement moins grand de la kaolinite désordonnée dans le second et la présence de petits pics relatifs à des interstratifications illite-vermiculite. L'illite y est mal représentée alors que la vermiculite est importante (figure 22).

- Coupe QUI 1207-1209 :

Dans l'arène granitique peu argileuse QUI 1207, proche d'un pointement rocheux, l'édifice interstratifié illite-vermiculite est le minéral le plus abondant accompagné d'un peu de kaolinite très désordonnée. Il n'y a pas de vermiculite et peu d'illite.

Le niveau rouge sablo-limoneux (QUI 1208) qui surmonte cette arène a une fraction fine caractérisée par l'abondance de la kaolinite, de

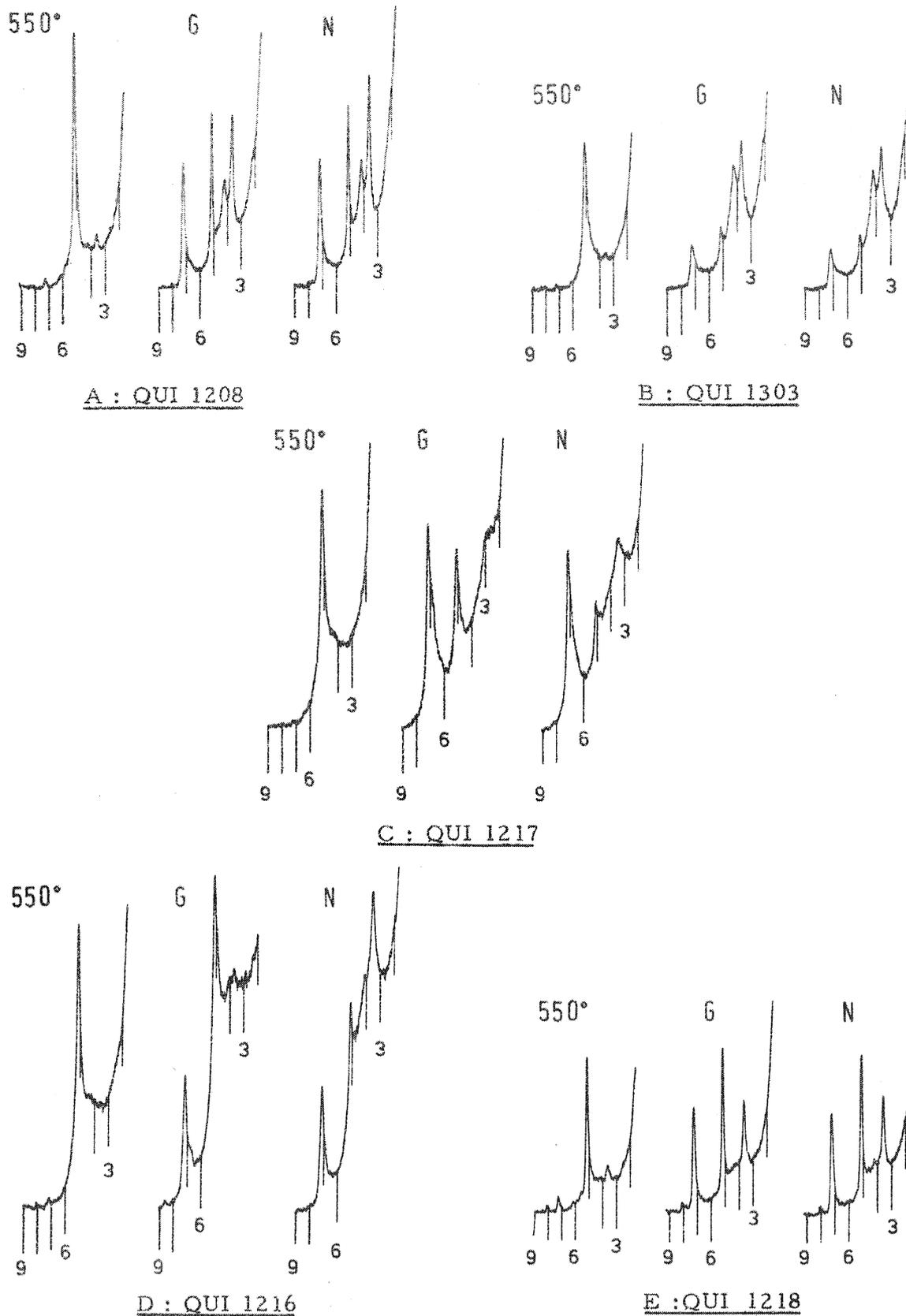


FIGURE 22 : Composition minéralogique de la fraction argileuse dans les coupes QUI 1200 et QUI 1300 : diagrammes d'agrégats orientés (rayonnement $K\alpha$ du cobalt ; graduation en degrés θ).

A : QUI 1208 : formation rouge sablo-limoneuse.

B : QUI 1303 : formation sableuse C.

C : QUI 1217 : arène rouge très argileuse.

D : QUI 1216 : limon rouge.

E : QUI 1218 : limon jaune.

	Limons et niveaux jaunes	Limons et niveaux rouges	formation B et C	arènes granitiques
Situation	sur limon rouge et / ou arène	entre arènes et limons jaunes, limites nettes, parfois graveleuse	sur les arènes, soit dans vallée (B) soit petites dépressions (C)	existent entre chaque pointement rocheux et forment de légères dépressions
Granulométrie	<ul style="list-style-type: none"> - courbe sigmoïde (prédominance des limons) - peu argileux - médiane : 48μ - courbe fraction sableuse concave vers le bas entre 88μ et 2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - courbe sigmoïde (prédominance fraction limoneuse) - argileux - médiane : 38μ - courbe de la fraction sableuse concave vers le bas entre 88μ et 2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - courbes granulométriques concaves vers le bas - prédominance des sables grossiers - médiane : variable en raison d'une fraction 20-100μ plus développée que dans les arènes et formant un léger bombement sur les courbes - peu argileuses 	<ul style="list-style-type: none"> - courbes granulométriques concaves vers le bas - prédominance des sables grossiers - médiane : variable en fonction du taux d'argile et limons - % d'argile variable, souvent plus important sous les limons.
Minéraux de la fraction sableuse	Quartz, feldspaths, quelques micas et rares grains d'amphibole.	Quartz, feldspaths, quelques micas et rares grains d'amphibole.	Quartz, feldspaths et quelques micas.	Quartz, feldspaths et quelques micas.
Minéraux lourds	Zircon et amphibole	Zircon et amphibole	Zircon et amphibole	Zircon
Argiles	K+I+V+Chl	K+I+V(parfois M) traces Chl	K+V+(I-V)+ traces I.	<u>Arène argileuse :</u> K+V+(I-V) ou K+M + traces I. <u>Arène peu argileuse :</u> (I-V)+K+V+ traces I.

Tableau 13 : Caractères généraux des formations meubles des coupes QUI 1200 et QUI 1300.

l'illite et de la vermiculite, alors que l'interstratifié illite-vermiculite n'a qu'une importance moyenne et que la chlorite n'existe qu'en traces (figure 22).

Le niveau jaune sablo-limoneux (QUI 1209), situé au-dessus, renferme les mêmes minéraux que le niveau rouge (QUI 1208) mais la chlorite y est présente en plus grande quantité.

- Coupe QUI 1216-1218 : (figure 22).

L'échantillon d'arène QUI 1217 est caractérisé par la kaolinite mal cristallisée et la montmorillonite. Illite et édifices interstratifiés sont peu développés. Le limon rouge situé au-dessus (QUI 1216) contient une kaolinite bien développée au pic étroit et peu dissymétrique, un peu d'illite, de vermiculite, de montmorillonite et des traces de chlorite. Les édifices interstratifiés sont représentés par de petits pics massifs qui disparaissent dans le limon jaune (QUI 1218) où la kaolinite bien cristallisée, la vermiculite et l'illite sont bien représentées, associées à un peu de chlorite.

4) Résumé.

Situées dans des positions topographiques semblables (pente très douce et petite dépression), sauf la formation B de la vallée, les matériaux meubles de cette coupe présentent sur le terrain une grande diversité que confirment les données analytiques (cf. tableau 13).

Cinq grands groupes de matériaux peuvent être définis :

- le granite porphyroïde
- les arènes granitiques
- les formations rouges limoneuses ou sablo-limoneuses
- les formations jaunes limoneuses ou sablo-limoneuses
- les formations sableuses B et C

Plusieurs points sont communs à chacune de ces formations meubles :

- la granulométrie de la fraction sableuse présente une concavité vers le bas caractérisée par une augmentation des

refus de tamis vers les grandes dimensions.

- il y a toujours du zircon dans le cortège des minéraux lourds.

- la kaolinite est bien développée dans tous les échantillons, sauf dans les arènes peu argileuses.

Mais à ces analogies s'opposent de nettes différences :

- la fraction granulométrique la mieux développée est sableuse dans les arènes et les formations B et C, et limoneuse dans les autres.

- les formations B et C et les limons renferment toujours des amphiboles.

- l'illite n'existe en quantités importantes que dans les formations limoneuses, et la chlorite n'est présente que dans les limons.

Deux groupes de caractères peuvent être retenus : ceux qui correspondent aux arènes (concavité de la courbe granulométrique avec prédominance de la fraction sableuse, présence uniquement de zircon dans les minéraux lourds et de minéraux interstratifiés dans la fraction fine alors que l'illite y est très mal représentée), et ceux qui sont propres aux limons (fraction limoneuse grossière dominante, présence d'amphibole dans les minéraux lourds, d'illite et de chlorite dans la fraction fine).

Les formations B et C apparaissent intermédiaires entre les arènes et les limons avec une fraction limoneuse mieux développée que dans les arènes et des amphiboles dans les minéraux lourds.

D) LA COUPE QUI 1400 : ARENE, LIMON JAUNE, LIMON INDIFFERENCIE DE PENTE ET FORMATION SABLEUSE D.

1) Description (figure 23).

Située sur la RN. 790 entre les coupes QUI 1300 et QUI 1000 cette coupe appartient à un flanc de dôme dont la partie Ouest est formée d'une roche métamorphique granitoïde (QUI 1410) très légèrement feuilletée, arénisée en surface et recouverte de limons jaunâtres. La partie Est, séparée de la précédente par un chemin, peut être divisée en deux zones. L'une, plane ou à pente très faible, est constituée du granite porphyroïde (QUI 1403) massif, arénisé au sommet (QUI 1401 et 1409) surmonté d'un limon jaunâtre (QUI 1402). La seconde est formée de limons épais accrochés sur une pente relativement forte (QUI 1405 à 1408) que j'appellerai limons de pente. Un petit lambeau sablo-limoneux (formation D) fait la transition au niveau de la rupture de pente. L'ensemble de la coupe est surmonté d'un sol brun développé, notamment sur la pente (60 cm à 1 m d'épaisseur).

2) Granulométrie :

Les courbes granulométriques des arènes et des limons jaunâtres sont semblables à celles des coupes QUI 1000 et QUI 1200. Toutefois le limon contient un fort pourcentage d'argile (17% de la fraction tamisée à 2 mm). La formation D, argileuse, présente un renflement net au niveau des limons grossiers : il y a association de deux types de matériaux : l'un aréniforme, l'autre limoneux.

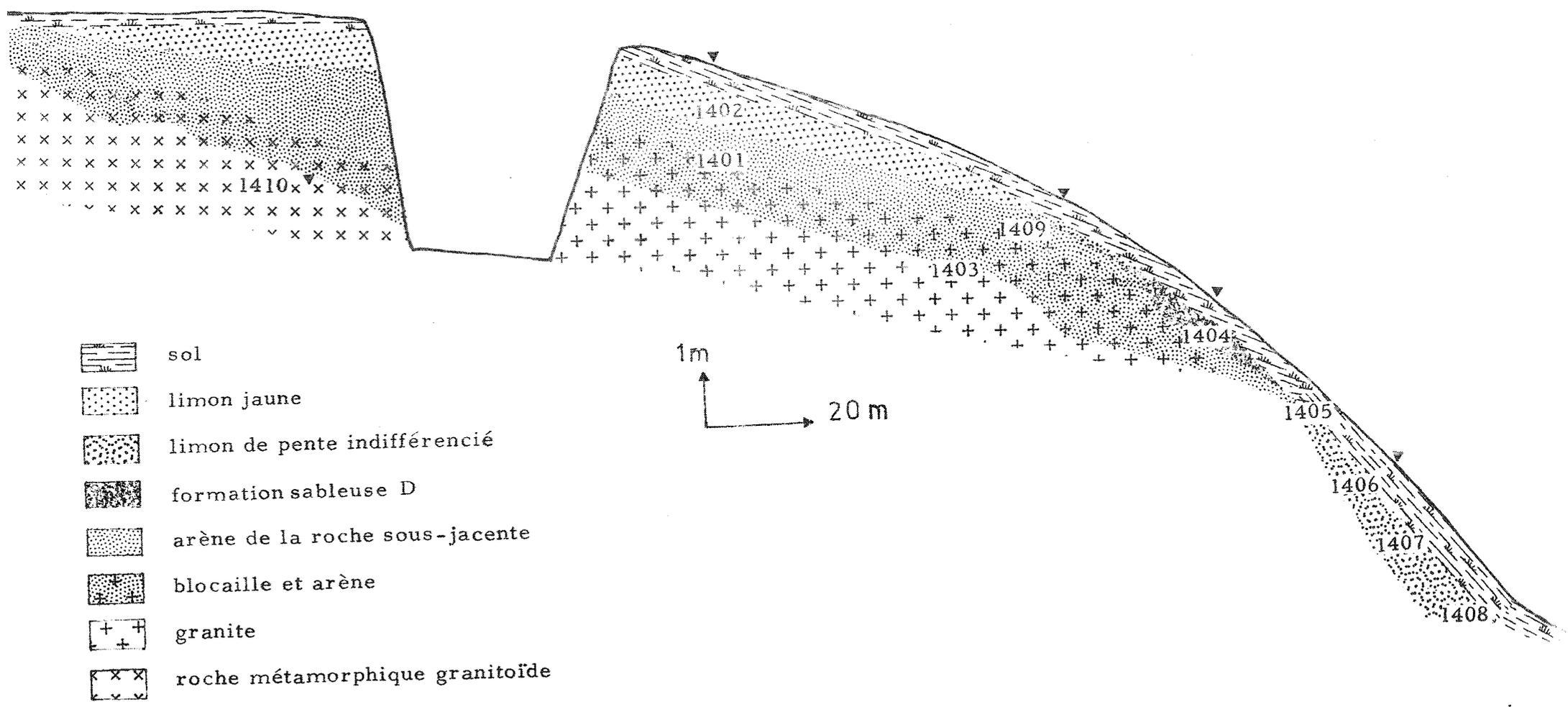
Les limons de pente ont des courbes granulométriques en tout point semblables à celles des autres limons (figure 20) : leur classement est identique et seul le taux d'argile varie le long de cette pente ; de ces limons en général très argileux, seul l'échantillon situé le plus bas ne possède que 5% d'argiles (tableau 14).

Il est difficile de paralléliser l'ensemble des limons de cette coupe à ceux des autres coupes, dans la mesure où la teinte jaunâtre

FIGURE 23 : SCHEMA GENERAL DE LA
COUPE QUI 1400

E

W



est associée à un fort pourcentage d'argile. Je préciserai donc limon jaune sur arène pour l'échantillon QUI 1402 et limon de pente indifférencié pour les limons situés sur le versant de la vallée.

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	< 2 μ	2 μ -5 μ	5 μ -10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ -100 μ	100 μ -200 μ	200 μ - 2000 μ
QUI 1401 arène	4,4	1,1	0,9	1,9	3,5	5,9	12	70,2
QUI 1402 limon jaune	18,6	2,7	3,5	10,7	45,2	7,6	2	9,8
QUI 1408 limon de pente indifférencié	5,4	5,4	6,9	14,9	41,4	14,2	3,5	8,2

Tableau 14 : Coupe QUI 1400 : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

3) Minéralogie.

a) les minéraux lourds.

Le cortège de minéraux lourds des arènes granitiques (0,25% de la masse de la fraction χ) est identique à celui des arènes des autres coupes (95% de zircon). Dans la roche métamorphisée granitoïde, broyée au laboratoire, les silicates de métamorphisme, quelques amphiboles et le zircon forment les principales espèces minéralogiques présentes, avec respectivement 30,5 et 60% des minéraux transparents.

Les minéraux lourds des limons jaunâtres sur arène (QUI 1402) et des limons de pente sont semblables : 33 et 25% de zircon, 27 et 36% d'amphibole, 30 et 32% de silicates de métamorphisme, ces derniers étant

caractéristiques des formations limoneuses de cette coupe (figure 21).

b) les minéraux argileux :

La fraction fine de l'arène granitique (QUI 1401) est constituée par ordre d'importance décroissante de kaolinite désordonnée, de vermiculite et d'interstratifiés (illite-vermiculite). Le limon jaunâtre qui la surmonte contient, outre la kaolinite, la vermiculite et l'illite, un peu de chlorite et des traces d'édifices interstratifiés.

4) Résumé.

Cette coupe est caractérisée par deux types de roches grenues arénisées à leur partie supérieure, et recouvertes de limons jaunes. La partie Est, versant de vallée à pente moyenne, est formée de limons indifférenciés ou limons de pente. Les granulométries des arènes granitiques et des limons présentent les mêmes différences que dans les coupes QUI 1000 et QUI 1200. Par contre, le trait particulier de la coupe QUI 1400 est la présence en grande quantité parmi les minéraux lourds de silicates de métamorphisme dans les limons, minéraux absents du granite et de son arène et présents dans la roche métamorphique granitoïde. Outre la kaolinite et la vermiculite qui existent dans l'arène granitique, le limon jaune renferme de l'illite et un peu de chlorite.

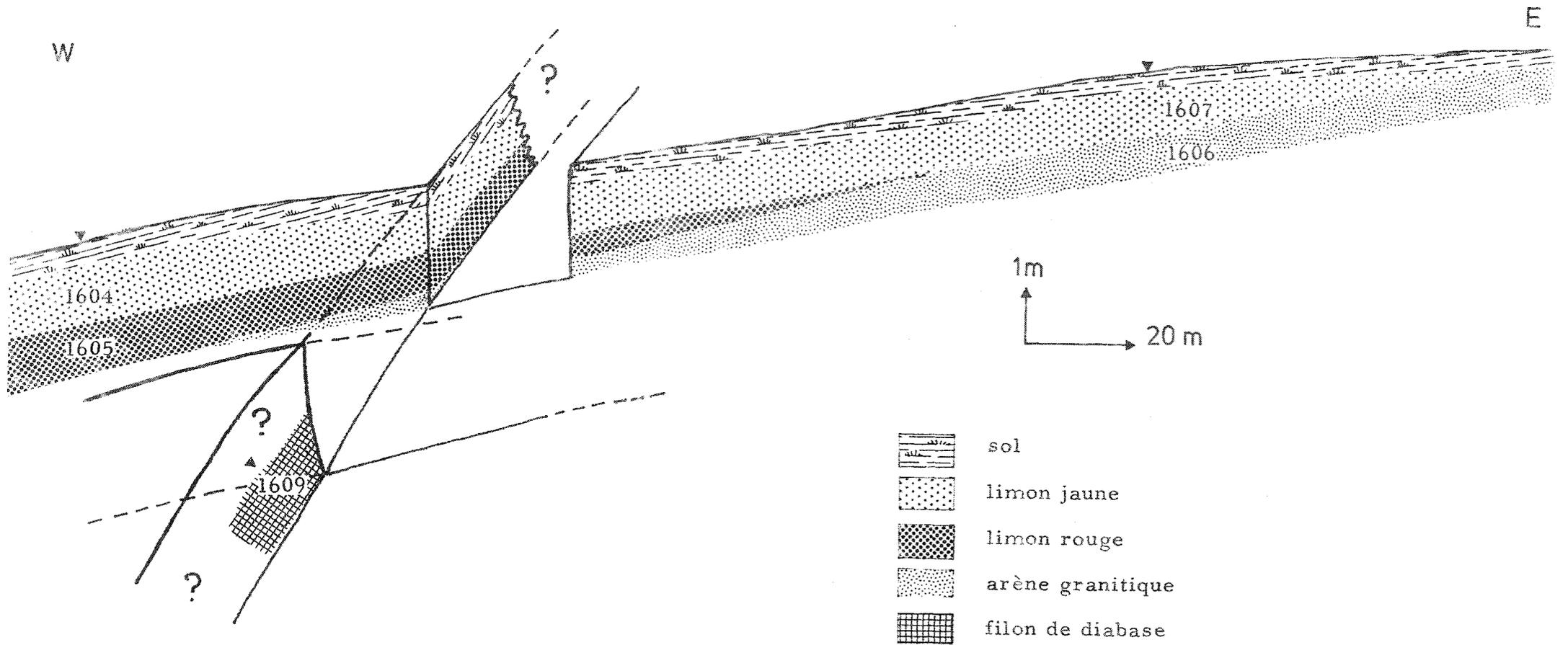
E) AFFLEUREMENTS ET COUPE QUI 1600 : ARENES, LIMON ROUGE ET JAUNE, DIABASE.

1) Description.

Près du lieu-dit le Tertre, à 4 Km au Sud de Quintin, affleure une roche grenue, légèrement orientée, granitoïde, arénisée en surface. La roche massive et l'arène ont été échantillonnées (QUI 1601 à 1603) afin de les comparer au granite de Quintin.

A l'Est de ce premier affleurement, une coupe plus complète

FIGURE 24 : SCHEMA GENERAL DE LA
COUPE QUI 1 600



(figure 24) entamant le granite altéré le long d'une route vicinale, au lieu-dit la Ville-Auray, a été étudiée. Une arène très argileuse (QUI 1606) visible sur une partie de la coupe seulement, est surmontée dans la zone la plus basse d'un limon rouge en lentille (QUI 1605) qui contient des graviers et cailloux quartzeux parfois lisses sur une ou plusieurs de leurs faces (QUI 1608). Au-dessus s'est mis en place un limon jaune dont l'épaisseur diminue progressivement dans la partie haute de la coupe. Ce limon est localement parsemé de cailloux et graviers de quartz. De l'autre côté de la route, une dolérite, visible sur 2 m², se débite en petits blocs décimétriques plus ou moins arrondis. Ses relations directes avec le granite et l'arène n'ont pu être mises en évidence. Quelques centaines de mètres plus au Sud, dans une zone topographiquement plus élevée, un filon de quartz recoupe le granite.

L'ensemble est inscrit dans une morphologie de croupe, à la partie supérieure de celle-ci où la pente reste faible.

2) Granulométrie.

Les produits d'altération du granite, de la roche granitoïde et du filon de dolérite, ont des courbes (relatives aux échantillons tamisés à 2 mm) concaves vers le bas où les sables grossiers prédominent (tableau 15). Toutefois des renflements secondaires existent vers 50 μ dans le cas de la dolérite et vers 100 μ pour la roche métamorphique. Les courbes des fractions sableuses des arènes granitiques et de la roche métamorphique sont peu différentes, tandis que celle de la dolérite présente une nette rupture à 300 μ . Mais l'échantillon de dolérite recueilli est peu représentatif de l'altération de cette roche car les morceaux de taille supérieure à 2 mm constituent plus de 85% de l'échantillon alors que l'arène granitique ne contient que 25% de graviers inférieurs à 5 mm, taille maximum des grains.

Les courbes des formations superficielles limoneuses sont caractérisées par une fraction 20-50 μ très importante (tableau 15). Toutefois le limon jaune situé sur le limon rouge a une courbe très proche de celle de ce dernier avec un taux d'argile de 18%, alors que le limon jaune situé directement sur l'arène (QUI 1607) est beaucoup moins argileux

mais caractérisé par une fraction graveleuse et caillouteuse plus développée. Les courbes des fractions sableuses montrent au-delà de 88μ un accroissement progressif des différentes fractions vers les grandes dimensions, à l'image de la répartition des sables des arènes.

En ordonnée gaussienne les fractions limoneuses et graveleuses se distinguent nettement des autres.

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	<2 μ	2 μ -5 μ	5 μ - 10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ - 100 μ	100 μ -200 μ	200 μ -2000 μ
QUI 1606 arène argileuse	10,3	4,5	5	7	13	15,7	10	34,6
QUI 1605 limon rouge	18,5	3,8	6	12,6	43,2	8	1,5	6,3
QUI 1604 limon jaune	18,7	4,3	7,2	13	40,9	12,1	1	2,8
QUI 1609 filon de diabase	10,9	5,1	4,8	8,6	16,9	10,8	9,1	33,7

Tableau 15 : Coupe QUI 1600 : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

3) Minéralogie.

a) les fractions sableuses grossières.

Le quartz et le feldspath constituent la totalité des fractions sableuses grossières de l'arène granitique. Les micas n'existent que pour les dimensions inférieures à 700μ .

Dans les limons, on retrouve les mêmes minéraux associés à quelques grains d'amphibole.

Dans la dolérite altérée, seuls les feldspaths et les amphiboles sont présents.

b) les minéraux lourds. (cf. figure 21).

La roche métamorphique granitoïde (QUI 1603) possède peu de minéraux lourds (0,07% en poids de la fraction χ), mais l'association minéralogique est variée : 21% de zircons, 40% d'amphiboles, 19% de titanés, 7% d'épidotes, quelques tourmalines, pyroxènes et silicates de métamorphisme.

Dans l'arène granitique, où le taux de minéraux lourds est relativement élevé (0,44% de la fraction χ), les mêmes minéraux sont présents avec 57% de zircon, 14% de titanés et 12% d'amphiboles.

Dans les limons rouges et les limons jaunes, l'amphibole est le minéral prédominant : elle représente respectivement 80,5 et 89,3% des minéraux transparents. Les autres minéraux sont les zircons, quelques silicates de métamorphisme, quelques titanés et peu d'épidotes. Quelques grains de zircon et d'amphiboles présentent des marques d'usure mais le pourcentage des minéraux arrondis est inférieur à 1.

Les minéraux lourds de la diabase sont constitués d'amphiboles qui forment environ 50% de la masse de l'échantillon.

c) les minéraux argileux.

Les argiles de l'arène granitique sont plus variées que dans les autres coupes : outre la kaolinite, bien cristallisée et bien représentée et la vermiculite, il faut noter ici l'importance de l'illite, les traces de chlorite et quelques petits pics massifs qui correspondent à des édifices interstratifiés 10-14 Å et 14-14 Å,

Dans le limon rouge (QUI 1605), la kaolinite, l'illite et la vermiculite existent en quantités sensiblement égales, tandis que l'interstratifié illite-vermiculite n'est présent qu'à l'état de traces.

Dans les limons jaunes, la kaolinite et l'illite, nettement dominantes, sont accompagnées par la vermiculite, l'illite-vermiculite et des traces d'illite-chlorite.

La fraction fine de la dolérite faiblement altérée renferme de la kaolinite et de la vermiculite en quantité notable, de l'illite, un peu de chlorite et des traces d'édifices interstratifiés 10-14 Å.

Un pic important à 8,49 Å correspond à une amphibole : la riébeckite dont le second pic est à 3,15 Å. L'altération n'a donc pas été assez intense pour détruire ce minéral.

4) Résumé.

Si la superposition arène - limon rouge - limon jaune (ou arène-limon jaune) de la coupe QUI 1600 est identique à celle des autres coupes relevées sur le massif de Quintin, un certain nombre d'éléments l'en différencient, notamment du point de vue minéralogique. En effet, l'arène renferme des amphiboles dans son cortège de minéraux lourds et des minéraux argileux tels que l'illite et la chlorite, absents ou peu développés dans les autres arènes granitiques. Deux hypothèses peuvent être avancées : ou l'arène est le produit d'altération d'une roche-mère différente, ou elle n'est pas en place, mais a subi un remaniement à la faveur duquel il y a eu association avec des matériaux extérieurs ; cette seconde hypothèse peut être retenue dans la mesure où les limons qui surmontent l'arène renferment à la fois de l'amphibole, de l'illite et de la chlorite. Ces limons sont d'autre part caractérisés par leur fort taux d'argile, leur très bon classement de la fraction 20-50µ, leur fort pourcentage d'amphibole et l'importance des graviers et cailloux.

Le filon de diabase observé à proximité de cette coupe, et caractéristique de la bordure du massif (VELDE, 1970) permettra peut-être d'expliquer l'abondance de l'amphibole dans les formations meubles.

F) AFFLEUREMENTS ET COUPE QUI 1800 : ARENES, LIMON JAUNE ET FORMATION SABLEUSE E.

Situés deux kilomètres au Nord de Quintin, sur la route Quintin - Le Foeil, différents affleurements de granite et de roches associées (leptynites et gneiss granitoïdes) ont été échantillonnés. Une petite coupe E-O, parallèle à une petite vallée montre vers l'Ouest la succession arène granitique-limon jaune, tandis que dans la partie Est l'arène est surmontée d'une formation sableuse à cailloux et blocs de granite : c'est la formation E. A l'intérieur de l'arène peu évoluée une enclave surmicacée est désagrégée.

La répartition granulométrique du limon jaune présente une courbe sigmoïde avec un bon classement entre 20 et 60 μ . Celle de la formation E est concave comme celle des arènes mais possède en outre un léger bombement entre 20 et 100 μ , identique aux courbes des formations A, B, C et D. L'enclave surmicacée à grains fins a une courbe décalée vers les petites dimensions dont la forme est la même que celles des arènes (cf. tableau 16).

Le cortège minéralogique lourd des roches métamorphiques est important en poids (0,37% de la masse de la fraction γ). Il est principalement constitué de zircon (34%) et de titanés (58%). Au contraire l'enclave est fort peu riche en minéraux lourds (0,05% de la fraction γ) et le zircon constitue à lui seul 94% des minéraux transparents.

Seule la fraction fine de l'enclave a été étudiée : les feuillets micacés (10 Å) sont les plus importants associés à des traces de kaolinite désordonnée.

Echantillons	A %	L f			L g	S t f	S f	S g
	2 μ	2 μ -5 μ	5 μ -10 μ	10 μ -20 μ	20 μ -50 μ	50 μ - 100 μ	100 μ -200 μ	200 μ -2000 μ
QUI 1804 limon jaune	14,8	2,8	5,6	14,2	48,9	6,8	2,1	4,7
QUI 1803 formation E	6,3	2,5	3,2	5,9	16	10	13,1	43,1
QUI 1802 enclave surmicacée	0,2	1	1,9	2,2	5,5	14,8	32,7	41,8
QUI 1807 gneiss granitoïde	2,2	3,3	3,8	5,6	15,9	7,3	9,3	52,6

Tableau 16 : Coupe CUI 1800 : Répartition granulométrique de quelques échantillons tamisés à 2 mm (passoire).

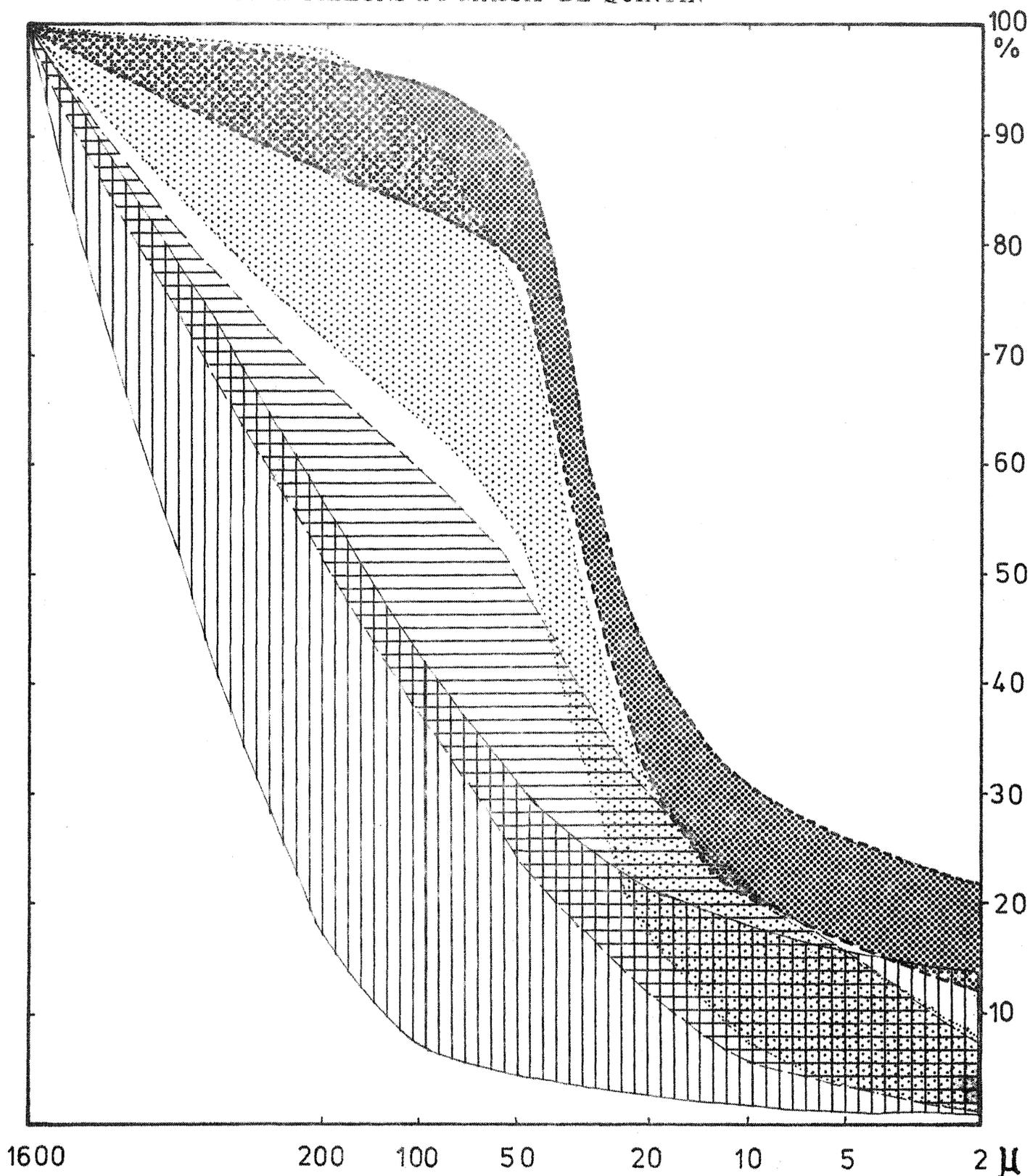
III - CONCLUSION : CARACTERES GENERAUX DES FORMATIONS ETUDIÉES SUR LE MASSIF DE QUINTIN.

Les coupes étudiées sur le massif de Quintin montrent les relations qui existent entre chaque type de matériau : le granite massif et ses roches associées, les arènes, les limons et les formations sableuses A, B, C, D et E. Le tableau 19 résume les caractères de chacune des formations.

Le granite porphyroïde massif forme des pointements rocheux qui occupent les positions topographiques les plus élevées. La fracturation puis la désagrégation de la roche croissent vers la surface et donnent naissance aux arènes grises puis rouges dans les cas d'altération les plus avancés qui sont situés sous les limons rouges. Dans les arènes les fractions sableuses grossières sont toujours prédominantes, toutefois une sensible réduction granulométrique se marque par une fracturation des feldspaths et des micas dont l'importance diminue dans les fractions sableuses les plus grossières à mesure que l'altération est plus marquée. Parallèlement la fraction argileuse se développe. Ainsi le faisceau granulométrique représentatif de l'ensemble des échantillons d'arène est très large (figure 25), la déviation arithmétique des quartiles variant entre 700 et 1200 μ (tableau 18). Le classement subit ces variations mais il reste meilleur dans les arènes les moins évoluées. Les minéraux argileux sont, eux aussi, fonction de l'intensité de l'altération : l'interstratifié illite-vermiculite très développé dans les arènes grossières diminue et est remplacé par la vermiculite et la kaolinite (exceptionnellement la montmorillonite). L'illite n'est présente qu'en petites quantités. Le zircon est le seul minéral lourd présent dans ces produits d'altération (tableau 17).

Les limons rouges argileux et parfois graveleux apparaissent en lentilles dans les petites dépressions de la surface de l'arène argileuse. Ils sont toujours surmontés de limons jaunes peu argileux et de plus grande extension. Caractérisés par des courbes granulométriques sigmoïdes, la fraction 20-50 μ de tous ces limons est bien classée. Toutefois le classement, relatif aux échantillons totaux, est variable (tableau 18) en raison du développement inégal de la fraction sableuse. Celle-ci, au-dessus de 88 μ , a d'ailleurs une répartition granulométrique semblable à celle des arènes,

FIGURE 25 : COURBES ENVELOPPES ET FAISCEAUX GRANULOMETRIQUES DES DIFFERENTS GROUPES D'ECHANTILLONS DU MASSIF DE QUINTIN



-  Limons jaunes et limons sableux jaunes (13 échantillons)
-  Limons rouges (7 échantillons)
-  Arènes remaniées (9 échantillons): formations A, B, C, D et E
-  Arènes granitiques (30 échantillons)



Nature des échantillons	Classe granulométrique	Numéro des échantillons	% pondéral	Minéraux transparents								Opagues Transparents	Opagues	Transparents	
				Zircon	Titanés	Tourmaline	Silicates de métamorphisme	Epidote s. l.	Horublénde	Pyroxènes	Altérés				
arènes granitiques	γ	QUI 1005	0,27	98,2								1,8	26,8	21,1	78,9
	β	QUI 1005	0,07	+				+						99	1
	γ	QUI 1007	0,24	99,3						+			14,6	12,8	87,2
	β	QUI 1007	0,02	+						+				80	20
	γ	QUI 1102	0,18	97,9	+			+		+			49,8	33,3	66,7
	γ	QUI 1204	0,22	97,3				+	+	+		1,5	9,3	8,5	91,5
	γ	QUI 1207	0,21	98,6						+		1	17	14,5	85,5
	γ	QUI 1217	0,21	98,3	+			+		+			57,2	36,4	63,6
	γ	QUI 1301	0,34	97,6				+	+	+			84,1	45,7	54,3
	γ	QUI 1401	0,23	98,8				+	+	+			25,2	20,1	79,9
γ	QUI 1409	0,30	95,8				1,1		2,6			40,2	28,7	71,3	
Rémariement probable d'arène	γ	QUI 1606	0,44	56,7	14,5	2,2	4,5	7,8	11,7	+	2,2	300	75	25	
arènes de roches métamorphiques granitoïdes	γ	QUI 1603	0,07	20,9	19,4	1,5	3	7,5	40,3	1,5	6	238	70,5	29,5	
	γ	QUI 1807	0,37	33,9	58,2		+	1	1,5		4,8	10,1	9,1	90,9	
enclave micacée	γ	QUI 1802	0,05	93,7	1,4	1,8	2,2		+			17,6	15	85	
arènes remaniées formations A, B et C	γ	QUI 1101	0,18	56,5	+	3,1	4,9	5,7	24,1		5,2	33,1	24,9	75,1	
	γ	QUI 1202	0,15	95,4		+	+	+	2,8		0,9	16,7	14,3	85,7	
	γ	QUI 1302	0,36	68,2			+	+	28,9		1,9	57,1	36,3	63,7	
	γ	QUI 1303	0,65	47		+	1,6		50,7		+	36,8	26,9	73,1	
Filon de diabase	γ	QUI 1609	42,4						100						
	β	QUI 1609	64,5						100						
limons rouges et niveaux rouges sablo-limoneux	γ	QUI 1008	0,16	75,3	+	+		1,6	20,5		1,3	26	20,6	79,4	
	β	QUI 1008	0,11	4,7			2,3	+	92,1			92,1	48	52	
	γ	QUI 1208	0,47	90,8			1	+	6,2		1,6	48,1	32,5	67,5	
	γ	QUI 1216		55,9			2,4	5,3	2,4	34		62,4	38,4	61,6	
	γ	QUI 1605	1,8	1	1,3	+	4,3	1	89,3	1	+	34,4	25,6	74,4	
limons jaunes et niveaux jaunes sablo-limoneux	γ	QUI 1006	0,32	53,2	1,6	1,2	+	1,4	40,3		1,9	50,1	33,4	66,6	
	β	QUI 1006	0,22	1,3		+	1,9	1,9	93,5		+	77,7	43,7	56,3	
	γ	QUI 1209	0,32	74,5	1,2	+	1,7	1,2	19,3		1,7	53,5	34,9	65,1	
	γ	QUI 1218	0,22	46,1	+	1	7,8	3,2	39		2,6	75,5	43	57	
	γ	QUI 1402	0,26	32,8	+	1,3	30,3	6,5	26,7	1,6	+	68,2	40,4	59,5	
	γ	QUI 1604	0,8	2,6	3	+	6,6	3,5	81,3	1,8	+	40,9	29	71	
	γ	QUI 1607	0,90	5,4	1,6		7,5	2,7	80,5	+	1,3	64,4	39,2	60,8	
limons de pente indifférenciés	γ	QUI 1406	0,32	24,6	+	+	32,9	2	35,7	1,2	2,4	71,4	41,7	58,3	

Chaque chiffre correspond à un pourcentage et les croix à un taux inférieur à 1%.

TABLEAU 17 : LES MINÉRAUX LOURDS DU MASSIF DE QUINTIN

Nature des échantillons	Numéro des échantillons	Q 1 (μ)	Q 2 (μ)	Q 3 (μ)	Déviati on arithmétique (μ)	Classement So	Asymé -trie
arènes	QUI 1005	380	1 000	2 100	860	2, 35	0, 80
	QUI 1007	80	550	1 850	885	4, 81	0, 49
granitiques	QUI 1102	70	400	2 000	965	5, 35	0, 88
	QUI 1204	430	1 900	3 600	1 585	2, 89	0, 43
en place	QUI 1207	900	2 500	4 600	1 850	2, 26	0, 66
	QUI 1217	48	480	2 400	1 176	7, 07	0, 50
	QUI 1301	170	530	1 500	665	2, 97	0, 91
	QUI 1401	370	1 250	2 700	1 165	2, 70	0, 64
	QUI 1409	370	1 150	2 700	1 165	2, 70	0, 76
arènes (roches métamorphiques granitoïdes)	QUI 1603	2 000	6 500	12 500	5 250	2, 50	0, 59
	QUI 1807	340	2 250	5 500	2 580	4, 02	0, 37
enclave micacée	QUI 1802	100	170	300	100	1, 73	1, 04
arènes remaniées ou formations A, B, C, D, E	QUI 1101	17	90	650	316, 5	6, 18	1, 36
	QUI 1202	120	700	3 000	1 440	5, 00	0, 73
	QUI 1302	110	480	1 450	670	3, 63	0, 69
	QUI 1303	55	280	1 100	522, 5	4, 47	0, 77
	QUI 1803	95	1 000	3 000	1 452, 5	5, 62	0, 29
limons rouges et niveaux	QUI 1008	15	36	75	30	2, 24	0, 87
	QUI 1208	48	650	3 600	1 776	8, 66	0, 41
rouges sablo-limoneux	QUI 1216	8	30	60	26	2, 74	0, 53
	QUI 1605	8	28	44	18	2, 35	0, 45
limons jaunes et niveaux jaunes sablo-limoneux	QUI 1006	24	44	300	138	3, 54	3, 72
	QUI 1209	30	80	1 100	535	6, 06	5, 16
	QUI 1218	30	120	3 200	1 585	10, 33	6, 67
	QUI 1402	14	33	65	25, 5	2, 15	0, 84
	QUI 1604	7	26	42	17, 5	2, 45	0, 43
	QUI 1607	15	35	53	19	1, 88	0, 65
	QUI 1804	12	26	42	15	1, 87	0, 75
limons de pente indifférenciés	QUI 1406	10	29	47	18, 5	2, 17	0, 56

TABLEAU 18 : Indices granulométriques des formations meubles du massif de Quintin.

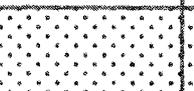
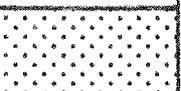
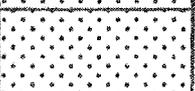
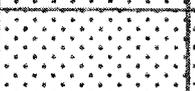
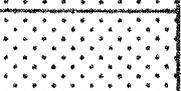
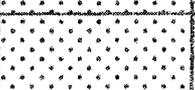
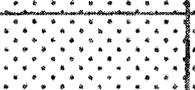
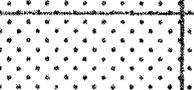
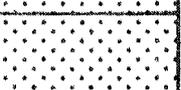
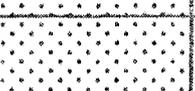
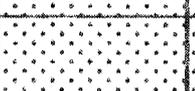
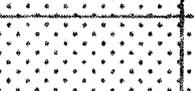
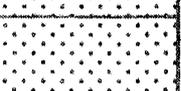
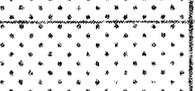
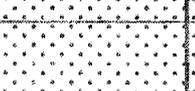
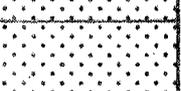
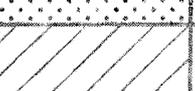
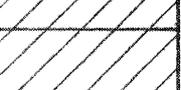
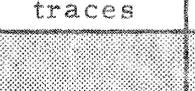
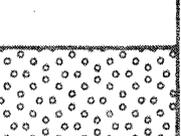
Caractères	Arène	Limon rouge	Limon jaune	Arène remaniée
courbe granulométrique 0-2 mm concave				
uniquement zircon				
courbe granulométrique fraction sableuse concave				
sables grossiers : - quartz et feldspath - quelques micas				
zircon important				
kaolinite				
vermiculite				
prédominance des sables grossiers				
interstratifié illite-vermiculite		traces 		
amphiboles				
courbe granulométrique 0-2 mm sigmoïde				
illite	traces			traces
chlorite		traces 		
courbe granulométrique avec renflement limoneux				

Tableau 19 : Principaux caractères des formations meubles sur le massif de Quintin.

et dans les grandes dimension, est constituée des mêmes minéraux. Le cortège argileux des limons est relativement constant : kaolinite, illite et vermiculite sont, dans le limon rouge associées à des traces d'édifices interstratifiés et parfois de chlorite, et, dans le limon jaune, à un peu de chlorite. Le zircon et l'amphibole sont toujours présents dans les deux limons tandis que les silicates de métamorphisme ne sont abondants que dans la coupe QUI 1400 (tableau 17).

Les formations sableuses A, B, C, D et E reposent sur les arènes et n'ont pas de rapport avec les limons. Leur granulométrie ne diffère de celle des arènes peu argileuses que par un plus grand développement de la fraction limoneuse grossière tandis que leurs minéraux argileux sont identiques à ceux du granite désagrégé. Par contre, leur cortège de minéraux lourds ressemble à celui des limons puisqu'il y a de l'amphibole (tableau 17). L'importance variable du renflement limoneux explique le mauvais classement de ces formations (tableau 18). A défaut de mot précis pour qualifier ces formations sableuses je les appellerai arènes remaniées en raison de leurs caractères proches de ceux des arènes. Les limons et les arènes remaniées constituent ainsi l'ensemble des formations remaniées dont je vais essayer de préciser la mise en place dans la troisième partie.

Troisième partie

INTERPRETATIONS - CONCLUSIONS.

Si les grandes lignes relatives à l'évolution des altérations sont aujourd'hui connues et admises, l'unanimité n'est pas faite en ce qui concerne l'apport et la mise en place des formations remaniées, et notamment des limons. La discussion portera essentiellement sur ce second point.

L'altération des roches granitiques a été abordée par de nombreux auteurs (COLLIER (1961) ; PEDRO (1964) ; MILLOT (1964) ; DEJOU, GUYOT et CHAUMONT (1972)) qui se sont attachés à montrer et à préciser l'importance et le rôle de l'hydrolyse, tandis que BIROT (1947, 1953 et 1954) avait antérieurement défini les actions physiques liées à la désagrégation. Les travaux expérimentaux de ROBERT (1970) montrent que celle-ci est en étroit rapport avec les transformations minéralogiques, notamment des biotites, transformations que SEDDOH (1968 et 1973) détermine à partir de l'étude des grains micacés et feldspathiques isolés des arènes. TARDY (1969) propose un schéma général d'évolution où les produits d'altération granitique formés sont le reflet des conditions de lessivage et de confinement en rapport avec la dynamique de chaque élément. L'évolution des arènes des massifs de Bonnemain et de Quintin sera proposée à partir des schémas déterminés par ces auteurs.

Par contre, les formations superficielles limoneuses ont été sujettes à maintes interprétations. Je m'en tiendrai ici à un bref historique ne concernant que le Massif Armoricaïn. Sur celui-ci, les formations quaternaires limoneuses ont été reconnues très tôt aux environs de Paimpol par REYNAUD (1848) qui en fait des formations d'eau douce. BARROIS (1893 et 1897) les définit comme des limons loessiques d'origine continentale locale, mis en place par des coulées de boue sous l'action du ruissellement qui prend alors l'aspect d'un véritable cataclysme. MILON et DANGEARD (1928) attirent l'attention sur les phénomènes de solifluction dans les formations quaternaires bretonnes : ces actions périglaciaires prennent une part importante dans la formation et la mise en place des limons. MILON et BERTHOIS (1930) leur attribuent alors une origine sub-autochtone, identique à celle du head.

BERTHOIS et MILON (1932), à Trégastel-Frimel, Flougasnou et St-Jean du Doigt, sur un massif granitique situé en contrebas et au Nord d'une région à roches vertes, font des limons un matériau d'origine locale

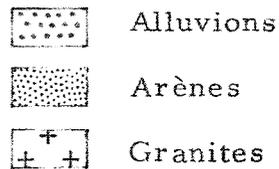
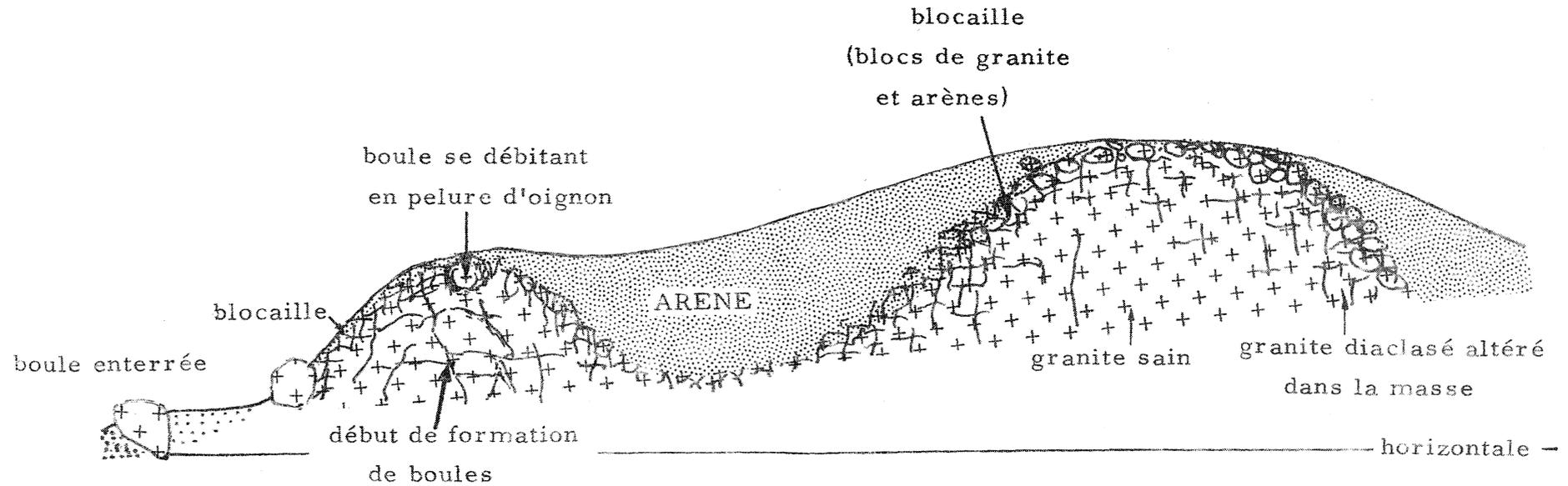
ou sub-locale provenant des produits d'altération situés en amont, donc au Sud. Dans la baie de St-Brieuc, BERTHOIS (1937) se base sur les minéraux lourds pour donner aux limons une origine locale, certains niveaux lui apparaissant soliflués. D'autres auteurs, tels COLIN (1913) et MORIN (1931) pensent qu'ils ne sont que les résidus de transgressions quaternaires marines. CAILLEUX (1938), dans une étude sur la marque des actions éoliennes en Bretagne, signale que le vent a dû intervenir dans l'accumulation des limons et des loess. Plus récemment, GUILCHER, GIOT et leurs collaborateurs (1969) précisent au sujet des loess armoricains : "l'étude des minéraux semble avoir confirmé que les matériaux éoliens de ces limons ont été collectés par les vents sur les fonds exondés de la Manche". MONNIER (1973) adopte cette hypothèse pour les formations de la région de St-Brieuc et signale que les vents ont dû souffler du Nord ou du Nord-Ouest, tandis qu'il explique la présence des minéraux lourds originaires du substrat local, qui sont largement représentés, par "des phénomènes de versant". ESTEOULE, ESTEOULE-CHOUX et PERRET (1971 et 1972) proposent pour origine à certains limons un remaniement local de formations d'altération quaternaire et tertiaire, s'appuyant à la fois sur les minéraux lourds et les minéraux argileux, mais ils ne précisent pas le mode de remaniement. Toutefois, tous les auteurs s'accordent sur l'existence au cours du Quaternaire de phénomènes de solifluction .

Les formations limoneuses que j'ai étudiées, aussi différentes qu'elles puissent être de celles qui ont fait l'objet des travaux cités, s'en rapprochent toutefois par leur texture et par la présence constante de grains d'amphibole dans le cortège des minéraux lourds.

thalveg

LEGERE DEPRESSION

pointement massif



Hauteur maximale d'observation : 7 m

Longueur de la coupe : 250 m

FIGURE 26 : COUPE THEORIQUE MONTRANT LA REPARTITION DES DIFFERENTES FORMES D'ALTERATION ET LEURS RELATIONS AVEC LA TOPOGRAPHIE

I - CARACTERISTIQUES GENERALES DES FORMATIONS ETUDIEES.

Deux groupes de matériaux ont été distingués dans l'ensemble des formations meubles étudiées sur les massifs granitiques de Bonnemain et de Quintin:

- les formations d'altération
- les formations remaniées.

A) LES FORMATIONS D'ALTERATION.

Les produits d'altération observés et étudiés en Bretagne sont le résultat d'une évolution minéralogique sous un (ou des) climat peu agressif car aucun minéral des granites n'a été entièrement détruit. Les aspects différents et variables des matériaux viennent d'une part de la nature de la roche-mère et de la taille de ses grains, d'autre part de la position morphologique des profils en relation avec le système de fracturation qui détermine la circulation des eaux. La répartition dans l'espace et les rapports entre les différentes formes d'altération sont donc bien déterminés (figure 26). Dans l'ensemble, ce sont les arènes et les blocailles (association de blocs non désagrégés et d'arène) qui sont les plus développées, notamment sur les massifs de Bonnemain et de Quintin où la présence de biotite favorise la désagrégation. Celle-ci s'effectue lorsque les transformations minéralogiques des biotites et des feldspaths sont suffisamment intenses pour permettre la libération des grains de l'arène. La répartition granulométrique ainsi obtenue montre que cette libération, quelle que soit la roche (granite porphyroïde, granodiorite, diorite, enclaves), respecte la taille des minéraux constitutifs de celle-ci. La poursuite de l'altération sur ces produits désagrégés entraîne une sensible réduction granulométrique qui s'effectue surtout au niveau des feldspaths et des micas, puisque ces minéraux deviennent moins importants dans les grandes dimensions des fractions sableuses des arènes les plus évoluées. Parallèlement la production de fraction argileuse augmente sensiblement, mais sur le massif de Bonnemain l'intensité de l'altération n'obéit pas à une variation verticale ou latérale progressive alors que sur le massif de Quintin elle est toujours de plus en plus importante de la base des profils au sommet.

L'évolution minéralogique des arènes granitiques et granodioritiques apparaît différente, toutefois ses grandes lignes sont identiques. Le quartz est peu affecté tandis que les feldspaths et les micas ne sont jamais entièrement détruits mais ont donné naissance à la fraction argileuse.. Selon les possibilités d'altération proposées par les auteurs les feldspaths (plagioclases) sont à l'origine de la kaolinite désordonnée tandis que la transformation des biotites produit des minéraux 2/1 par l'intermédiaire d'édifices interstratifiés particulièrement bien représentés dans les arènes peu évoluées de Quintin. Chacun des minéraux altérables de la roche-mère peut ainsi donner naissance à l'illite qui ne s'est abondamment développée que sur le massif de Bonnemain.

Si la désagrégation présente sensiblement les mêmes caractéristiques pour les roches associées (enclaves, filonnets, diorite, roches métamorphiques) que pour les granites, leur évolution minéralogique diffère. Ainsi la fraction fine de l'enclave surmicacée, QUI 1802, du massif de Quintin est caractérisée par l'abondance de l'illite, minéral presque absent de l'arène granitique. L'évolution minéralogique de la diorite de la Boinderie est aussi particulière : l'illite, produit de transformation des feldspaths, la montmorillonite, résultat de l'évolution des phyllites, sont parfois associées à la kaolinite qui a dû prendre naissance dans des zones à meilleures conditions de drainage. En conséquence, quelle que soit la roche, il y a évolution différentielle des minéraux.

L'association de kaolinite et de vermiculite peut être considérée comme le produit d'une évolution sous des climats peu agressifs de type tempérés humides (BARSHAD, 1966), et d'ailleurs la vermiculite est un minéral climax des zones tempérées (CAMEZ, FRANCO DE FERRIERE, LUCAS et MILLOT, 1960 ; CAMEZ, 1962 ; ESTEIOULE, GUYADER, TOUFFET, 1971). La présence d'arènes fossiles sous les limons montre que l'altération n'est pas uniquement actuelle mais qu'elle a pu se développer pendant les interglaciaires du Quaternaire, considérés dans nos régions comme correspondant à un climat tempéré humide (EVANS, 1971 ; MORZADEC-KERFOURN, 1973).

B) LES FORMATIONS REMANIÉES.

Les formations remaniées regroupent l'ensemble des matériaux qui ont subi une évolution distincte des produits d'altération en place. Reposant sur les arènes, elles en sont séparées par une limite souvent franche, parfois soulignée par des graviers et des cailloux, et s'en distinguent par leurs caractéristiques granulométriques et minéralogiques. Ces formations sont représentées, d'une part, par les arènes remaniées et d'autre part, par des limons qui, à Quintin, sont différenciés en deux types : limons rouges et limons jaunes, tandis qu'à Bonnemain seul le limon jaune est présent.

- les limons.

Les limons sont tous caractérisés essentiellement par le développement important de la fraction limoneuse grossière (20-50 μ). Le taux de celle-ci est d'ailleurs très variable en raison des pourcentages de fractions sableuses plus ou moins élevés.

Toutefois, les limons rouges de Quintin, peu étendus et reposant directement sur les arènes, sont caractérisés par un développement notable de la fraction argileuse (17%), ce qui les distingue des limons jaunes, d'extension plus importante, où cette fraction est relativement faible (3%). Sous ces limons rouges les arènes sont nettement plus argileuses (7 à 14% d'argile) que les arènes directement recouvertes par les limons jaunes (1 à 10% d'argile). A la Boinderie le pourcentage d'argile est fort dans les limons (entre 10 et 20%) et souvent plus élevé que dans les arènes sous-jacentes malgré de grandes variations dans celles-ci (en moyenne il y a 9% d'argile dans les arènes granodioritiques et 7% dans les arènes dioritiques).

La répartition granulométrique des fractions sableuses supérieures à 88 μ des limons présente de nettes différences d'un massif à l'autre : sur le massif de Quintin cette fraction a une répartition identique à celle des arènes tandis qu'à la Boinderie elle est caractérisée par une diminution progressive des résidus des tamis vers les grandes dimensions, contrairement aux arènes. Par contre les fractions sableuses grossières de tous les limons, supérieures à 300 μ , sont toujours minéralogiquement

identiques à celles des arènes les plus proches : c'est ainsi que certains minéraux de la diorite (micas verdâtres et anatase) se reconnaissent dans les limons de la coupe Bo. . . .

Toutes les formations limoneuses renferment de l'amphibole, minéral absent dans les arènes, tandis que les minéraux lourds de celles-ci sont présents dans les limons les plus proches (anatase, zircon et tourmaline dans la coupe Bo 0. . . à la Boinderie, zircon et parfois silicates de métamorphisme dans les limons rouges et jaunes de Quintin). Le cas de la Boinderie est particulier dans la mesure où les variations très sensibles de la répartition des minéraux lourds des limons de cette coupe sont liées à leur position topographique par rapport à la diorite arénisée riche en anatase.

Les minéraux argileux les mieux représentés des limons sont toujours les mêmes : kaolinite ordonnée, illite et vermiculite qui existent aussi dans les arènes. Dans les limons jaunes, la chlorite est toujours présente alors qu'elle n'apparaît qu'en traces dans les limons rouges. Certains limons renferment des minéraux argileux particuliers, semblables à ceux des arènes situées à proximité : ainsi la montmorillonite en traces dans la coupe Bo 0. . . et dans le limon rouge de la coupe QUI 1216-1218 ; de même tous les limons rouges contiennent des traces d'édifices interstratifiés. Par contre, l'illite, très faiblement représentée dans les arènes de Quintin, est abondante dans tous les limons situés sur ce massif.

- les arènes remaniées.

Les arènes remaniées rencontrées sur les deux massifs n'occupent pas la même position ; celles que j'ai étudiées dans la coupe de la Boinderie sont situées entre les arènes en place et les limons, tandis que celles qui ont été observées sur le massif de Quintin ne sont jamais en contact avec des limons. Toutefois les caractères analytiques de toutes les arènes remaniées présentent les mêmes différences avec ceux des arènes et ceux des limons, quel que soit le massif. Leur répartition granulométrique, proche de celle des arènes, possède un renflement au

niveau de la fraction limoneuse grossière, alors que les minéraux lourds sont les mêmes que ceux des limons (amphibole notamment, en quantité extrêmement variable). Il faut noter qu'à la Boinderie ces minéraux lourds, et en particulier l'anatase, subissent les mêmes variations que ceux des limons en fonction de la position des arènes remaniées par rapport à la diorite altérée. Quant à la fraction argileuse des arènes remaniées, elle est toujours identique à celle des arènes les plus proches.

II - L'HERITAGE DANS LES FORMATIONS REMANIEES.

L'origine locale d'une partie des constituants des formations remaniées est mise en évidence par un certain nombre de caractères granulométriques et minéralogiques.

D'une part, la granulométrie des fractions sableuses au-dessus de 88μ dans les limons de Quintin et les arènes remaniées est identique à celle des arènes tandis que la composition minéralogique des fractions sableuses les plus grossières (constituées de quartz et de feldspath) est la même que celle du granite altéré. Une masse importante d'arène existe donc dans ces formations remaniées, sans qu'il y ait de tri granulométrique au niveau des sables. Par contre, dans les fractions sableuses des limons de la coupe de la Boinderie, l'empreinte des arènes dioritiques et granitiques est marquée par la nature des minéraux (quartz, feldspath et micas verdâtres) et non par la granulométrie. Cette dernière montre d'ailleurs qu'il y a eu un tri des particules selon la taille, les plus grosses étant très faiblement représentées : ce tri est sans doute le fait du ruissellement.

D'autre part, les minéraux lourds des arènes sous-jacentes (zircon notamment) sont présents dans les limons et les arènes remaniées. Quelques cas sont particulièrement nets : dans la coupe QUI 1400, les silicates de métamorphisme observés dans les limons sont originaires de la roche granito-gneissique associée au granite ; dans la coupe de la Boinderie, l'anatase, qui existe dans les limons situés en contrebas de la diorite altérée ne peut provenir que de celle-ci ; dans la coupe QUI 1600 le taux très élevé d'amphibole est en rapport avec la présence du filon de diabase.

L'identité des minéraux argileux des arènes et des arènes remaniées ne laisse aucun doute sur l'origine de ceux-ci dans ces dernières. Par contre, dans les limons, le problème est plus délicat en raison de l'évolution différentielle possible des argiles dans chacune des formations. Dans certains cas particuliers, quelques précisions sont possibles : les traces de montmorillonite dans les limons de la Boinderie situés en aval de la diorite proviennent de l'altération de celle-ci, tandis

que l'origine des traces d'édifices interstratifiés des limons rouges de Quintin peut être recherchée dans les arènes sous-jacentes. Il en est de même de la montmorillonite dans la coupe QUI 1216-1218. Il y a donc au moins une fraction argileuse héritée du substratum altéré.

III L'APPORT EXTERIEUR DANS LES FORMATIONS REMANIEES.

L'important et constant héritage qui existe dans les formations remaniées ne permet pas d'interpréter l'ensemble de leurs caractères, notamment granulométriques. En effet, la petite taille des grains des limons et leur excellent classement entre 20 et 60 μ ne peuvent avoir pour origine une évolution sur place des arènes, car l'altération du granite n'a pas entraîné la formation d'une importante fraction limoneuse, le degré de fragmentation étant trop faible, aussi bien dans le granite que dans la diorite (coupe de la Boinderie), où le feldspath est abondant. Il faut donc faire intervenir un apport de la fraction limoneuse, extérieur au substrat, l'agent de transport le plus vraisemblable étant le vent pendant une période climatique favorable : froide et sèche. L'origine des particules ainsi remaniées et triées peut être un limon plus ancien ou de fins produits d'altération en place ou déjà triés (limons de débordement des vallées). L'orientation variable des formations observées ne permet pas de déterminer la direction dominante des vents.

Mais cet apport n'est pas limité à la fraction limoneuse car l'amphibole est constamment présente dans les fractions sableuses fines et très fines des limons. Or ce minéral n'existe pas dans les arènes sous-jacentes. Une partie des sables a donc été apportée par le vent, quoique ce transport soit plus difficile. Leur origine doit donc être recherchée à de faibles distances des dépôts. En ce qui concerne les minéraux les plus abondants de ces fractions sableuses, quartz, feldspaths et micas, le granite altéré est la source la plus probable tandis qu'en ce qui concerne l'amphibole il faut considérer les filons de diabase et les roches amphiboliques les plus proches des massifs granitiques. Dans le cas du massif de Bonnemain, les nombreux filons ont pu fournir l'amphibole tandis que sur le massif de Quintin où de tels filons n'existent qu'à la périphérie (coupe QUI 1600), il faut retenir les roches de bordure et leur cortège filonien. Le transport éolien de cette fraction atteint ainsi au moins quelques kilomètres.

Dans les argiles des limons de Quintin, il faut noter la présence de chlorite et d'illite qui n'existent pas ou très peu dans les arènes : il

est difficile de préciser s'il y a eu apport ou transformations après héritage.

Dans les arènes remaniées, où la fraction limoneuse est souvent plus développée que dans les arènes, la présence d'amphibole confirme l'apport éolien.

IV - MISE EN PLACE ET EVOLUTION LES FORMATIONS : MELANGE DE L'APPORT EOLIEN ET DES PRODUITS HERITES.

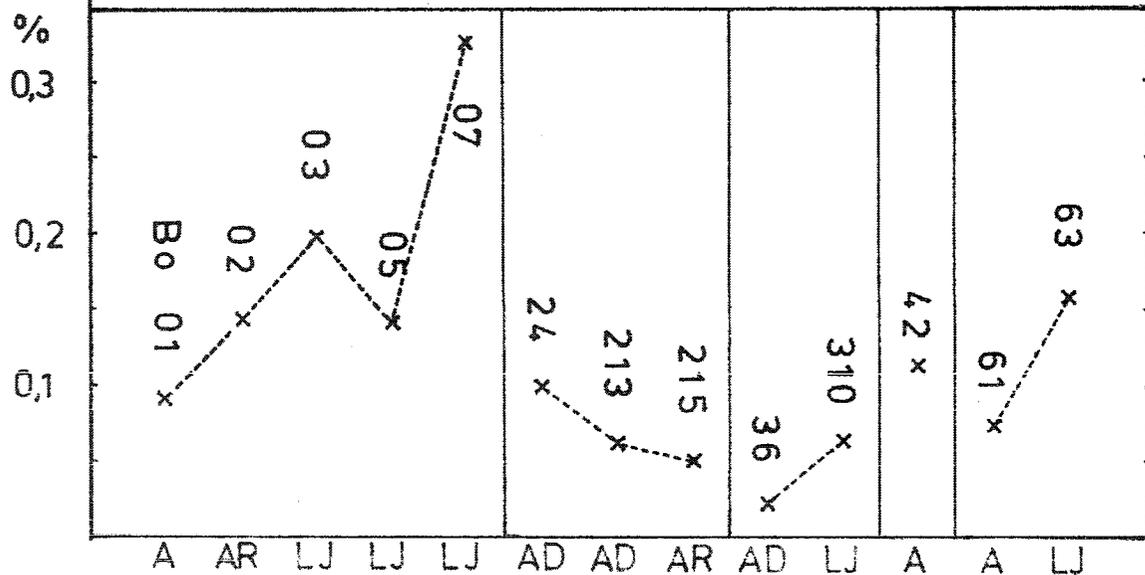
Chaque formation caractérise un épisode géologique : si les produits d'altération observés sont uniquement le siège de transformations, les formations remaniées ne peuvent être envisagées que dans le cadre d'une association de deux ensembles : l'un hérité du substratum altéré, l'autre apporté par le vent. Ce mélange constant s'est effectué sous l'action de phénomènes différents sur chaque massif.

Dans les fractions héritées des limons de Quintin il n'y a pas eu de tri des particules puisque les courbes granulométriques des fractions sableuses supérieures à 100 μ des limons sont identiques à celles des fractions sableuses des arènes. La diminution du pourcentage pondéral de zircon dans la fraction χ (62 μ -175 μ) des formations remaniées par rapport aux arènes les plus proches (figure 27) confirme que le mélange a entraîné une dispersion du zircon hérité (quoique rien ne prouve que ce minéral soit uniquement un produit de l'héritage). Les phénomènes périglaciaires peuvent ainsi être à l'origine du mélange des arènes et des matériaux d'origine éolienne sans changer la granulométrie respective des deux ensembles.

Dans les fractions héritées des limons de Bonnemain (coupe de la Boinderie) il y a eu un tri des grains, les plus grossiers ayant été éliminés. D'autre part, il y a parallèlement un enrichissement en poids de zircon dans la fraction χ (62 μ -175 μ) (figure 27). Ce tri et cet enrichissement (sauf s'il y a un important apport éolien de zircon) peuvent être le résultat d'un ruissellement.

Je vais donc considérer successivement la mise en place des formations sur chaque massif et envisager plus précisément le type de mélange qui a eu lieu.

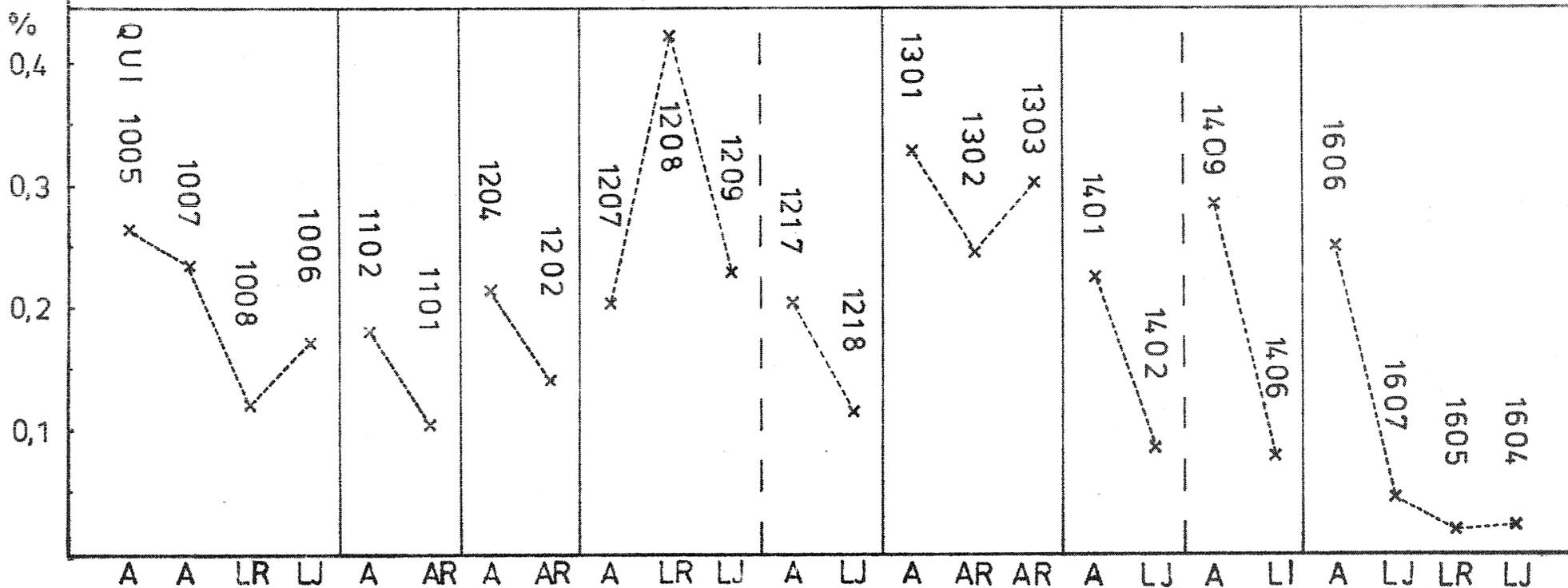
FORMATIONS MEUBLES DE LA COUPE DE LA BOINDERIE



- L I : limon indifférencié
- L J : limon jaune
- L R : limon rouge
- A R : arène remaniée
- A D : arène dioritique
- A : arène granitique

FIGURE 27 : Variations des pourcentages pondéraux du zircon dans la fraction γ des formations meubles étudiées.

FORMATIONS MEUBLES SITUEES SUR LE MASSIF DE QUINTIN



A) LES FORMATIONS MEUBLES DU MASSIF DE QUINTIN.

Trois grandes phases successives peuvent être distinguées sur le massif de Quintin :

- la formation et l'évolution des produits d'altération situés sous les limons

- l'apport et le remaniement du limon rouge

- l'apport et le remaniement du limon jaune.

Dans cette évolution chronologique s'intercalent les arènes remaniées.

- la formation des profils d'altération fossiles.

Les minéraux argileux des arènes situées sous les limons rouges caractérisent une époque climatique ancienne tempérée humide, semblable au climat actuel.

- l'apport et le remaniement du limon rouge.

La raréfaction de la végétation, liée à une évolution climatique, a permis la formation d'un glacis d'érosion sur lequel certains cailloux ont été faiblement éolisés, tandis que le sommet des profils d'altération a subi un décapage. L'évolution en glacis d'accumulation s'est effectuée lorsque, pendant une période froide et aride avec une saison humide, l'apport éolien a supplanté l'érosion. C'est le dépôt de la fraction éolienne des limons rouges. L'augmentation de la pluviosité et l'alternance de gels et de dégels a déclenché les phénomènes périglaciaires qui ont entraîné un constant mélange des produits éoliens, des produits d'altération argileux sous-jacents et des graviers et cailloux. Toutefois un problème reste posé : les limons rouges ont toujours un très fort taux d'argile, supérieur à celui des arènes, et d'autre part, la nature des minéraux argileux ne reflète pas celle des arènes (notamment l'abondance de l'illite dans le limon). Plusieurs interprétations sont possibles : il y a eu migration puis évolution des argiles de l'arène dans le limon, ou altération de celui-ci avec production d'une fraction argileuse, ou apport éolien de particules argileuses. Il est difficile de trancher entre chacune de ces hypothèses.

Les limons rouges et l'arène ont alors subi une forte érosion, sans doute liée à un changement climatique, d'où la conservation des limons sous forme de lentilles dans les petites dépressions de l'arène.

- l'apport et le remaniement du limon jaune.

Sur la surface d'érosion, les blocs, graviers et cailloux ont été dégagés (figure 14 A) et certains d'entre eux éolisés lors d'un retour à une période climatique froide. La fraction éolienne du limon jaune, dont la taille moyenne des grains est un peu plus élevée que dans le limon rouge, a alors été apportée. Les phénomènes de remaniement, phénomènes périglaciaires telle la solifluction, dont une masse d'arène limoneuse dans la coupe QUI 1028-1033 est une des manifestations, ont alors mélangé apport éolien et substratum (limon rouge mais surtout arène). Le taux d'argile dans les limons jaunes ainsi mis en place est généralement faible, mais sa nature minéralogique, différente de celle des arènes, pose le même problème de l'origine de la fraction argileuse.

- la mise en place des arènes remaniées.

La position variée des arènes remaniées (dans les vallées, sur des pentes faibles, dans de petites dépressions) et leur indépendance vis-à-vis des limons pose le problème de leur origine et de leur mode de mise en place.

Il ne s'agit pas de produits de ruissellement sur les pentes car leur granulométrie n'est pas caractéristique d'un tri des particules, notamment grossières. Par contre, ces formations peuvent provenir de limons dont la partie limoneuse et argileuse aurait été lessivée : dans ce cas, la concentration en minéraux lourds devrait être importante et les minéraux argileux qui restent devraient porter l'empreinte de ceux des limons, notamment l'illite. Or il n'en est rien. D'autre part si cette hypothèse est plausible pour les coupes QUI 1100 et QUI 1200, elle devient peu probable dans la coupe QUI 1300 où l'évacuation du matériel lessivé serait difficile. Je proposerai donc pour les arènes remaniées une mise en place identique à celle des limons : ce sont des arènes solifluées (produit de l'héritage) auxquelles a été ajoutée une petite fraction éolienne.

- les remaniements actuels.

La concentration des limons en amont des talus, leur départ en aval (figure 14 B) et leur épaissement vers le bas des pentes (figure 23, limons indifférenciés) montrent qu'il y a une migration des particules sous le climat actuel, migration qui est accentuée par la déforestation et dont le facteur peut être le ruissellement diffus (TRICART et CAILLEUX, 1965) ou l'action anthropique.

B) LES FORMATIONS MEUBLES DU MASSIF DE BONNEMAIN : COUPE DE LA BOINDERIE.

Deux grandes périodes climatiques peuvent être mises en évidence sur ce massif. Dans un premier temps, l'altération du granite a été suivie d'une période d'érosion qui a entraîné un décapage superficiel des arènes marqué par la limite nette qui sépare le limon (ou les formations intermédiaires) de l'arène en place et par les petits fragments de granite qui existent parfois à cette limite. L'altération s'est effectuée sous des conditions climatiques semblables à celles qui ont entraîné l'arénisation du massif de Quintin et vraisemblablement à la même époque.

Sur l'arène, les formations remaniées se sont ensuite mises en place : d'abord les formations intermédiaires, ou arènes remaniées, puis les limons. Les premières sont caractérisées par l'apport de produits éoliens mélangés en petite quantité aux arènes. Ce mélange a sans doute été provoqué par des phénomènes périglaciaires car la répartition granulométrique des arènes remaniées est peu différente de celle des arènes en place notamment la fraction de sables grossiers. Ce remaniement a en outre associé les arènes dioritiques aux arènes granitiques (Bo 02).

Au-dessus des arènes remaniées les formations limoneuses jaunes se sont mises en place : il y a dans ces limons héritage et apport éolien. D'autre part ces formations ont subi un ruissellement car les

particules sableuses grossières sont peu nombreuses. Un problème se pose ici : y-a-t-il eu mélange de produits hérités et apportés concomitant au ruissellement ou antérieur à celui-ci ? Il est peu probable qu'une telle épaisseur de matériaux fins et relativement argileux se soit déposée au sommet d'un versant et que le ruissellement ait simultanément trié les particules héritées et intégré ces dernières à l'apport éolien. Par contre, si un remaniement s'est effectué dans un premier temps en amont de la position actuelle et selon le même schéma que sur le massif de Quintin, la reprise du matériau par un ruissellement diffus ou peu intense peut être envisagée. Dans ce cas, les limons situés près de la diorite, et donc riches en anatase, ont été les premiers ruisselés d'où la richesse en anatase à la base de la coupe Bo 0... située en contrebas.

Progressivement, les limons plus éloignés, reposant sur le granite altéré, ont été ruisselés ce qui explique la diminution verticale de l'anatase dans la coupe Bo 0... et son enrichissement en produits granitiques. D'autre part, le pourcentage pondéral de zircon de la fraction γ , ramené à l'échantillon total, montre qu'il y a enrichissement en zircon dans les limons par rapport à l'arène. Deux interprétations sont possibles : ou il y a eu apport massif de zircon par voie éolienne ou il y a eu lessivage d'une partie de la fraction limoneuse. Dans la coupe Bo 0... la concentration de la fraction sableuse du limon, surtout à sa partie supérieure, semble confirmer la seconde hypothèse.

V - L'AGE DES FORMATIONS.

L'étude des matériaux permet de définir les conditions climatiques qui sont à l'origine de leurs évolutions ou de leur mise en place. Il reste néanmoins à déterminer leur âge probable en se basant sur la succession des événements qui se sont produits au Quaternaire. Les études récentes de GIOT et MONNIER (1972), de MONNIER (1973) et de MORZADEC-KERFOURN (1973) montrent la difficulté qu'il y a à corréliser les formations et à placer les grandes coupures connues. Les produits que j'ai étudiés s'intercalent dans les périodes glaciaires et les interglaciaires sans faire intervenir les interstades en raison des décapages intenses qui ont existé avant chaque dépôt éolien. Les conclusions sont résumées dans le tableau 20.

Ainsi, les limons les plus récents (limons jaunes de Quintin et de Bonnemain) se sont sans doute mis en place pendant la dernière période glaciaire : le Würm (Weichsel), d'autant plus que la chlorite semble être un marqueur des formations ramenées à cette phase (MELOU, 1968 ; GUILLAUME-BRUNO, 1972). Le limon rouge de Quintin aurait alors un âge Riss (Saale).

Quant aux arènes, lorsqu'elles sont recouvertes par les limons rouges, il est possible de leur attribuer un âge Anté-Riss et lorsque les limons jaunes sont seuls présents, aucun argument ne permet de dire si elles sont Anté-Würm ou plus anciennes. A fortiori, lorsqu'elles affleurent, aucune limite supérieure ne peut être fixée. La limite inférieure de l'arénisation est tout aussi délicate à établir, et il est bien connu actuellement que les climats du Fliocène étaient plus chauds que l'actuel et humides (SITTLER, 1965 ; ESTEOULE-CHOUX, 1967) et donc favorables à une arénisation. Ainsi, sur le massif de St-Brolade, des arènes scellées sous des dépôts rapportés au Fliocène (FELHATE, 1956) seraient un témoin de l'action de climats anciens. Toutefois une évolution semblable a pu se produire pendant les phases tempérées du Quaternaire. C'est l'hypothèse de SEDDOH (1973) qui donne un âge Riss-Würm à des arènes au moins aussi évoluées que celles situées sous les limons rouges. ICOLE (1973) a d'ailleurs mis en évidence la rapide désagrégation de galets granitiques pendant les climats quaternaires récents (Riss, Würm et actuel).

En conclusion, définir l'âge de l'altération ménagée qui a affecté les granites de Bonnemain et de Quintin s'avère délicat, d'autant plus qu'un profil complet n'a jamais pu être observé, la partie supérieure des produits arénisés ayant toujours été décapée avant l'apport éolien. Seules des limites d'âge peuvent être précisées : l'arénisation observée a pu débiter au Pliocène ou plus tardivement, mais elle s'est poursuivie à chaque phase interglaciaire, la période actuelle étant également favorable, aussi bien en surface que sous les limons où le lessivage peut être actif.

Climat	Age	Massif de Bonnemain	Massif de Quintin
Tempéré humide	Actuel	ruissellement diffus et action anthropique	ruissellement diffus et action anthropique
Climat périglaciaire	Würm	- apport éolien - phénomènes périglaciaires - ruissellement FORMATIONS REMANIEES DE LA BOINDERIE.	- apport éolien - phénomènes périglaciaires LIMONS JAUNES ET ARENES REMANIEES.
Tempéré	Riss- Würm	érosion : décapage pédogénèse ?	érosion : décapage intense pédogénèse probable
Climat périglaciaire	Riss	?	- apport éolien - phénomènes périglaciaires LIMONS ROUGES
Tempéré humide	Anté-Riss : - Mindel-Riss ? - Fliocène	arénisation	érosion : décapage de la partie superficielle des arènes arénisation

Tableau 20 : Essai de chronologie.

CONCLUSION

L'observation sur le terrain et l'étude au laboratoire ont permis d'une part, de distinguer deux grands groupes à l'intérieur des formations meubles situées sur les massifs granitiques de Bonnemain et de Quintin : les produits d'altération (les arènes) et les formations remaniées (limons et arènes remaniées), d'autre part, de mettre en évidence les relations qui existent entre elles.

Les arènes granodioritiques, dioritiques et granitiques sont les produits d'une altération ménagée et différentielle car aucun minéral n'est entièrement détruit mais chacun évolue différemment, les micas et les feldspaths étant les plus affectés. Cette altération est fonction de la nature de la roche-mère, les minéraux argileux variant nettement selon celle-ci, toutefois l'association fréquente de vermiculite et de kaolinite caractérise des transformations effectuées sous un (ou des) climat ancien tempéré humide (pendant les interglaciaires) car certaines arènes (souvent les plus évoluées) sont situées sous des formations quaternaires limoneuses.

Les formations remaniées, divisées en deux groupes (limons et arènes remaniées), sont toutes caractérisées par le mélange de produits hérités du substrat local altéré (les arènes) et de matériaux d'origine éolienne. L'héritage est mis en évidence : par la nature et aussi la granulométrie de leurs fractions sableuses (quartz, feldspath et mica), par certains de leurs minéraux lourds (zircon, tourmaline, anatase, silicates de métamorphisme et parfois amphibole) et parfois par certains minéraux argileux (édifices interstratifiés et montmorillonite en traces). L'apport éolien concerne particulièrement la fraction limoneuse et les amphiboles, la première ayant pour origine vraisemblable d'anciens limons ou de fins produits d'altération, tandis que les secondes proviennent,

soit de filons de diabase qui recourent le massif et les formations encaissantes (cas de Bonnemain), soit de filons et (ou) de roches amphiboliques situées à la périphérie du massif (cas de Quintin).

Les produits éoliens déposés sur des surfaces d'érosion ont ensuite été abondamment mélangés aux formations sous-jacentes (et notamment aux arènes) par des phénomènes périglaciaires auxquels s'est parfois superposé un ruissellement (coupe de la Boinderie). Les matériaux ainsi remaniés, dont l'origine est double, allochtone et autochtone, constituent les formations observables aujourd'hui.

Sur le massif de Quintin, deux phases de mise en place se sont succédées : au Riss s'installent des limons rouges sur les arènes argileuses, tandis qu'au Würm, après une importante phase d'érosion, les limons jaunes recouvrent les précédents et les arènes ainsi dégagées, certaines d'entre elles étant l'objet de remaniement. Ces dernières apparaissent génétiquement identiques aux limons, les proportions d'arène reprise et de produits éoliens étant inversées.

Dans la coupe de la Boinderie (massif de Bonnemain), un seul ensemble Würm existe : au remaniement des arènes et sans doute de l'apport éolien par des phénomènes périglaciaires (mise en place des arènes remaniées) succède un ruissellement qui a affecté les limons observés.

Les corrélations qui existent entre les formations meubles permettent, d'une part, de montrer les ressemblances génétiques qui existent entre les arènes remaniées et les limons, et d'autre part de retenir une hypothèse de mise en place des matériaux remaniés. Toutefois un problème reste posé : le fort pourcentage d'argile dans les limons ne peut s'expliquer par une simple association d'arène et de produits éoliens, sauf si ces argiles ont une origine éolienne ou si le limon a été fortement altéré après sa mise en place.

BIBLIOGRAPHIE

- BARROIS C. (1893) : Légende de la carte géologique de France au 1/80.000, (feuille de Dinan).
- BARROIS C. (1896) : Bulletin des services de la carte géologique de la France et des topographies souterraines. Feuille de St-Brieuc, 1895-1896, Paris, p. 35-40.
- BARROIS C. (1897) : L'extension du limon quaternaire en Bretagne. A. S. G. N., XXVI, p. 33-44.
- BARSHAD I. (1966) : The effect of a variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soils from acid and basic igneous rocks. Proceeding of the international clay conference, I, Jerusalem, Israel, p. 167-173.
- BERTHOIS L. (1935) : Recherches sur les minéraux lourds de la partie orientale du Massif Armoricaïn. Mémoires S. G. M. B., II, 190p.
- BERTHOIS L. (1937) : Contribution à l'étude des limons de Bretagne, B. S. S. B., XIV, 1 et 2, p. 53-62.
- BERTHOIS L. et MILON Y. (1932) : Note préliminaire sur l'origine des limons quaternaires du Finistère, c. r. s. S. G. F., p. 53-55.
- BIROT P. (1947) : Résultats de quelques expériences sur la désagrégation des roches cristallines. C. R. A. S. France, 225, p. 745-747.
- BIROT P. (1953) : Désintégration des roches cristallines sous l'action des sels. C. R. A. S. France, 237, p. 1739-1740.
- BIROT P. (1954) : Désagrégation des roches cristallines sous l'action des sels. C. R. A. S. France, 238, p. 1145-1146.
- CAILLERE S. et HENIN S. (1963) : Minéralogie des argiles. Masson, Paris 355p.
- CAILLEUX A. (1938) : Galets façonnés par le vent au Quaternaire dans le Sud de la Bretagne. C. R. A. S. France, 206, p. 1743-1744.
- CAILLEUX A. (1938) : Actions éoliennes quaternaires en France et notamment dans le Massif Armoricaïn. Bull. S. G. M. B., p. 42-48.

- CAMEZ T., FRANC de FERRIERE F. J. J., LUCAS J. et MILLOT G. (1960) :
 Sur l'importance de la vermiculite dans certains sols tempérés
 et dans les dépôts du Quaternaire ancien. C. R. A. S., 250,
 p. 3038-3041.
- CAMEZ T. (1962) : Etude sur l'évolution des minéraux argileux dans les
 sols des régions tempérées. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.,
 Strasbourg, 20, 90 p.
- COGNE J. (1962) : Le Briovérien du Massif Armoricaïn. Esquisse des
 caractères stratigraphiques, métamorphiques, structuraux et
 paléogéographiques de l'Antécambrien récent dans le Massif
 Armoricaïn. B. S. G. F., 7, IV, p. 413-430.
- COLIN L. (1913) : Evolutions de la côte Nord du Finistère pendant l'époque
 quaternaire. Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France, 3ème
 série, III, p. 18-24.
- COLLIER D. (1961) : Mise au point sur les processus de l'altération des
 granites en pays tempéré. Ann. Agr., 12, 3, p. 273-331.
- Colloque sur les limons du Bassin de Paris (1969). Commission de
 terminologie des limons. Mém. h. série S. G. F., 5, p. 123-137.
- DEJOU J., GUYOT J., CHAUMONT C. (1972) : Examen de l'altération
 superficielle des diorites dans les régions tempérées humides.
 Exemples choisis dans le Limousin. Sci. Géol., 25, 4,
 Strasbourg, p. 259-286.
- DIDIER J. et LAMEYRE J. (1969) : Interprétation du gisement et des
 enclaves des roches granitiques dans le Massif Central français.
 C. R. A. S. Paris, 268, p. 1468-1469.
- DIDIER J. et LAMEYRE J. (1969) : Association de granites et de diorites
 quartziques au Feyron, près de Burzet (Ardèche, Massif Central
 français). C. R. A. S., Paris, 268, p. 1368-1371.
- DOEGLAS D. J. (1946) : Interpretation of the results of mechanical analysis.
 Journal of sedimentary petrology, 16, p. 19-40.
- DUCHAUFOR F. (1960) : Précis de pédologie. Masson, Paris, 438 p.
- DUPLAIX S. (1948) : Détermination microscopique des minéraux des sables.
 Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liège, 79 p.
- ESTEOULE-CHOUX J. (1967) : Contribution à l'étude des argiles du Massif
 Armoricaïn. Argiles des altérations et argiles des bassins
 sédimentaires tertiaires. Thèse, Rennes, 319 p.

- ESTEOULE J., GUYADER J. et TCUFFET J. (1971) : Les sols de la Forêt de Villecartier. Bull. A. F. E. S., 2, p. 29-46.
- ESTEOULE J., ESTECULE-CHOUX J. et FERRET F. (1971) : Constitution minéralogique et origine des limons de la côte Nord-Est de la Bretagne. C. R. A. S. Paris, 273, p. 1355-1358.
- ESTEOULE J., ESTEOULE-CHOUX J. et FERRET F. (1972) : Etude des formations superficielles du Massif Armoricaïn : caractères distinctifs et passage des altérites et des dépôts tertiaires aux formations quaternaires. Bull. S. G. M. B., Rennes, C, IV, 2, p. 97-106.
- EVANS P. (1971) : Towards a Pleistocene time-scale p. 123-356. Part 2, in : The Phanerozoic time-scale a supplement. London (Geological Society), spécial publication n° 5.
- GABIS V. (1963) : Etude minéralogique et géochimique de la série sédimentaire oligocène du Velay. Bull. S. F. M. C., LXXXVI, 4, p. 315-354.
- GIOT P. R., MONNIER J. L. (1972) : Chronologie relative des plages anciennes, des industries, des limons et des sols fossiles associés du Nord de la Bretagne. C. R. A. S. Paris, 274, p. 2288-2290.
- GRAINDOR M. J. (1970) : Légende de la carte géologique de France au 1/80.000, (feuille d'Avranches, 3ème édition).
- GUILCHER A., GIOT P. R. et al (1969) : Livret-guide de l'excursion C 16 Bretagne-Anjou. Union internationale pour l'étude du Quaternaire, VIII e congrès, I. N. O. U. A., Paris, 79 p.
- GUILLAUME-BRUNO S. (1972) : Le Flio-Quaternaire des Côtes du Morbihan. Etude sédimentologique et stratigraphique. Thèse 3ème cycle, Paris-Sud, Orsay, 121 p.
- ICOLE M. (1973) : Géochimie des altérations dans les nappes d'alluvions du piémont occidental nord-pyrénéen. Essai de Paléopédologie quaternaire. Thèse, Paris VI, 328 p.
- JONIN M. (1969) : Etude pétrographique du massif granitique de Bonnemain (35). Thèse 3ème cycle, Clermont-Ferrand, 83 p.
- KRYNINE F. D. (1946) : The tourmaline group in sediments. Journal of Geology, LIV, 2, p. 65-87.

- MELOU M. (1968) : Contribution à l'étude sédimentologique du Quaternaire Sud- Finistérien. L'anse de Traz-Rouz et la ria de l'Odet. Thèse 3ème cycle, Paris, Orsay, 81 p.
- MILLOT G. (1964):Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.
- MILON Y. et DANGEARD L. (1928) : Sur l'importance des phénomènes de solifluxion en Bretagne pendant le Quaternaire. C. R. A. S. Paris, 187, p. 136-138.
- MILON Y. et BERTHOIS L. (1930) : Etude préliminaire des formations quaternaires de Brignogan (Finistère) c. r. s. S. G. F., p. 216-218.
- MONNIER J. L. (1973) : Contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la région de St-Brieuc. Stratigraphie et sédimentologie des limons, des plages et des sols anciens. Thèse 3ème cycle, Rennes, 101 + 158 p.
- MORIN F. (1931) : Le golfe Normano-Breton. Ann. de Géographie, 223, p. 4.
- MORZADEC-KERFOURN M. T. (1973) : Variations de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire. Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux. Thèse, Rennes, 208 p.
- PARFENOFF A., POMEROL C., TOURENO J. (1970) : Les minéraux en grains : méthodes d'étude et détermination. Masson, Paris, 575 p.
- PEDRO G. (1964) : Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse, Paris, 344p.
- PELHATE A. (1956) : Contribution à l'étude des dépôts littoraux du Golfe Normano-Breton. Mém. Soc. Géol. et Archéo. Bretagne, XI, p. 221-289.
- FLIHON G. (1971) : Rapport de D. E. A., Institut de Géologie, Rennes, 28 p.
- REYNAUD J. (1848) : Mémoire sur les embouchures de la rivière de Pontrieux. C. R. A. S., Paris, p. 218.
- ROBERT M. (1970) : Etude expérimentale de la désagrégation du granite et de l'évolution des micas. Thèse, Paris, 194 p.
- RONDEAU A. (1958) : Les "boules" de granite. Z. für. Géomorphologie, 2, p. 210-229.
- SELDOH F. K. (1968) : Les granites du Massif de Luzy, Morvan méridional. Pétrographie - Altérations. Thèse 3ème cycle, Dijon, 138 p.

- SEDDOK F. K. (1973) : Altération des roches cristallines du Morvan (granites, granophyres, rhyolites). Etude minéralogique, géochimique et micromorphologique. Thèse, mém. Géologiques Univers. Dijon, 1, 377 p.
- SITTLER C. (1965) : Le Paléogène des fossés Rhénan et Rhodanien. Etudes sédimentologiques et paléoclimatiques. Mém. Serv. Carte géologique Als. Lorr., 24, 392 p.
- TARDY Y. (1969) : Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mém. Serv. Carte Géologique Als. Lorr., Strasbourg, 31, 199 p.
- TRICART J. et CAILLEUX A. (1965) : Traité de géomorphologie. Tome I : Introduction à la géomorphologie climatique. Sédes, Paris, 306 p.
- VATAN A. (1967) : Manuel de Sédimentologie. Ed. Techniq. , 397 p.
- VELDE D. (1970) : Les filons doléritiques du Nord de la Bretagne. Bull. S. G. F., XII, 5, p. 843-855.

LISTE DES ABREVIATIONS

A. F. E. S. : Association Française pour l'étude des sols.

Ann. Agr. : Annales agronomiques (I. N. R. A., Paris).

A. S. G. N. : Annales de la Société Géologique du Nord (Lille).

B. S. S. B. : Bulletin de la société scientifique de Bretagne (Rennes).

C. R. A. S. : Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences (Paris).

Serv. Carte Géol. Als. Lorr., nouvellement Sci. Géol. : Service de la
carte géologique d'Alsace et de Lorraine, nouvellement Sciences
Géologiques (Strasbourg).

S. F. M. C. : Société française de minéralogie et de cristallographie (Paris).

S. G. M. B. : Société géologique et minéralogique de Bretagne (Rennes).

S. G. F. : Société géologique de France (Paris).

(c. r. s. : comptes-rendus sommaires).

TABLE DES MATIERES

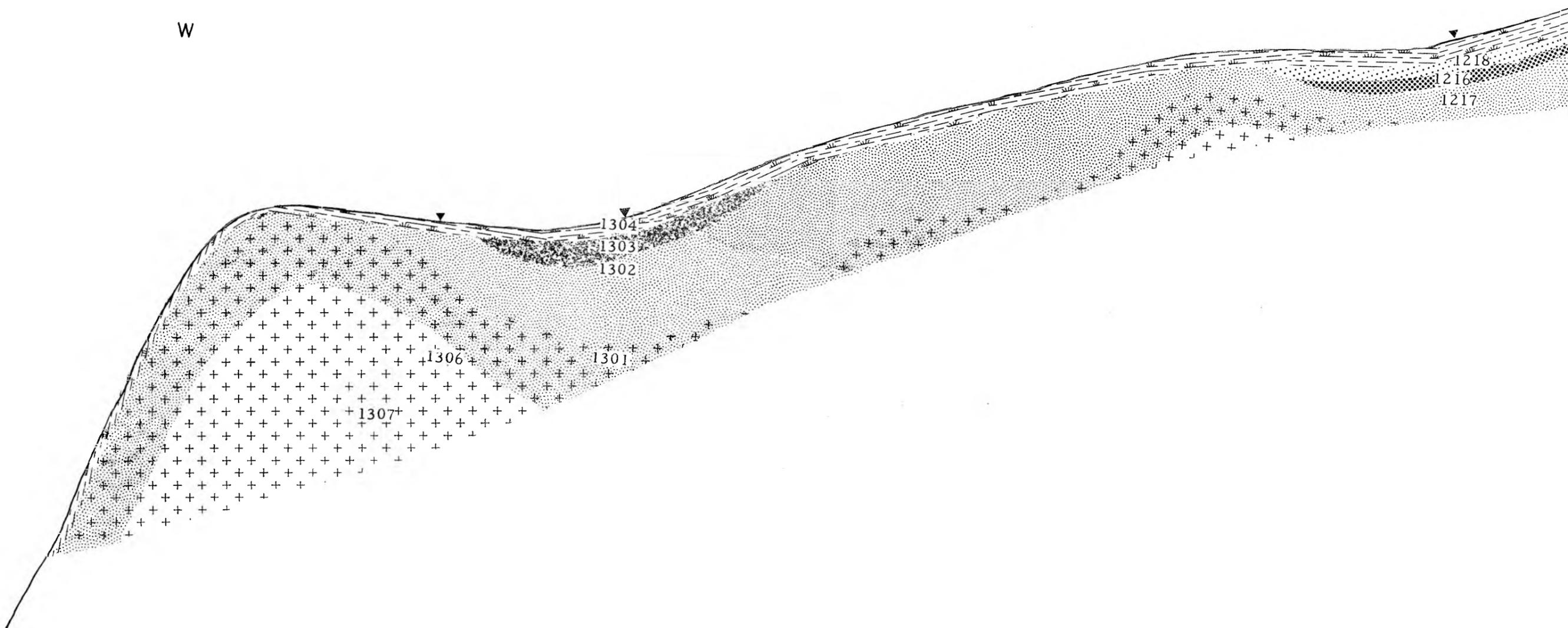
<u>Introduction</u>	p. 1
<u>Première partie : Les méthodes d'étude.</u>	3
I - échantillonnage et numérotage des échantillons	4
II - les méthodes d'étude	4
1 - étude des échantillons compacts	4
2 - étude des roches meubles	5
a) étude granulométrique	5
b) étude minéralogique	7
<u>Deuxième partie : Les Faits.</u>	
<u>CHAPITRE I : LE MASSIF GRANODIORITIQUE DE BONNEMAIN ET SES FORMATIONS SUPERFICIELLES</u>	10
I - pétrographie du granite et des roches associées	12
1 - pétrographie du granite	12
2 - les enclaves	13
3 - le cortège filonien	14
4 - la différenciation dioritique de la Boinderie	14
5 - les premières transformations minéralogiques	14
II - les affleurements et les coupes étudiées	16
A - La carrière de la Higourdais	16
1 - description	16
2 - granulométrie des formations meubles	18

3 - minéralogie	p. 20
4 - résumé	22
B - La coupe de la Boinderie (Bo) : arènes, limons et formations intermédiaires	22
1 - description	22
2 - granulométrie des formations meubles	25
3 - minéralogie	32
a) les fractions sableuses grossières	32
b) les minéraux lourds	32
c) la fraction argileuse	38
4 - résumé	40
C - Les autres coupes	42
1 - les coupes des Rieux, de la Villorien et de la Labourais	42
2 - la coupe de la Finderie	45
D - Conclusion	
 <u>CHAPITRE II : LE MASSIF GRANITIQUE DE QUINTIN ET SES FORMATIONS SUPERFICIELLES.</u>	48
 I - pétrographie du granite et des roches associées	50
1 - pétrographie du granite	50
2 - pétrographie des enclaves	51
3 - les différenciations de bordure : les cornéennes	51
4 - les lambeaux de roches métamorphiques	51
5 - les filons et filonnets	52
6 - la zone de cémentation	52
 II - les affleurements et les coupes étudiées	54
 A - <u>La coupe QUI 1000 : arènes, limons rouges et limons jaunes</u>	54
1 - description	54

2 - granulométrie	p. 56
3 - minéralogie	61
a) les fractions sableuses	61
b) les minéraux lourds	63
c) la fraction argileuse	65
4 - résumé	68
B - <u>La coupe QUI 1100 : arènes et formation sableuse A.</u>	68
1 - description	68
2 - granulométrie	70
3 - minéralogie	70
C - <u>Les coupes QUI 1200 et QUI 1300 : arènes, formations limoneuses rouges et jaunes, formations sableuses B et C.</u>	72
1 - description	72
2 - granulométrie	74
3 - minéralogie	78
a) les fractions sableuses grossières	78
b) les minéraux lourds	81
c) la fraction argileuse	82
4 - résumé	85
D - <u>La coupe QUI 1400 : arène, limon jaune, limon de pente indifférencié et formation sableuse D.</u>	87
1 - description	87
2 - granulométrie	87
3 - minéralogie	89
4 - résumé	90
E - <u>Affleurements et coupe QUI 1600 : arène, limons rouges et jaunes, diabase</u>	90
1 - description	90
2 - granulométrie	92
3 - minéralogie	93
4 - résumé	95
F - <u>Affleurements et coupe QUI 1800 : arène, limon jaune et formation sableuse E.</u>	98

III - Conclusion : caractères généraux des formations étudiées sur le massif de Quintin	p. 98
<u>Troisième partie : Interprétations et conclusions</u>	105
Introduction	106
I - caractéristiques générales des formations étudiées	109
A - les formations d'altération : les arènes	109
B - les formations remaniées :	111
- les limons	111
- les arènes remaniées (formations sableuses)	112
II - l'héritage dans les formations remaniées	114
III - l'apport extérieur dans les formations remaniées	116
IV - mise en place et évolution des formations : mélange de l'apport éolien et des produits hérités	117
A - les formations meubles du massif de Quintin	119
B - les formations meubles du massif de Bonnemain : coupe de la Boinderie	121
V - l'âge des formations	123
Conclusion	127
Bibliographie	129

W



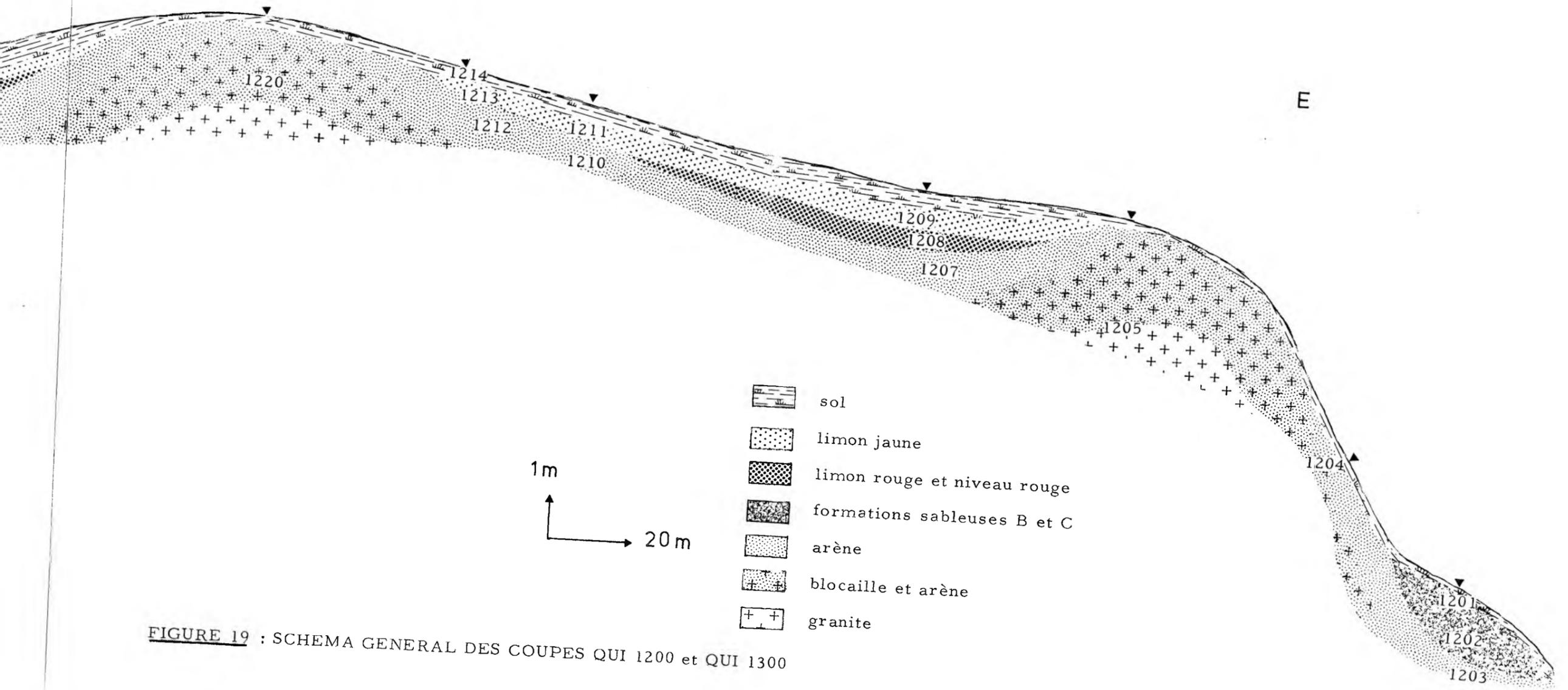


FIGURE 19 : SCHEMA GENERAL DES COUPES QUI 1200 et QUI 1300

