

UNIVERSITE de NANCY I  
Laboratoire de Géologie  
des Ensembles Sédimentaires

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE  
de LORRAINE  
E.N.S. de Géologie

Rapport de Diplôme d'Etudes Approfondies  
Matières Premières, Pétrologie et Géochimie

---

LE QUARTZ, INDICATEUR DE MILIEU DE SEDIMENTATION

Aspect méthodologique et évolution spatio-temporelle  
dans le cas du Lias lorrain

Rapport de Stage  
par  
Marie Joseph NIDA

Septembre 1989

UNIVERSITE de NANCY I  
Laboratoire de Géologie  
des Ensembles Sédimentaires

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE  
de LORRAINE  
E.N.S. de Géologie

Rapport de Diplôme d'Etudes Approfondies  
Matières Premières, Pétrologie et Géochimie

---

LE QUARTZ, INDICATEUR DE MILIEU DE SEDIMENTATION

Aspect méthodologique et évolution spatio-temporelle  
dans le cas du Lias lorrain

Rapport de Stage  
par  
Marie Joseph NIDA

Septembre 1989

## PREFACE

Cette étude a été réalisée au Laboratoire de Géologie des Ensembles sédimentaires de l'Université de Nancy I, dirigé par Monsieur le Professeur J. Clermonté qui a bien voulu m'accueillir. Ce travail a été réalisé sous la direction scientifique de Mademoiselle M. Hanzo. Il a bénéficié de la collaboration de Monsieur G. Even, responsable <sup>du labo.</sup> des analyses de diffraction, avec qui les discussions ont été fructueuses et de Monsieur le Professeur X. Déglise, responsable du Laboratoire de photochimie appliquée.

Nous tenons à remercier Monsieur B. Solastiouk qui nous a aidé à réaliser les analyses aux infrarouges et Madame N. Saltzar qui a réalisé les analyses aux rayons-X pour nous. Nous remercions également Madame A. Marchal pour son aide.

## SOMMAIRE

|  | pages |
|--|-------|
| INTRODUCTION   | 1     |
| PREMIERE PARTIE  |       |
| PRESENTATION DU CONTEXTE GEOLOGIQUE  | 3     |
| I - DESCRIPTION DES FORMATIONS DU LIAS                                       | 3     |
| A - DANS LES SONDAGES DE CATTENOM  | 3     |
| Les Argiles de Levallois (Rhétien supérieur)                                 | 3     |
| Le Calcaire à Gryphées (Lias inférieur : Hettangien et Sinémurien inférieur) | 3     |
| Les Argiles à Promicroceras (Lias inférieur : Lotharingien)                  | 4     |
| Le Calcaire ocreux (sommet du Lias inférieur : Lotharingien)                 | 4     |
| Les Marnes à Numismalis ( base du Lias moyen : Carixien)                     | 4     |
| Le Calcaire à Davoei (Lias moyen : Carixien)                                 | 4     |
| Les Marnes à Amalthées (sommet du Lias moyen : Domérien)                     | 6     |
| B - DANS LE SONDAGE DE TRANQUEVILLE  | 6     |
| Le Grès médioliasique (Domérien supérieur)                                   | 6     |
| Les Schistes carton (Toarcien inférieur)                                     | 6     |
| Les Marnes à Bifrons (Toarcien moyen)  | 6     |
| Les Couches à Crassum (Toarcien moyen)                                       | 6     |
| Les Marnes à Voltzi (Toarcien supérieur)                                     | 8     |
| Le Grès supraliasique (Toarcien supérieur)                                   | 8     |
| La Minette (Toarcien supérieur)  | 8     |
| C - DANS LES AUTRES COUPES   | 8     |
| Les Schistes carton de Bettembourg   | 8     |
| Le Calcaire à Gryphées de Mazerulles   | 8     |
| Les Marnes à Amalthées de Heillecourt  | 10    |
| II - CONCLUSION  | 10    |
| DEUXIEME PARTIE  |       |
| ANALYSE QUANTITATIVE DU QUARTZ   | 11    |
| I - OBJECTIF   | 11    |
| II - ANALYSE PAR DIFFRACTION DES RAYONS-X                                    | 11    |
| A - PRINCIPE DE L'ANALYSE  | 11    |
| B - METHODE D'ANALYSE  | 11    |
| 1 - Courbe d'étalonnage  | 12    |
| 2 - Analyse des échantillons   | 13    |

|  |    |
|--|----|
| III - ANALYSE PAR SPECTROMETRIE INFRAROUGE   | 13 |
| A - PRINCIPE DE L'analyse  | 13 |
| B - METHODE D'ANALYSE  | 14 |
| 1 - Courbe d'étalonnage  | 14 |
| 2 - Analyse des échantillons   | 15 |
| IV - OBSERVATION DES LAMES MINCES  | 15 |
| V - RESULTATS  | 16 |
| VI - CONCLUSION  | 16 |
| TROISIEME PARTIE   |    |
| EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU QUARTZ  |    |
| I - EVOLUTION DU QUARTZ DANS LE TEMPS  | 18 |
| A - Zone de transition - Calcaire à Gryphées -<br>Argiles à <i>Promicroceras proparte</i>  | 18 |
| B - Argiles à <i>Promicroceras proparte</i> - Calcaire ocreux<br>Marnes à <i>Numismalis</i> - Calcaire à Davoei - Marnes à<br>Amalthées <i>proparte</i> - Grès médioliasique | 18 |
| C - Schistes carton - Marnes à Bifrons - Couches à<br>Crassum - Grès supraliasique - Minette   | 21 |
| D - Conclusion   | 23 |
| II- EVOLUTION SPATIALE DU QUARTZ   | 23 |
| III - ESSAI DE SYNTHESE  | 25 |
| Evolution de la phase argileuse  | 25 |
| Evolution de la phase carbonatée   | 27 |
| Evolution du carbone organique   | 27 |
| Evolution de la faune  | 27 |
| La microfaune  | 27 |
| La macro-faune   | 28 |
| IV - CONCLUSION  | 28 |
| CONCLUSION GENERALE  |    |
| BIBLIOGRAPHIE  |    |
|  | 28 |
|  | 29 |

## INTRODUCTION

Les analyses lithostratigraphiques et paléontologiques du Lias du Bassin de Paris, et plus précisément de la Lorraine, ont débuté avec J. Levallois, 1862 (*in* Alloué, 1977). Plus tard, ces analyses furent complétées par W. Klüpfel (1917-1918), et P. L. Maubeuge (1945, 1955 et 1961) entre autres. Depuis, ces études n'ont cessé de progresser, grâce aux travaux des géologues pétroliers dès 1960. Plus récemment, des études d'ordre pétrographique (lames minces, minéralogie des argiles, et calcimétrie) et biostratigraphique ont été réalisées en Lorraine par les universitaires de Nancy.

C'est dans le but d'apporter une contribution complémentaire aux travaux entrepris par ces auteurs que nous avons dosé le quartz des formations du Lias. Les sondages de Cattenom et de Tranqueville ont été retenus pour deux raisons:

1 - leur situation géographique (fig. 1). En effet, les sondages de Cattenom sont situés en Lorraine du Nord, tandis que le sondage de Tranqueville est situé à limite entre Lorraine centrale et Lorraine du Sud.

2 - leur situation stratigraphique. En effet, les sondages de ces deux régions recoupent des formations qui, en se superposant, forment une coupe presque complète du Lias.

Deux méthodes analytiques ont été appliquées pour doser le quartz de 45 échantillons. Ce sont la diffraction des rayons-X et la spectroscopie d'absorption infrarouge. Les résultats obtenus ont permis de comparer les deux méthodes d'analyse. Une étude granulométrique du quartz à partir des lames minces a été également réalisée, mais seulement sur 34 échantillons.

Pour compléter cette étude, du moins partiellement, 6 échantillons provenant des coupes de Bettembourg (Lorraine du Nord), de Mazerulles et de Heillecourt (Lorraine centrale) ont été analysés, afin de déduire l'évolution spatio-temporelle du quartz, objectif principal du rapport. Les analyses effectuées lors d'études antérieures ont contribué à l'interprétation des variations de teneur en quartz.



Fig. 1. - Situation des différents sondages et coupes de Lorraine étudiés pour le dosage du quartz (extrait de M. Hanzo et J. Espitalié, en cours).

☆ affleurement

★ sondage

PREMIERE PARTIE  
PRESENTATION DU CONTEXTE GEOLOGIQUE

I - DESCRIPTION DES DIFFERENTES FORMATIONS DU LIAS.

A - DANS LES SONDAGES DE CATTENOM

Cattenom est situé à une ~~100aine~~ de km au Nord de Metz (fig. 1). Dans cette région, trois sondages se superposent sur 180 m de puissance, du sommet des Argiles de Levallois (Rhétien) aux Marnes à Amalthées (Domérien). Ces sondages (fig. 2) recoupent le Lias inférieur et moyen, et sont représentés, de bas en haut, par les faciès suivants (Hanzo et Guérin-Franiatte, 1985).

*Les Argiles de Levallois (Rhétien supérieur) sur 4,10 m*

Ces argilites rouges, à illite dominante, puis kaolinite, montmorillonite et chlorite, contiennent environ 7% de calcite. Elles passent progressivement vers le haut à des argilites grises feuilletées de composition minéralogique voisine (seul le rapport chlorite/montmorillonite s'inverse). Ces argilites grises constituent une zone de transition de 0,90 m d'épaisseur vers le Calcaire à Gryphées. Le quartz y est présent en très faible proportion.

*Le Calcaire à Gryphées (Lias inférieur : Hettangien et Sinémurien inférieur) : 60 m*

Dans cette formation s'intercale localement le Grès d'Hettange.

Le Calcaire à Gryphées inférieur (sous le Grès d'Hettange).

Il est surtout constitué d'argilites calcaires (20 à 5% de  $\text{CaCO}_3$ ), silteuses et micacées, à illite dominante, puis kaolinite, chlorite et montmorillonite. Vers le sommet, on observe une prédominance progressive de la chlorite sur la montmorillonite. Le quartz, assez abondant à la base, augmente progressivement vers le sommet. De nombreuses ammonites ont été récoltées et, à la base, quelques lamellibranches. Les foraminifères apparaissent à la base et augmentent progressivement. La flore, abondante, est riche en spores et pollens.

Le Grès d'Hettange.

Le passage au grès se fait progressivement sur 1,40 m, par l'intermédiaire d'une siltite calcaire. Le grès est à ciment calcaire et les grains de quartz sont anguleux, bien classés et très abondants. Une argilite gréseuse et grumelleuse lui succède avec à peine 5% de  $\text{CaCO}_3$  et le même cortège argileux que précédemment, avec néanmoins une prédominance de la montmorillonite sur la chlorite. Cet ensemble se termine par 0,50 m d'argilites couronnées par une surface durcie couverte de coquilles de lamellibranches. Aucune autre faune n'a été recueillie.

Le Calcaire à Gryphées supérieur (au-dessus du Grès d'Hettange).

On y observe des faciès plus calcaires (11% à 56 % de  $\text{CaCO}_3$ ) que dans les formations précédentes. Cette formation est constituée d'argilites, de marnes lisses ou rugueuses et de calcaires argileux à texture généralement wackestone, packstone parfois, et quelquefois lumachelliques, à bioturbation fréquente, parfois intense. L'illite, toujours prédominante, est suivie de la kaolinite et de la chlorite. La montmorillonite, présente à la base, disparaît progressivement. Les bioclastes de lamellibranches sont abondants, les ammonites et les foraminifères, nombreux vers le sommet. L'étude palynologique (Hanzo *et al.*, pré-print) indique également une abondance de spores et de pollens.

**Les Argiles à *Promicroceras* (Lias inférieur : Lotharingien)**  
: 52 m

Ce sont des argilites plus ou moins lisses, souvent calcaires et micacées, renfermant des nodules phosphatés et carbonatés. En plus de l'illite et la kaolinite, la montmorillonite réapparaît au détriment de la chlorite et augmente vers le sommet. Le quartz est présent en proportion variable. La teneur en  $\text{CaCO}_3$  varie de 3 à 30 %, et les plus fortes valeurs sont observées à la base et au sommet de la formation. La faune est constituée d'ammonites concentrées à la base et au sommet, tandis que des bioclastes de lamellibranches millimétriques sont relativement abondants dans toute la formation. La flore est surtout riche en pollens.

**Le Calcaire ocreux (sommet du Lias inférieur : Lotharingien)**  
: 3,50 m

Cette formation, riche en carbonate (20 à 31% de  $\text{CaCO}_3$ ), est constituée d'un cortège argileux dans lequel prédomine l'illite, sur la kaolinite, la chlorite et la montmorillonite. Les grains de quartz, anguleux et mal classés, sont peu abondants. La faune est riche en rostrés de bélemnites et en coquilles de lamellibranches.

**Les Marnes à *Numismalis* (base du Lias moyen : Carixien)**  
: 7,50 m

Ce sont des argilites calcaires ou des marnes avec une teneur assez élevée en carbonate (24 à 40% de  $\text{CaCO}_3$ ). La phase argileuse contient l'illite, la kaolinite la chlorite et la montmorillonite. La teneur en quartz est peu élevée. La faune, quant à elle, est constituée de bioclastes de lamellibranches, d'ammonites, tandis que les rostrés de bélemnites peuplent le sommet de la formation.

**Le Calcaire à *Davoei* (Lias moyen : Carixien) : 3 m**

Il est représenté par des marnes ou des calcaires bioclastiques de texture wackestone, à allure lumachellique. Les données de la calcimétrie montrent des teneurs en calcite variant de 39 à 50%. La montmorillonite est absente, tandis que l'illite prédomine sur la kaolinite et la chlorite. Le quartz est toujours présent et la faune est riche en rostrés de bélemnites et en ammonites.

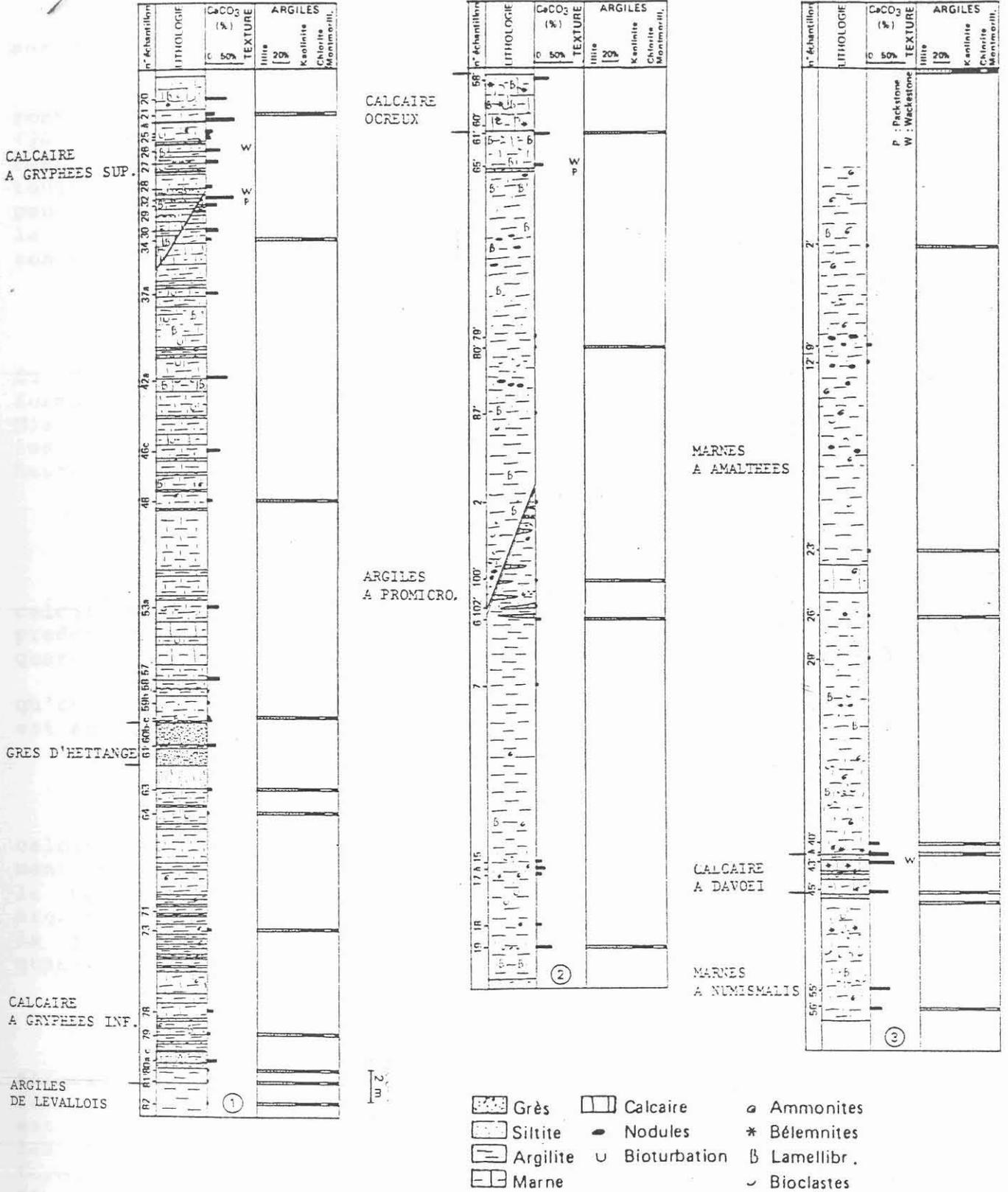


Fig. 2. - Coupe stratigraphique et lithologique du Lias de Cattenom (in M. Hanzo et S. Guérin-Franiette, 1985).

*Les Marnes à Amalthées (sommet du Lias moyen : Domérien) : sur 48 m*

Constituant le sommet du sondage de Cattenom, ces Marnes, sont représentées par des argilites grises plus ou moins calcaires (20 à 5% de  $\text{CaCO}_3$ ) et micacées, dans lesquelles on note une réapparition progressive de la montmorillonite. Le quartz, toujours mal classé et anguleux, présente des teneurs relativement peu élevées. Les rostrés de bélemnites sont présents à la base de la formation, tandis que les ammonites abondent vers le sommet du sondage.

**B - DANS LE SONDRAGE DE TRANQUEVILLE**

Situé à la limite entre la Lorraine centrale et la Lorraine du Sud (fig. 1), le sondage de Tranqueville (fig. 3) recoupe des formations épaisses de 123 m, du Grès médioliasique à la Minette. Mis à part le Grès médioliasique appartenant au Lias moyen, toutes les autres formations appartiennent au Lias supérieur. De bas en haut, elles se succèdent de la manière suivante (Hanzo, note en cours).

*Le Grès médioliasique ( Domérien supérieur ) : 7 m*

Cette formation est constituée d'argilites silteuses et de calcaires (15 à 65% de  $\text{CaCO}_3$ ). La phase argileuse montre une prédominance de l'illite sur la chlorite et la kaolinite. Le quartz, très abondant, diminue vers le sommet de la formation.

Les ammonites et les foraminifères sont absents, tandis qu'on note la présence de lamellibranches et d'échinides. La flore est également abondante.

*Les Schistes carton (Toarcien inférieur) : 20 m*

Ce sont des argilites et des marnes parfois très riches en calcite (5 à 70%). Les plus faibles teneurs en calcite sont mentionnées vers le milieu de la formation et les plus fortes vers la base et le sommet. Le quartz est peu abondant et le cortège argileux est composé d'illite et de chlorite. Riche en ammonites, la faune est également constituée de lamellibranches. La flore, quant à elle, disparaît au sommet.

*Les Marnes à Bifrons (Toarcien moyen) : 22 m*

Cette formation est représentée par des argilites ou des marnes peu riches en quartz. La calcite, abondante à la base de la formation (28%), diminue vers le sommet (4%). La phase argileuse est en partie représentée à la base par l'illite, la kaolinite et les interstratifiés ; la chlorite apparaît vers le sommet de la formation. La faune est composée d'ammonites, de lamellibranches et de bélemnites (à la base de la formation). La flore est abondante au milieu de la formation.

*Les couches à Crassum (Toarcien moyen) : 8 m*

Cette formation, assez riche en quartz et en nodules phosphatés, est constituée d'argilites très pauvres en calcite (2 à 5%). Ces argilites sont composées d'illite, de chlorite, de

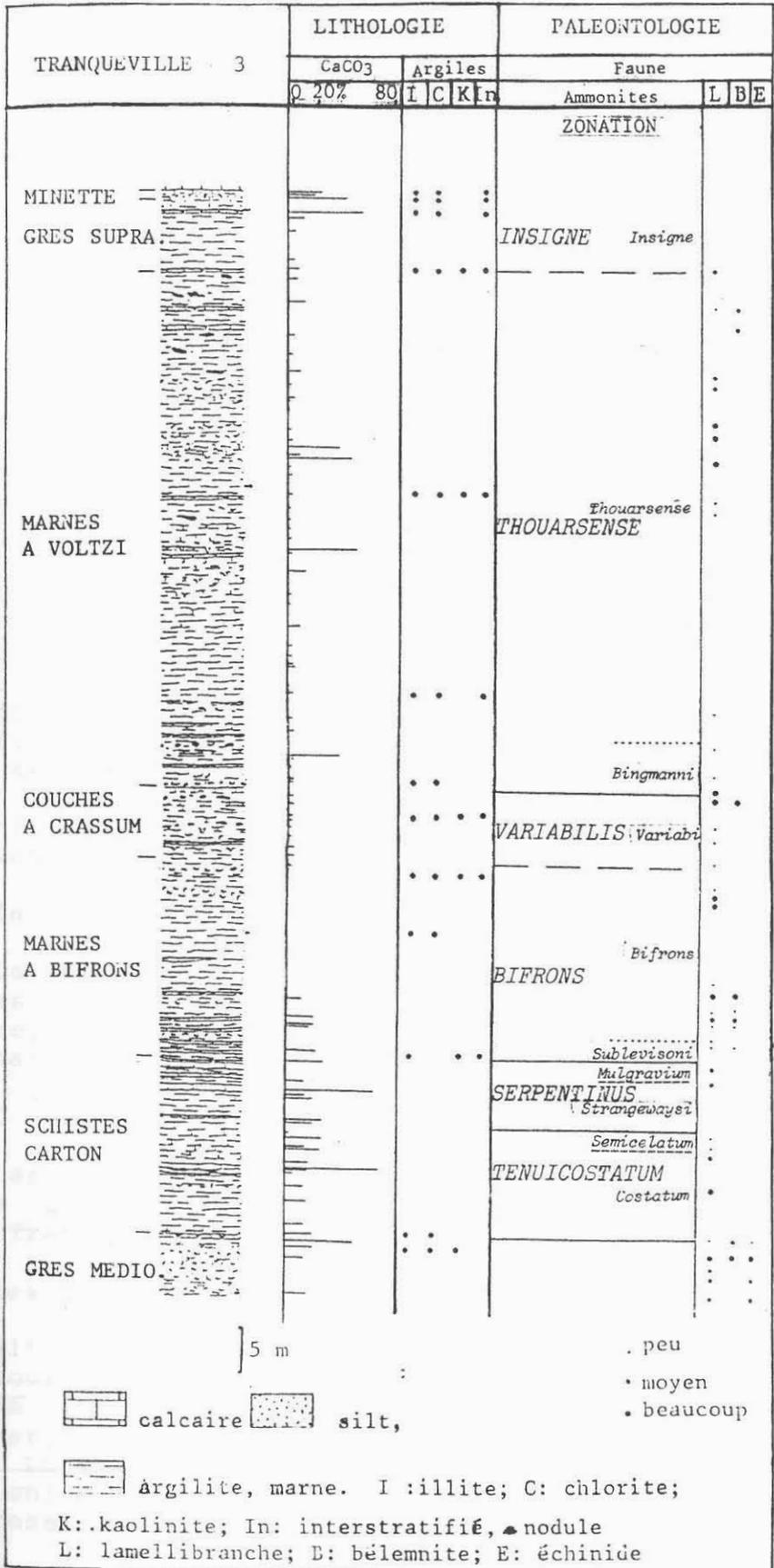


Fig. 3. - Coupe stratigraphique, lithologique et paléontologique du Lias de Tranqueville (in M; Hanzo, en cours).

kaolinite et d'interstratifiés. La faune est riche en ammonites. Les lamellibranches et les bélemnites, presque inexistantes à la base, peuplent le sommet de la formation. La flore est surtout riche en pollens.

***Les Marnes à Voltzi (Toarcien supérieur) : 58 m***

Constituant la formation la plus épaisse du sondage de Tranqueville, ces marnes, riches en quartz, sont en fait des argilites sableuses micacées, contenant des nodules calcaires dans la partie supérieure de la formation. Le cortège argileux, constitué d'illite et de chlorite depuis la base, s'enrichit progressivement en interstratifiés, puis en kaolinite vers le sommet. Les ammonites sont présentes. Les lamellibranches et les bélemnites réapparaissent vers le sommet. C'est dans cette formation que les foraminifères font leur apparition. Enfin, la flore est très abondante.

***Le Grès supraliasique (Toarcien supérieur) : 8 m***

Ce Grès est constitué d'argilites micacées ou de siltites calcaires. Les données de la calcimétrie montrent 8% de  $\text{CaCO}_3$  à la base et 55% au sommet de la formation. L'illite, la chlorite, la kaolinite et les interstratifiés représentent les minéraux de la phase argileuse ; cependant, la kaolinite disparaît vers le sommet de la formation. La faune est constituée d'ammonites et de foraminifères et la flore très abondante au sommet de la formation.

***La Minette (Toarcien supérieur) : 1 m***

La Minette est formée d'une alternance d'argilites, de siltites et de calcarénites. Les argiles sont représentées par l'illite, la chlorite et les interstratifiés. La faune est inexistante et la flore très abondante.

**C - DANS LES AUTRES COUPES**

Les 3 coupes présentées ci-dessous ne sont représentées chacune que par une formation que l'on retrouve, soit à Cattenom, soit à Tranqueville.

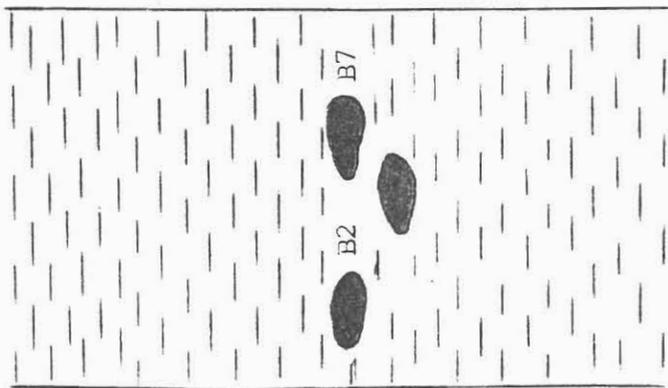
***Les Schistes carton de Bettembourg : sur 1 à 2 m***

Situé au Nord-Est de Cattenom (fig. 1), la coupe de Bettembourg (fig. 4) est constituée des Schistes carton du Toarcien inférieur (Hanzo, 1979). Ce sont des argilites très compactes, argileuses à argilo-calcaires renfermant 5 à 20% de  $\text{CaCO}_3$ . La fraction argileuse est composée d'illite, de kaolinite et de chlorite (en faible quantité) ; le quartz et les feldspaths sont présents. La faune est riche en ammonites.

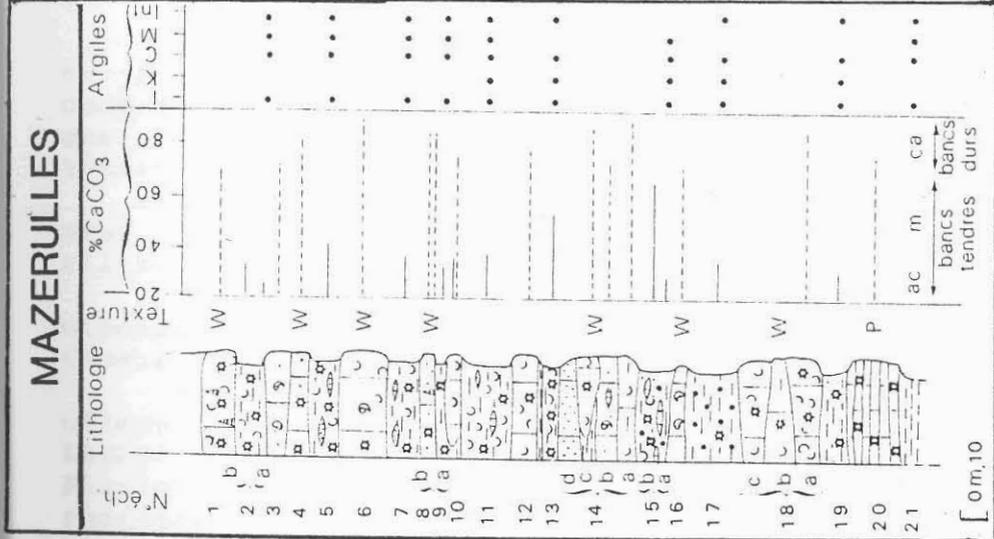
***Le Calcaire à Gryphées de Mazerulles : 2,70m***

Mazerulles est situé en Lorraine centrale, au Nord-Est de Nancy (fig. 1). La coupe représente la base du Calcaire à Gryphées (Hettangien inférieur) reposant sur les Argiles de Levallois (Rhétien supérieur) (Guérin-Franiette *et al.*, 1983).

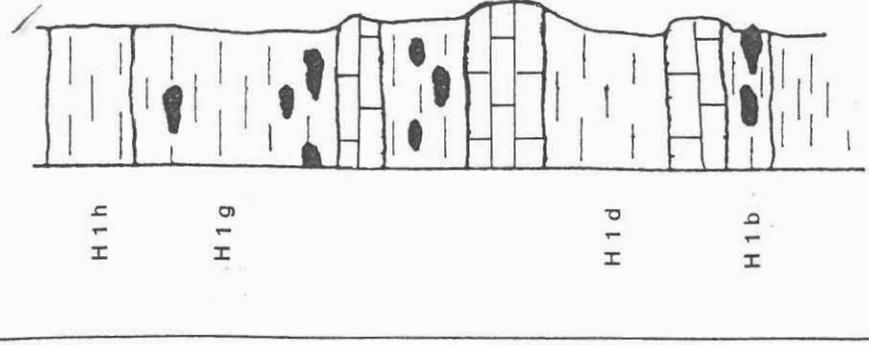
# BETTEMBOURG



# MAZERULLES



# HEILLECOURT



calcaire ; argilite, marne ; silt ; nodules carbonatés et/ou phosphatés,  
 ac : argilite calcaire ; m : marne ; ca : calcaire argileux. I : illite ; K : kaolinite ; C : chlorite ; M : montmorillonite ; Int. : interstratifié.  
 ⤷ bivalve en débris ; Ⓣ entroque ; Ⓞ gastéropode en débris ; Ⓜ lamellibranche entier. W : wackestone ; P : packstone.

Fig. 4, 5 et 6. - Coupes lithologiques de Bettembourg, Mazerulles et Heillecourt. (in S. Guérin-Franjatte *et al.*, 1983 ; et M. Hanzo et C. Poirson, 1988)

Le Calcaire à Gryphées (fig. 5) est constitué d'une alternance de calcaires argileux et de marnes. Les argilites montrent une prédominance de l'illite, suivie de la chlorite et parfois de la kaolinite, d'un interstratifié illite-montmorillonite et de la montmorillonite. Le quartz et la muscovite sont présents en faible quantité. La texture, packstone à la base, devient wackestone vers le sommet de la coupe. Les foraminifères sont abondants et on note la présence d'ammonites et de lamellibranches.

#### *Les Marnes à Amalthées de Heillecourt : sur 2,5 m*

La coupe de Heillecourt est située à 5km au Sud de Nancy (fig. 1). Cette coupe (fig. 6) est constituée de marnes bioclastiques et de calcaires, peu riches en quartz. La faune est riche en rostrés de bélemnites (Hanzo et Poirson, 1988).

## II - CONCLUSION

- Les sondages de Cattenom et de Tranqueville recourent, en se superposant, une série presque complète du Lias. Les autres coupes, quant à elles, sont représentées chacune par des formations que l'on retrouve soit à Cattenom, soit à Tranqueville, mais appartenant à des régions différentes.

- La majorité des faciès est riche en matériel terrigène avec une prédominance de la phase argileuse, et des apports silteux présents en quantité variable.

- La phase carbonatée est souvent constituée de nombreux bioclastes et de fossiles entiers qui augmentent de ce fait la teneur en  $\text{CaCO}_3$ .

- La faune, riche en ammonites, lamellibranches et bélemnites, est présente en quantités variables à travers les faciès. Les foraminifères, très abondants à la base de la série liasique (Hettangien et Sinémurien), disparaissent, pour réapparaître vers le sommet (Toarcien).

- La flore, présente dans presque toute la série liasique, est en majorité représentée par les pollens et les spores.

## DEUXIEME PARTIE. ANALYSE QUANTITATIVE DU QUARTZ

### I - OBJECTIF

Comme signalé dans l'introduction de ce rapport, les études déjà effectuées dans les sondages de Cattenom, Tranqueville, et les coupes de Bettembourg, Mazerulles et Heillecourt concernent essentiellement les analyses chimiques, la minéralogie des argiles, la calcimétrie, la paléontologie, et l'étude des nodules. Lors de ces différentes études, les proportions de quartz étaient en général obtenues d'une manière relative, en comparant les échantillons les uns par rapport aux autres.

C'est pourquoi nous avons procédé à l'analyse quantitative du quartz des échantillons. Les résultats obtenus ont permis de voir une évolution du quartz dans l'espace et dans le temps.

Pour atteindre l'objectif, nous avons tracé des courbes d'évolution granulométrique du quartz et nous avons procédé à l'analyse de la teneur en quartz, en appliquant deux méthodes qui sont : l'analyse par diffraction des rayons-X et l'analyse par spectrométrie d'absorption infrarouge.

### II - ANALYSE PAR DIFFRACTION DES RAYONS-X

L'analyse quantitative du quartz par diffraction des rayons-X s'appuie sur plusieurs méthodes en fonction de l'étalon interne utilisé. Certaines ont été appliquées par des auteurs comme C. Legrand et J. Nicolas (1958) ; R. Till et D. A. Spears (1969) et B. Martinez et F. Plana (1987), entre autres.

#### A - PRINCIPE DE L'ANALYSE

Le principe de diffractométrie est celui de la diffraction par un réseau de plans cristallins, d'un faisceau de rayons-X selon la loi de Bragg (T. Holtzapffel, 1985):

$$K = 2 d \sin \theta$$

$K$  = longueur d'onde de la source ;  $d$  = espacement entre les deux plans parallèles successifs du réseau cristallin ;  $\theta$  = angle entre le faisceau incident et le réseau de plans.

Ainsi, pour une source émettrice de rayons-X donnée ( $K$ ), le balayage selon un angle d'incidence  $\theta$  d'une préparation représentative d'un échantillon permet d'accéder à la connaissance de tous les espacements réticulaires ( $d$ ) de cet échantillon.

#### B - METHODE D'ANALYSE.

Dans le cadre de notre analyse, le corindon a été choisi comme étalon interne. Le dosage a été effectué en considérant le pic (112) du quartz à une distance interréticulaire de 1,81 Å (fig. 7), tandis que le corindon a un pic (024) correspondant à une distance interréticulaire de 1,75 Å. Les pics 3,34 Å (101), 3,32 Å (024) et (006), 4,26 Å (111) et 4,47 Å (110) du quartz n'ont pas été choisis, à cause de leur interférence avec les pics soit des micas, soit des minéraux argileux.

La technique de l'analyse consiste donc à tracer une courbe d'étalonnage, qui permettra le calcul des proportions de quartz des échantillons.

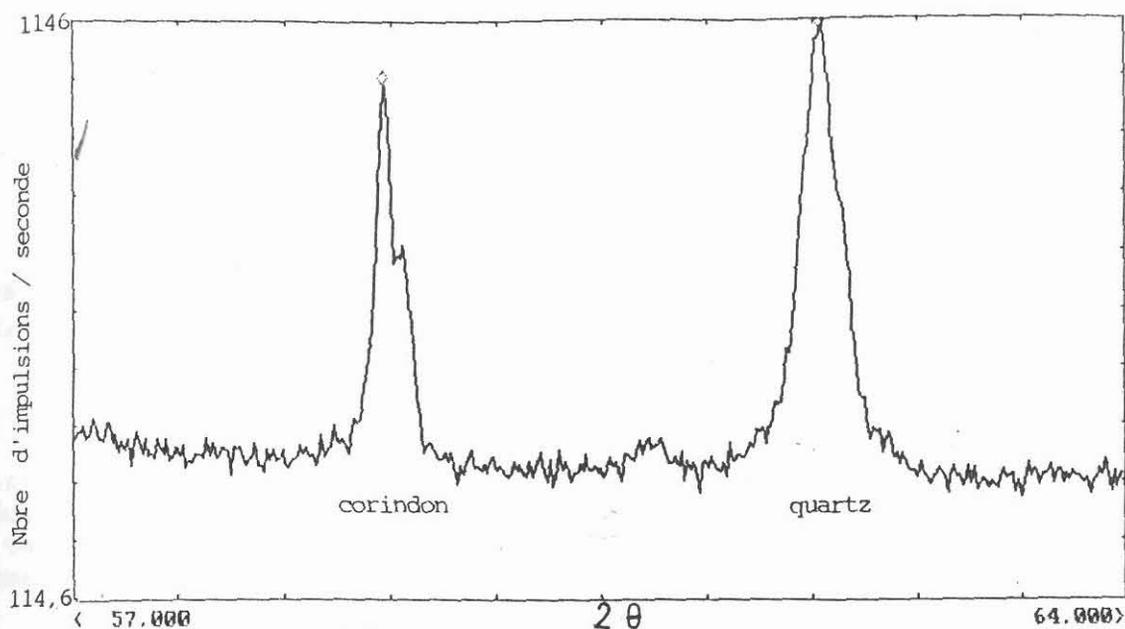


Fig. 7. Spectres de diffraction du quartz et du corindon aux rayons-X dans le cas d'une dilution à 10% de quartz.

### 1 - Courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage (fig. 8) a été réalisée à partir d'un mélange constitué par :

- du sable de Fontainebleau purifié au bromoforme et broyé,
- du corindon ( $Al_2O_3$ ) broyé,
- de la farine.

Le mélange de ces 3 poudres bien homogénéisé à la broyeuse pendant 30 secondes et contenant des pourcentages variés de quartz, servent à la confection des pastilles, qui sont analysées au diffractomètre. On mesure ainsi les rapports des hauteurs des pics du quartz (1,81 Å) et du corindon (1,75 Å), et les valeurs obtenues sont reportées en fonction du pourcentage de quartz de chaque mélange. La courbe, tracée à partir des différents points et dont la pente passe par l'origine des coordonnées, permet de fournir le rapport "a" des hauteurs du pic du quartz et de celui du corindon à teneurs égales.

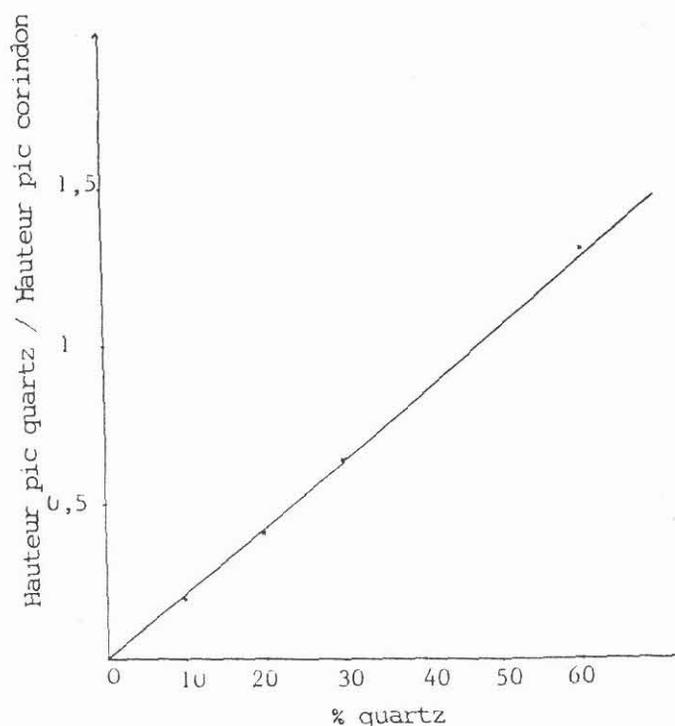


Fig. 8. - Courbe d'étalonnage du quartz obtenue par analyse aux rayons-X.

## 2 - Analyse du quartz des échantillons

Les 45 échantillons préalablement broyés pendant 1 minute à la broyeuse Fabiola, sont analysés suivant la technique utilisée lors de la réalisation de la courbe d'étalonnage. Mais, dans ce cas, les différents mélanges sont constitués par :

- 7,5 g d'échantillon broyé,
- 2,5 g de corindon broyé,
- 2,5 g de farine.

De même, on mesure le rapport "b" des hauteurs du pic du quartz de l'échantillon naturel et du pic du corindon. On en déduit le rapport massique quartz/corindon ( $r' = b/a$ ) et, par la suite, la teneur en quartz de l'échantillon naturel suivant la formule :  $T = b/a \times \% \text{ corindon} / \% \text{ éch.}$

### III - ANALYSE PAR SPECTROSCOPIE D'ABSORPTION INFRAROUGE

De nombreuses études concernant le dosage quantitatif du quartz par spectroscopie infrarouge ont été réalisées par certains auteurs dont : V. C. Farmer (1968) ; R. Chester et H. Ederfield (1967 et 1968) ; H. W. Marel *et al.* (1976) ; F. Fröhlich et L. Leclaire (1981) ; C. Pichard et F. Fröhlich (1986), et bien d'autres encore. Ces études ont permis de mettre en évidence plusieurs bandes d'absorption du quartz :  $1082 \text{ cm}^{-1}$ ,  $798 \text{ cm}^{-1}$ ,  $778 \text{ cm}^{-1}$  et  $695 \text{ cm}^{-1}$  (fig. 9), à partir desquelles son dosage est possible.

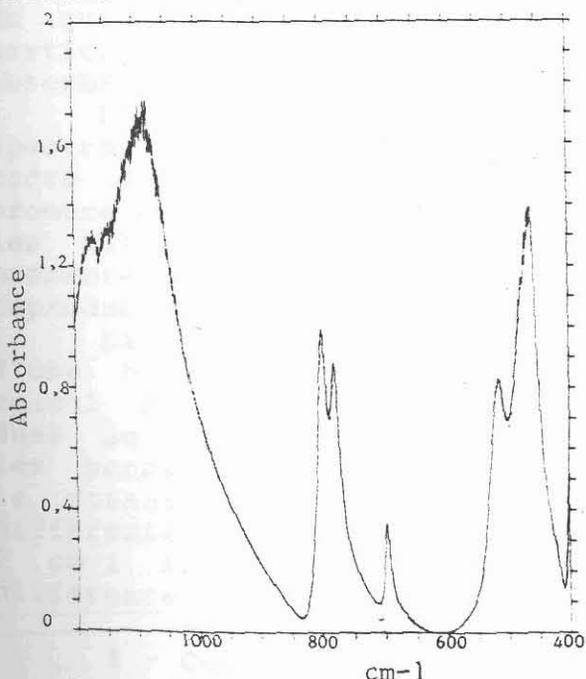


Fig. 9. - Spectres d'absorption infrarouge du quartz dans le cas d'une dilution à 0,545 % de quartz.

#### A - PRINCIPE DE L'ANALYSE

Le principe de la spectroscopie infrarouge repose sur la loi de Lambert-Beer (Fröhlich et Leclaire, 1981) :

$$J = J_0 e^{-\alpha \cdot c \cdot l}$$

$J$  = énergie transmise après traversée de la matière ;  $J_0$  = énergie incidente émise par la source IR ;  $c$  = concentration de la substance à doser (en Moles/litre) ;  $l$  = longueur du trajet optique (en cm) ;  $\alpha$  = coefficient d'extinction spécifique caractérisant l'absorption du rayonnement électromagnétique monochromatique de fréquence  $\nu$  pour un type de molécule donné. Ce coefficient est indépendant de la longueur du trajet optique et de la

concentration. Cependant, et surtout dans le cas des solides, la loi de Lambert-Beer n'est applicable que pour des trajets optiques courts ou des concentrations faibles.

La mesure de l'absorbance ( $A = \epsilon \cdot l \cdot c = 0,4343 \cdot \alpha \cdot l \cdot C$ ) se fait directement sur les enregistrements effectués par les spectres IR.  $\epsilon$  = coefficient d'extinction molaire (en  $l \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ).

La mesure de l'absorption du rayonnement infrarouge par la matière est basée sur la perte d'énergie radiante due à la diffusion, mais surtout à l'absorption lors du passage d'un train d'ondes électromagnétiques à travers le milieu matériel. Les informations recueillies concernent la structure moléculaire des échantillons irradiés, puisque les fréquences d'absorption du rayonnement infrarouge caractérisent des groupements chimiques, des radicaux et des liaisons, quelque soit la matière.

## B - METHODE D'ANALYSE

L'application de la spectrométrie infrarouge dans l'analyse minéralogique et quantitative des sédiments repose sur la loi d'absorption de Beer-Lambert. Cette loi ayant été établie pour les phases liquides trouve son application dans l'analyse des phases solides, à condition que les échantillons aient été préalablement broyés. R. Chester et H. Ederfield (1968) signalent que les particules doivent avoir un grain inférieur à  $2 \mu m$ . En effet, plus la dimension des particules diminue, plus l'absorbance du doublet du quartz à  $798 \text{ cm}^{-1}$  et  $778 \text{ cm}^{-1}$  augmente. Mais, lorsque les particules atteignent des dimensions inférieures à  $2 \mu m$ , cette absorbance cesse de croître et demeure constante. *a conc*

L'analyse des échantillons a été réalisée sur un spectrophotomètre double faisceau à compensation optique. Dans le cadre de notre analyse, la compensation optique se fait par le bromure de potassium choisi comme diluant. Ce dernier, comme tous les halogénures, est transparent aux infrarouges. En outre, il présente des propriétés plastiques permettant un moulage finement reproductible des préparations sous la forme de pastilles.

La technique de l'analyse consiste à réaliser, à partir d'une bande d'absorption, une courbe d'étalonnage permettant le calcul de la teneur en quartz des échantillons. Pour des raisons dues au fait que la bande d'absorption à  $695 \text{ cm}^{-1}$  interfère avec les bandes d'absorption de la kaolinite et de la montmorillonite, le dosage a été effectué sur le doublet  $799 \text{ cm}^{-1}$  et  $780 \text{ cm}^{-1}$  (les différentes bandes d'absorptions du quartz varient de plus ou moins  $2 \text{ cm}^{-1}$  suivant l'origine du quartz et sa variété, d'où les différences avec les données ci-dessus). *f espace mini*

### 1 - Courbe d'étalonnage

Les échantillons de quartz synthétique pur, broyés très finement pendant 20 minutes dans un bol en agathe, sont dilués dans du bromure de potassium (KBr), à des pourcentages variant entre 0,075% et 1% afin d'éviter les erreurs dues aux trop faibles ou aux trop fortes dilutions.

L'analyse spectrométrique porte sur une pastille de 300 mg d'un mélange constitué par le bromure de potassium et le quartz broyé à  $2 \mu m$  pour le faisceau échantillon, et une pastille de 300 mg de bromure de potassium pur pour le faisceau référence : c'est la méthode par compensation du diluant. Cette méthode a pour effet d'éliminer toutes les impuretés dues au diluant (KBr), et a

l'avantage de ne pas laisser apparaître une forte absorption due au bromure de potassium.

Les spectres d'absorption étant ramenés à leur ligne de base, la courbe d'étalonnage (fig. 10) a été tracée à partir de l'absorbance mesurée pour chaque dilution. Ainsi,  $A = \epsilon lc$ , où  $\epsilon$  est le coefficient d'extinction molaire,  $l$  le trajet optique (épaisseur de la pastille),  $c$  la concentration du constituant et  $A$  l'absorbance.

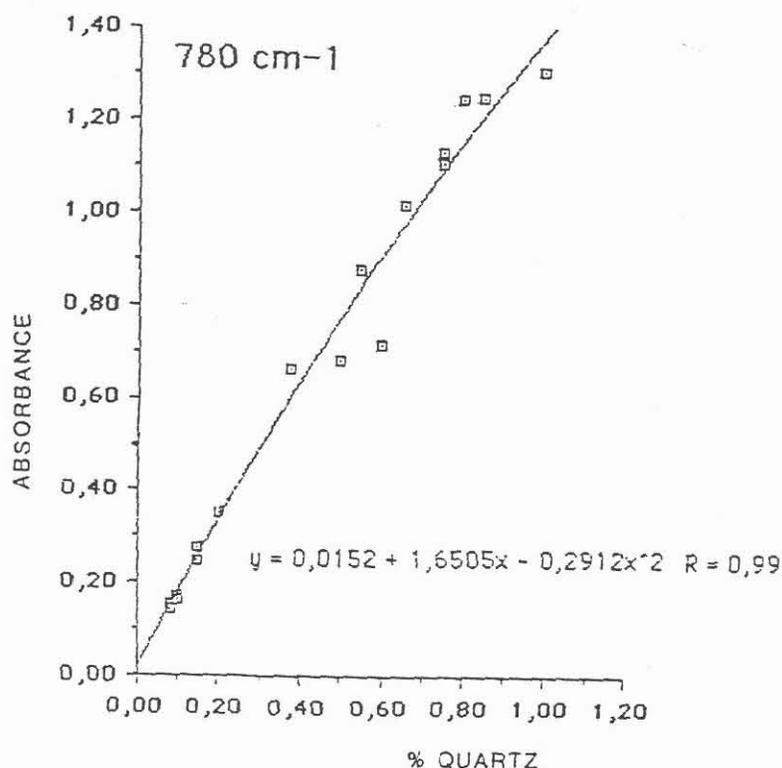


Fig. 10. - Courbe d'étalonnage du quartz  
obtenue par analyse aux infrarouges.

## 2 - Analyse des échantillons

Une fois la courbe d'étalonnage établie, les 45 échantillons sont analysés, en suivant la technique employée lors de la réalisation de la courbe d'étalonnage. On mesure l'absorbance après chaque dilution, et la teneur en quartz de l'échantillon s'obtient à partir de la formule :  $C = A (\text{éch.}) / A (\text{étal.})$  où,  $A$  représente l'absorbance et  $C$  la concentration.

## IV - OBSERVATION DES LAMES MINCES

Les 34 lames minces observées nous ont permis d'étudier la morphoscopie des grains de quartz et de tracer leur courbe d'évolution granulométrique dans les différentes formations étudiées. Pour la nomenclature des différentes phases granulométriques, nous avons utilisé la classification de Wentworth qui répartit les silts et les sables de la manière suivante :

|              |   |              |                         |
|--------------|---|--------------|-------------------------|
| 2000,0 $\mu$ | - | 1000,0 $\mu$ | : sables très grossiers |
| 1000,0 $\mu$ | - | 500,0 $\mu$  | : sables grossiers      |
| 500,0 $\mu$  | - | 250,0 $\mu$  | : sables moyens         |
| 250,0 $\mu$  | - | 125,0 $\mu$  | : sables fins           |
| 125,0 $\mu$  | - | 62,5 $\mu$   | : sables très fins      |
| 62,5 $\mu$   | - | 31,0 $\mu$   | : silts grossiers       |
| 31,0 $\mu$   | - | 15,6 $\mu$   | : silts moyens          |
| 15,6 $\mu$   | - | 7,8 $\mu$    | : silts fins            |
| 7,8 $\mu$    | - | 3,9 $\mu$    | : silts très fins       |

## V - RESULTATS

Les résultats obtenus à partir des deux méthodes d'analyses quantitatives sont présentés sur le tableau 1.

Pour l'analyse par diffraction des rayons-X, l'erreur relative est de plus ou moins 2% <sup>absolu</sup> (Communication orale de G. Even), tandis que pour l'analyse par spectrométrie infrarouge, l'erreur relative maximale ne dépasse pas plus ou moins 3% (C. Pichard et F. Fröhlich, 1986).

## VI - CONCLUSION

Si l'on compare les deux méthodes d'analyses à partir des résultats obtenus, on constate qu'en général la variation est la même (fig. 11). Par contre, une nette différence de plus ou moins 6 à plus ou moins 8% a été observée pour les échantillons Tr 60, Tr 46a, Tr 44, Tr 42a des Marnes à Voltzi et Catt 80 a et Catt 73 du Calcaire à Gryphées. C'est également dans les mêmes formations que les différences les plus élevées (plus ou moins 3 à 5%), entre les résultats des deux types d'analyse, ont été observées. C'est ainsi que, des lames minces disponibles de Tr 60, Tr 42a et Tr 46a ont été analysées et les pourcentages obtenus en se référant aux chartes de Slivestov, et Terry et Chilingar, sont de l'ordre de 18% à 20% et se rapprochent pour la majorité, beaucoup plus des résultats d'analyse par spectrométrie infrarouge que des résultats obtenus par diffraction des rayons-X. Par ailleurs, ces différents échantillons appartiennent aux mêmes formations et les résultats d'analyses sur roche totale de Tr46a, Tr44 et Tr 42a n'ont apporté aucune solution à ce problème qui reste donc posé. Néanmoins, on pense que ces erreurs proviendraient soit de l'orientation des minéraux argileux, soit de l'interférence du pic de la calcite avec le pic du quartz. R. Till et D. A. Spears (1969), signalent que les échantillons doivent être préalablement chauffés à 950° pendant 3 heures environ, afin de détruire les pics d'argiles : ceci n'a pas été le cas lors de la préparation de nos échantillons.

Les coefficients de corrélation calculés à partir des résultats des deux méthodes d'analyses sont de l'ordre de 0,87 pour les échantillons de Cattenom, et de 0,96 pour ceux de Tranqueville. Ces résultats sont assez bons, et montrent que les deux méthodes sont fiables, à condition que les préparations soient faites avec le plus de rigueur possible.

A partir des lames minces observées (fig. 12), on constate que les phases granulométriques du quartz représentées sont les silts moyens et grossiers, et les sables très fins, fins et moyens.

| FORMATIONS                        | No ECH.                  | % QUARTZ RX | % QUARTZ IR |    |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|----|
| Minette                           | Tr 94                    | 29          | 30          |    |
|                                   | Tr 93                    | 35          | 33          |    |
| Grès supralias.<br>Marn. à Voltzi | Tr 92                    | 14          | 14          |    |
|                                   | Tr 87                    | 34          | 34          |    |
|                                   | Tr 85                    | 30          | 31          |    |
|                                   | Tr 82                    | 23          | 25          |    |
|                                   | Tr 76                    | 21          | 21          |    |
|                                   | Tr 74                    | 6           | 10          |    |
|                                   | Tr 69                    | 15          | 18          |    |
|                                   | Tr 60                    | 14          | 22          |    |
|                                   | Tr 46a                   | 14          | 20          |    |
|                                   | Tr 44                    | 14          | 22          |    |
| Cches à Crassum                   | Tr 42a                   | 18          | 24          |    |
|                                   | Tr 39                    | 28          | 23          |    |
| Marn. à Bifrons                   | Tr 3                     |             | 15          |    |
| Sch. carton                       | Tr 24                    | 13          | 13          |    |
| Grès médiolas.                    | Tr 26                    | 47          | 47          |    |
| Marn. à Amalthées                 | Cat 3'                   | 12          | 14          |    |
|                                   | Cat 26'                  | 19          | 19          |    |
|                                   | Calc. à Davoei           | Cat 45'     | 9           | 12 |
|                                   | Marn. à Numis.           | Cat 47      | 13          | 16 |
|                                   |                          | Cat 48'     | 15          | 16 |
|                                   | Calc. ocreux             | Cat 61'     | 12          | 15 |
|                                   | Arg. à Promicro.         | Cat 64'     | 15          | 17 |
|                                   |                          | Cat 80'     | 20          | 21 |
|                                   |                          | Cat 92'     | 19          | 19 |
|                                   |                          | Cat 100'    | 15          | 18 |
|                                   | Calc. à Gryphées<br>sup. | Cat 6       | 9           | 12 |
|                                   |                          | Cat 19      | 15          | 15 |
|                                   |                          | Cat 21      | 19          | 20 |
|                                   |                          | Cat 34      | 15          | 17 |
|                                   |                          | Cat 47      | 26          | 24 |
| Calc. à Gryphées<br>inf.          | Cat 60c                  | 34          | 29          |    |
|                                   | Cat 63                   | 44          | 43          |    |
|                                   | Cat 73                   | 26          | 32          |    |
|                                   | Cat 79                   | 28          | 32          |    |
|                                   | Cat 80a                  | 35          | 29          |    |
| Arg. de Levallois                 | Cat 81                   | 10          | 14          |    |
|                                   | Cat 82                   | 19          | 17          |    |
| Schistes carton                   | B2                       | 1           | 3           |    |
|                                   | B7a                      | 1           | 4           |    |
| Marn. à Amalthées                 | H1d                      | 16          | 11          |    |
|                                   | H1h                      | 16          | 17          |    |
| Calc. à Gryphées                  | M7                       | 9           | 11          |    |
|                                   | M18c                     | 2           | 5           |    |

Tabl. 1. Teneur en quartz des 45 échantillons analysés. Tr = Tranqueville ; Cat = Cattenom ; B = Bettembourg ; M = Mazerulles ; H = Heillecourt.

TROISIEME PARTIE  
EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU QUARTZ

I - EVOLUTION DU QUARTZ DANS LE TEMPS

De la Zone de transition (des Argiles de Levallois au Calcaire à Gryphées) (Cattenom) à la Minette (Tranqueville), les formations se succèdent dans le temps et constituent de ce fait une série presque complète du Lias. La lithologie de ces formations permet de les regrouper 4 en mégaséquences en fonction des discontinuités majeures, divisées en discontinuités mineures (Hanzo et Espitalié, en cours) qui sont du bas vers le haut :

- Une mégaséquence cyclique, du sommet des Argiles de Levallois au Calcaire ocreux;
- Une mégaséquence klupfélienne, des Marnes à Numismalis au Calcaire à Davoei.
- Une deuxième mégaséquence klupfélienne, des Marnes à Amalthées au Grès médioliasique.
- Enfin, une troisième mégaséquence klupfélienne, des Schistes carton à la Minette.

L'évolution de la teneur et de la taille du quartz se calque assez bien sur ces discontinuités. Mais, par comparaison à la lithologie, on ne peut pas définir des diastèmes entre certaines mégaséquences. Nous distinguons ainsi 3 grandes discontinuités définies par le quartz.

A - Zone de transition-Calcaire à Gryphées-Argiles - Argiles à Promicroceras *proparte*

Cette mégaséquence est divisée en 3 séquences.

- De la zone de transition au sommet du Calcaire à Gryphées inférieur, la teneur en quartz augmente pour atteindre un maximum de 44% (fig. 11) et, des silts et sables très fins (10 $\mu$  - 100 $\mu$ ), on passe aux sables fins et moyens (200 $\mu$  - 500 $\mu$ ) (fig. 12). La dérive séquentielle est négative.

- Du Calcaire à Gryphées inférieur à la base des Argiles à Promicroceras, la proportion de quartz diminue progressivement jusqu'à 6% (fig. 11). Les sables font place aux silts moyens et grossiers, constituant ainsi une séquence positive (fig. 12). Les grains de quartz sont en général mal classés et anguleux. Cependant, à proximité du Grès d'Hettange (pl. 1.a), les grains, assez bien classés, forment des lamines parallèles en fonction de leur taille.

La variation de la teneur en quartz se corrèle bien à l'évolution de la taille des grains.

B - Argiles à Promicroceras *proparte* - Calcaire ocreux - Marnes à Numismalis - Calcaire à Davoei - Marnes à Amalthées *proparte* - Grès médioliasique

Cette mégaséquence en général positive présente les variations suivantes.

Au sommet des Argiles à Promicroceras, on observe une augmentation de la proportion du quartz de 9 à 20% et une stabilité dans le Calcaire ocreux (fig. 11). Du point de vue granulométrique, les silts moyens (20 $\mu$ ) diminuent au profit des sables très fins et fins (50 $\mu$  - 100 $\mu$ ). Des lithofaciés à argilites silteuses, on passe aux calcaires bioclastiques. Les grains de

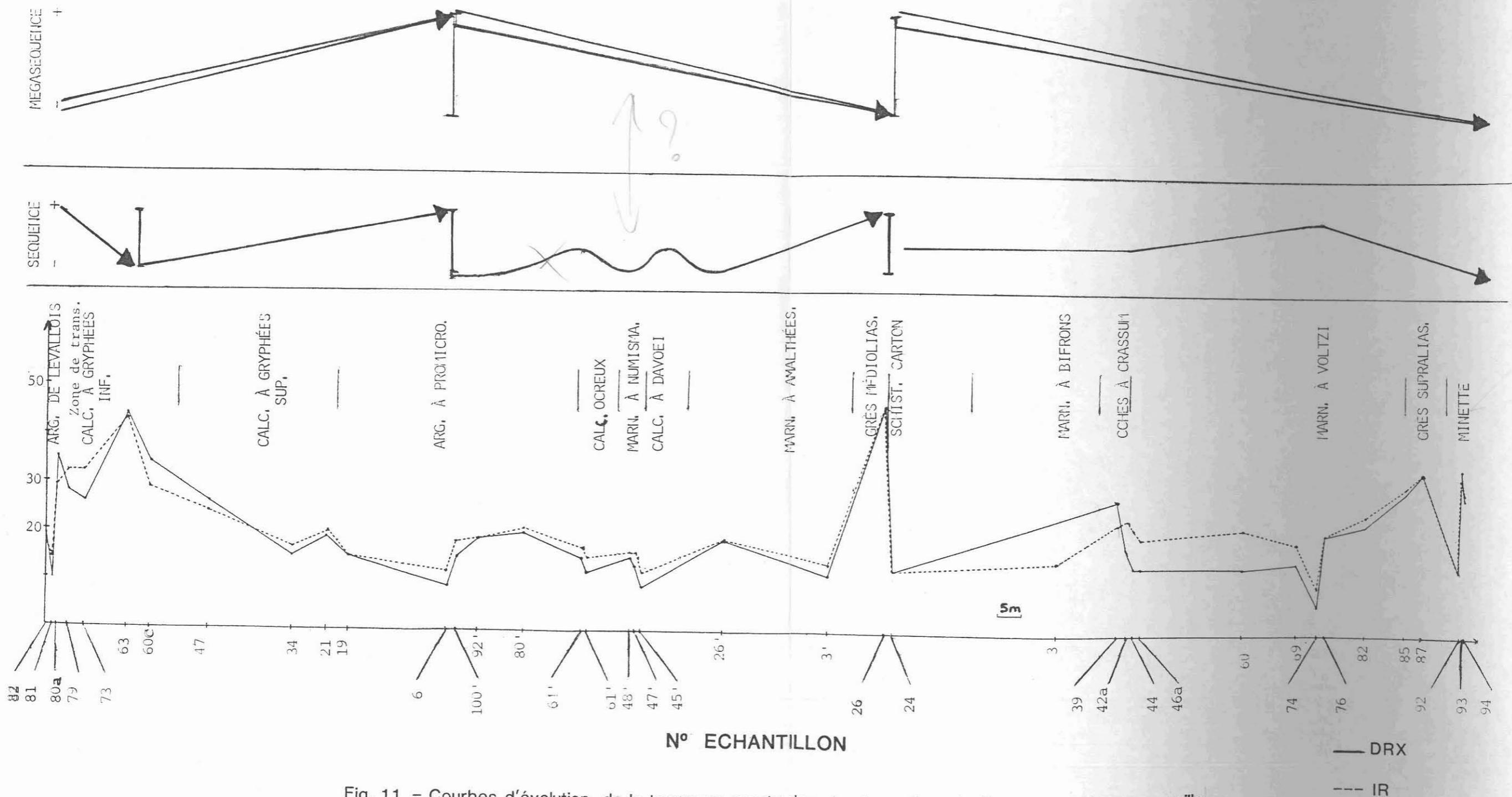


Fig. 11. - Courbes d'évolution de la teneur en quartz dans les formations de Cattenom et de Tranqueville.

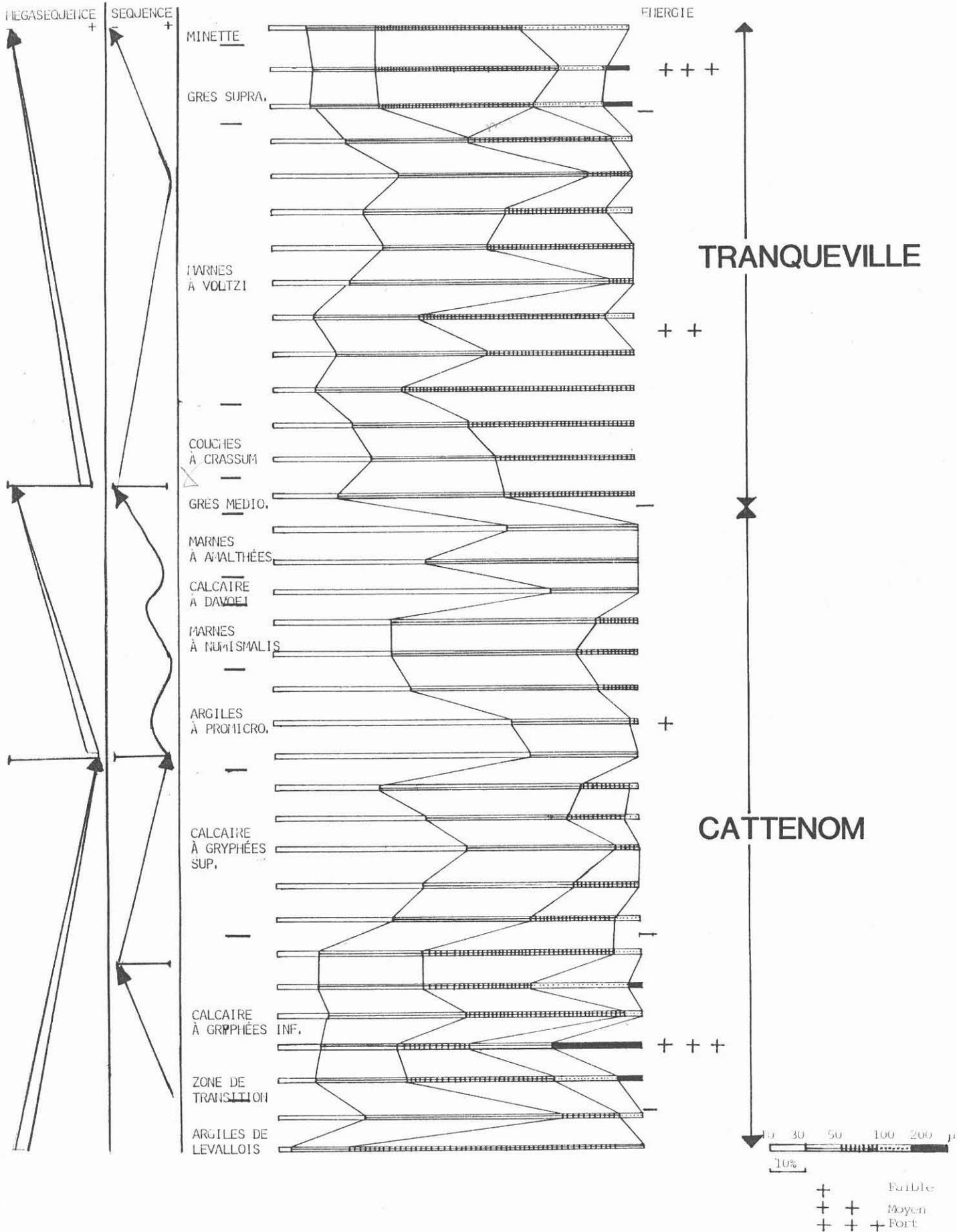


Fig. 12. - Courbes d'évolution des phases granulométriques du quartz dans les formations de Cattenom et de Tranqueville et interprétation séquentielle.

quartz mal classés et anguleux, sont parfois concentrés en plages irrégulières (pl. 1 a) sous forme de lentilles millimétriques.

Des Marnes à Numismalis au Calcaire à Davoei, la teneur en quartz diminue de 15% à 9%. On passe d'un lithofaciès à marnes silteuses à un lithofaciès calcaire. La séquence évolue dans le sens d'une augmentation de la part du détritique terrigène le plus fin (silts moyens et grossiers) et d'une disparition des sables très fins. Les grains de quartz sont mal classés et anguleux.

A partir des Marnes à Amalthées, avec 12% à 19% de quartz, la proportion de ce dernier augmente rapidement jusqu'à une valeur de 47% dans le Grès médioliasique. Dans ces grains de quartz anguleux et mal classés, on observe une apparition des sables très fins. Du point de vue lithologique, on passe des lithofaciès à dominante d'argilites plus ou moins silteuses à des faciès silteux à dominante marno-calcaire, représentant une mégaséquence négative.

Dans cette mégaséquence, la figure 11 montre qu'on ne peut pas définir de véritables diastèmes à cause de nombreuses fluctuations. Néanmoins, les variations se calquent sur celles définies à partir de la lithologie, sauf pour la première mégaséquence klupfélienne. La dérive générale de cette mégaséquence est négative.

#### C - Schistes carton - Marnes à Bifrons - Couches à Crassum - Marnes à Voltzi - Grès médioliasique - Minette

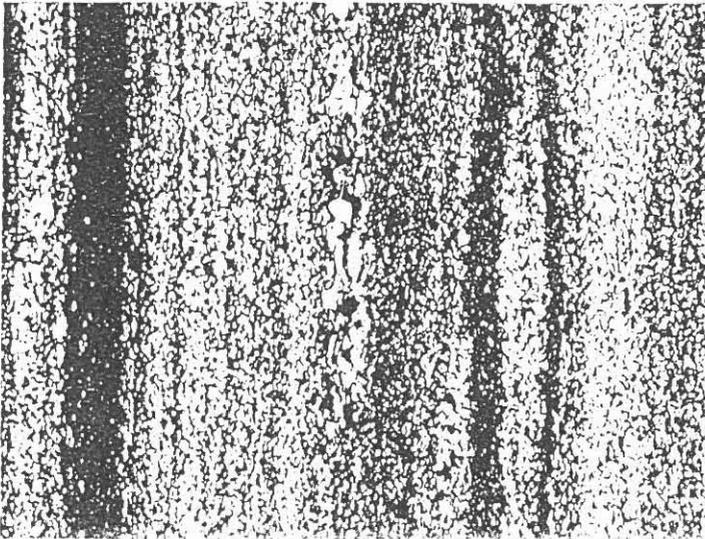
Au sein de cette mégaséquence, on peut distinguer 3 séquences:

- Des Schistes carton à la base des Couches à Crassum, nous avons une séquence caractérisée par une augmentation de la teneur en quartz (13 à 28%). Du point de vue lithologique, ce sont en général des argilites, parfois bioclastiques. Entre les Schistes carton et les Marnes à Bifrons, la dérive est faible, voire même inexistante (fig. 11).

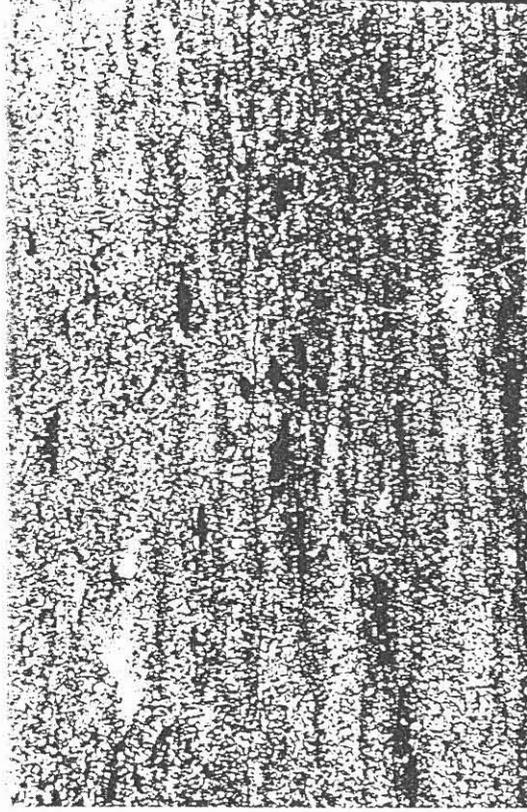
- De la base des Couches à Crassum aux Marnes à Voltzi, la séquence est cyclique (fig. 11). Elle est d'abord caractérisée par une diminution de la teneur en quartz vers le milieu des Marnes à Voltzi (28 à 6%). Ensuite, la proportion de quartz augmente de 6 à 30% au sommet des Marnes à Bifrons (fig. 11). Du point de vue granulométrique, la fraction constituée de sables fins diminue au profit des silts grossiers. Par la suite, les sables très fins et fins réapparaissent au détriment des silts grossiers. En général, les grains de quartz sont mal classés et anguleux. Cependant, dans certains niveaux des Marnes à Voltzi (pl. 1 c), ces grains sont regroupés sous forme de poches dues probablement à la bioturbation.

- Enfin, du Grès ~~médioliasique~~ à la Minette, la séquence lithologique est caractérisée par des argilites silteuses qui passent progressivement à des calcaires plus ou moins silteux. Les proportions de quartz, anguleux et irrégulièrement répartis, ne varient pas beaucoup. Un seul lithofaciès de la Minette, très riche en  $\text{CaCO}_3$  (45%), a une teneur en quartz de 19%. La séquence évolue dans le sens d'une augmentation des sables fins et une apparition des sables grossiers, tandis que les silts moyens et grossiers diminuent.

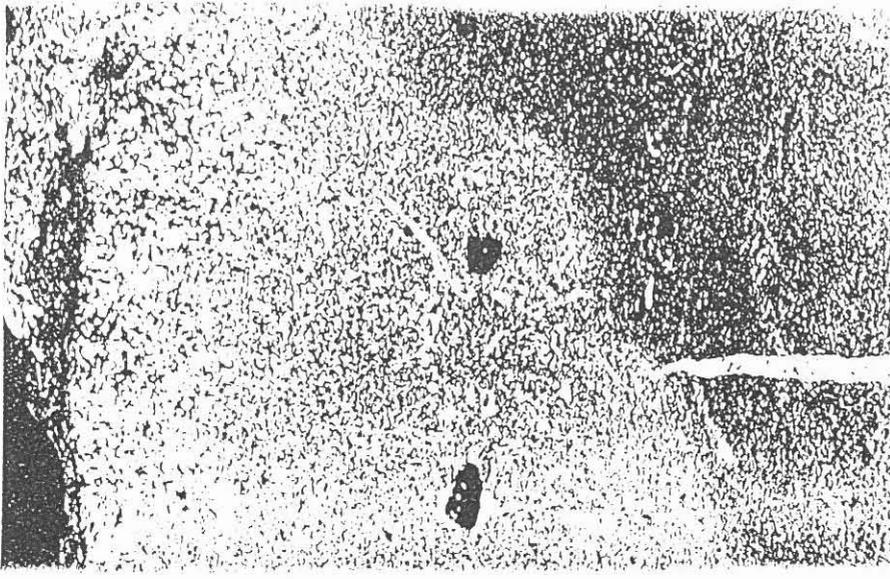
L'ensemble de la mégaséquence est caractérisée par une dérive générale négative.



a : Argilite silto-gréseuse.  
 Faciès à proximité du Grès d'Hettange  
 Ech. Catt.60c. - L.N.  
 Le matériel détritique présente une  
 répartition rythmique en microséquences  
 granoclassees.



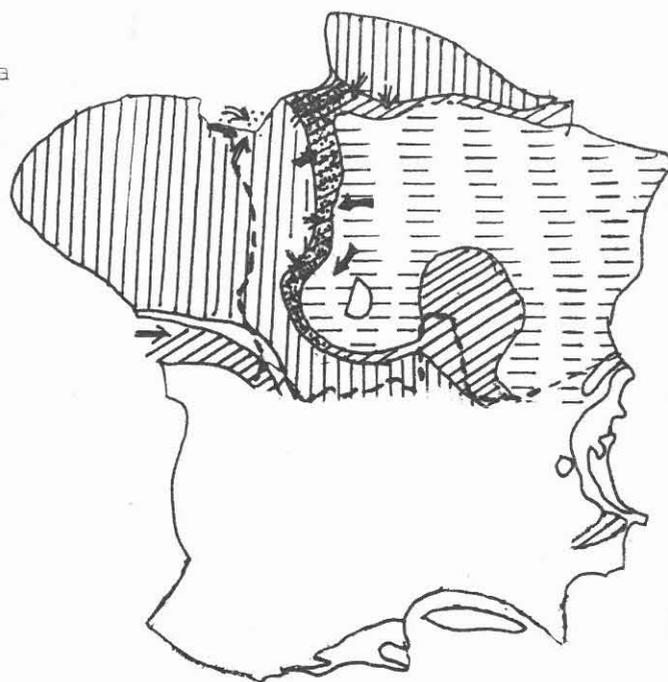
b: - Argilite très silteuse  
 Faciès des Argiles à Promicroceras.  
 Ech. Catt 79'. L.N.  
 Le matériel détritique est réparti en lentilles  
 irrégulières.



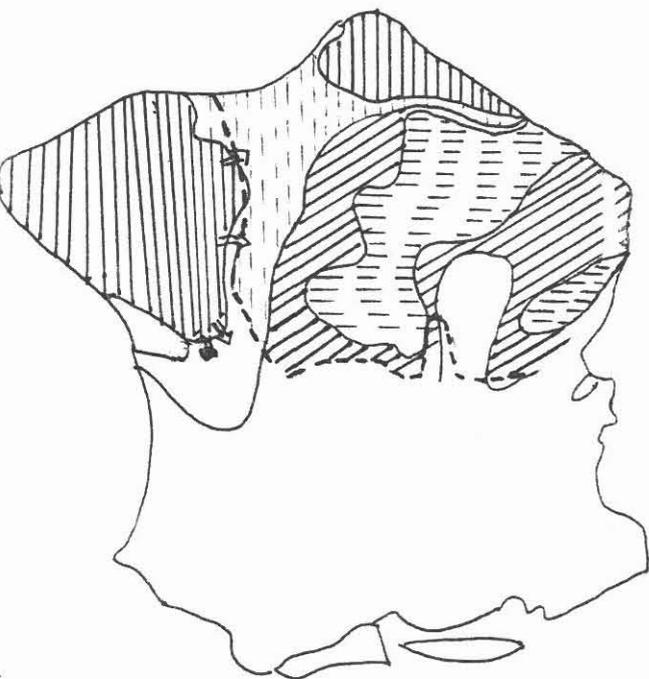
c : Marnes calcaires.  
 Faciès des Marnes à Voltzi.  
 Ech. Tr 74a. -L.N.  
 Le matériel détritique se présente  
 sous forme de poches dues à la  
 bioturbation.



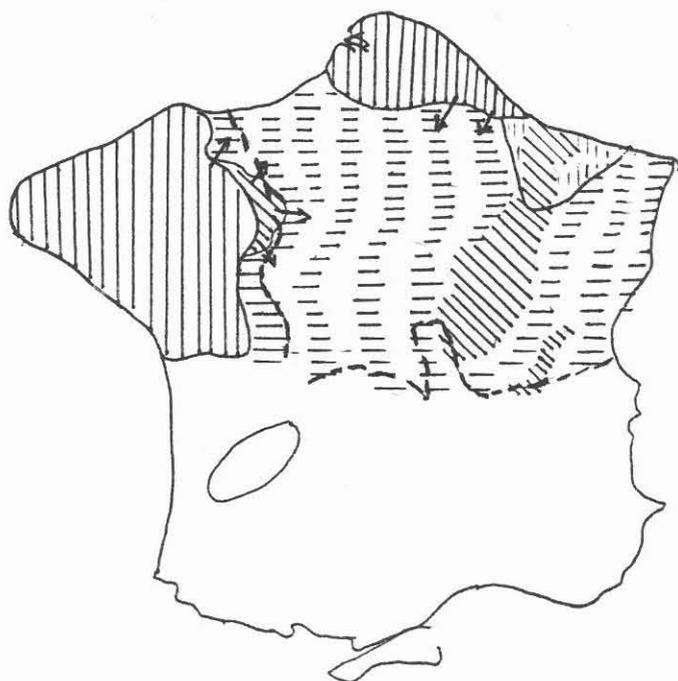
a : Hettangien supérieur



b : Sinémurien supérieur



c : Pliensbachien supérieur



d : Toarcien supérieur

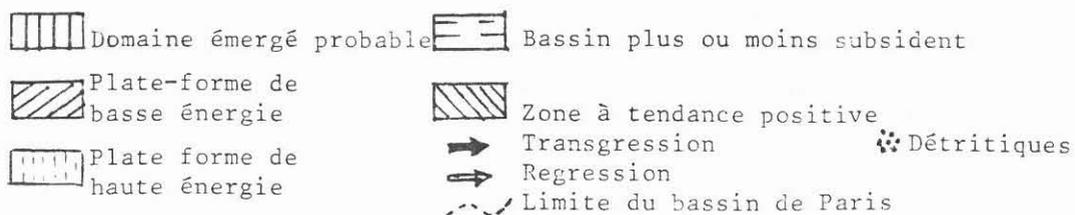


Fig. 13. Schémas simplifiés sur l'évolution paléogéographique du Bassin de Paris pendant le Lias (extrait de Groupe Français d'étude du Jurassique, 1980).

## D- CONCLUSION

Dans l'ensemble, la sédimentation détritique est fine. Les grains de quartz ont des dimensions variant entre 10 $\mu$  et 200 $\mu$  (silts et sables) pour la plupart. Les grains de 300 $\mu$  à 500 $\mu$  sont rares et surtout représentés à proximité du Grès d'Hettange (Calcaire à Gryphées).

Il existe une nette corrélation entre l'évolution de la teneur en quartz et de sa taille. En effet, plus la proportion de quartz est élevée, plus les grains de quartz sont grossiers, exception faite du Grès médioliasique riche en CaCO<sub>3</sub> (15% à 65%) et possédant des teneurs de 47% de silts (10 $\mu$ -100 $\mu$ ). En fait, cet épisode a été marqué au Domérien par une sédimentation à dominante calcaire remplacée progressivement par un accroissement des apports terrigènes. La corrélation entre l'évolution de la teneur en quartz et de sa taille serait peut-être due aux variations des conditions climatiques et à l'intensité de l'érosion. En effet, sous climat chaud et humide, lorsque le continent est stable et évolué, le bassin sédimentaire est surtout enrichi en éléments solubles, alors que le matériel détritique terrigène est fin et peu abondant. Lorsque le paysage devient instable, l'érosion fournit au bassin un matériel détritique terrigène grossier et abondant.

L'évolution du quartz permet de classer les formations en 3 groupes suivant l'énergie du milieu :

1- Les formations caractérisées par une énergie forte sont le Calcaire à Gryphées inférieur, le Grès supraliasique et la Minette. Elles sont constituées par une abondance de sables (fig. 12) et la teneur en quartz est élevée.

2 - Du Grès médioliasique aux Marnes à Voltzi, l'énergie du milieu est moyenne. Ces formations sont caractérisées par une abondance de sables très fins et des silts grossiers (fig. 12) ; la teneur en quartz est élevée à moyenne (fig. 11).

3 - Du Calcaire à Gryphées supérieur aux Marnes à Amalthées, l'énergie est faible. En effet, les silts fins et moyens dominent sur les silts grossiers et les sables très fins (fig. 12) ; la teneur en quartz est relativement peu élevée (fig. 11).

Compte tenu des proportions de quartz, certaines formations marquées par une forte diminution des apports (Marnes à Voltzi, Argiles à Promicroceras et Calcaire à Davoei), sont caractérisées par la présence de lentilles de quartz millimétriques ou de poches dues à la bioturbation. Cette diminution d'apports correspond probablement à des périodes où l'accumulation du matériel détritique est rendue impossible, par forte agitation du milieu et/ou par une érosion du continent moins intense.

Le quartz serait donc un bon indicateur du milieu de sédimentation.

## II - EVOLUTION SPATIALE DU QUARTZ

Il paraît nécessaire, avant d'aborder l'évolution spatiale du quartz, de faire un bref rappel sur l'évolution de la paléogéographie dans le Bassin de Paris pendant le Lias (Groupe Français d'étude du Jurassique, 1980) (fig.13).

C'est à l'Hettangien que la transgression de la mer venue de l'Est atteint le Nord-Est du Bassin de Paris. Les dépôts sont alors, d'une part, silteux et marneux, et d'autre part,

calcaires ; les faciès sont marins. Les dépôts calcaires s'étendent en Lorraine et présentent des lacunes partielles. Au cours de cette période, la plate-forme carbonatée constitue un milieu de basse énergie. La lentille représentée par le Grès d'Hettange se forme grâce aux apports détritiques venus de l'Ardenne et du Hunsrück, traduisant un milieu de forte énergie. Au Sinémurien inférieur, la transgression, en progressant vers l'Ouest, fait place à un milieu de basse énergie dans lequel se développent des influences marines.

Au Lotharingien, la transgression s'accuse sur la bordure armoricaine, marquée par des dépôts gréseux que l'on retrouve en Picardie et en Ardenne. La fin du sous-étage est accompagnée souvent par des discontinuités de sédimentation.

Au Carixien, la transgression continue à envahir les terres encore émergées. Les calcaires argileux et les marnes en alternance ont une puissance qui diminue vers l'Est et font place à une sédimentation carbonatée.

Au Domérien, des massifs anciens situés au Nord-Est se démantèlent et donnent naissance à des siltites argilo-carbonatées (Grès médioliasique) en Lorraine. C'est à la fin du Domérien qu'une tendance régressive commence à s'observer.

Au Toarcien inférieur, les conditions de calme des eaux marines, pourtant "ouvertes", favorisent le dépôt des Schistes carton sur la plus grande partie du bassin. A la fin du Toarcien, des arrêts de sédimentation, ou même des indices d'émergence, soulignent en de nombreux points une tendance régressive : lacunes et oolithes ferrugineuses.

Bien qu'en quantité très faible, les 6 échantillons des coupes de Mazerulles, Bettembourg et Heillecourt ont contribué à l'étude de l'évolution spatiale du quartz.

Si l'on considère le Calcaire à Gryphées de Mazerulles, les proportions de quartz obtenues à partir de nos 2 échantillons M18c et M7 (tab. 1) conduisent à une évolution de la formation vers une dérive négative. Les études faites par S. Guérin-Franiatte *et al.* (1983) signalent plutôt une évolution de la formation vers une dérive positive de certains apports terrigènes (quartz et muscovite). Il convient de noter que l'échantillon M18c a été prélevé dans un lithofaciès à dominante calcaire, tandis que l'échantillon M7 provient d'un lithofaciès argileux. Quelque soit la dérive positive ou négative, les teneurs en quartz de la coupe de Mazerulles sont plus faibles que celles de la formation correspondante à Cattenom. En effet, Cattenom, étant située au Nord de la Lorraine, est beaucoup plus influencée par les apports détritiques terrigènes venant du Nord-Est et s'épuisant progressivement vers le Sud. On comprend donc pourquoi la coupe de Mazerulles située en Lorraine centrale est pauvre en apports détritiques terrigènes.

A propos des Schistes carton, aucune relation n'a été observée entre la proportion de quartz de Bettembourg (1 à 3%), et celle de Tranqueville (13%). L'étude de la coupe de Bettembourg ayant pour but les nodules calcaires (Hanzo, 1979), les échantillons ont été prélevés dans les argilites : encaissant des nodules calcaires. C'est peut-être la raison pour laquelle, nous avons observé des pics de calcite très intenses. Mais, M. Hanzo (1979)<sub>3</sub>, montre que les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  des argilites sont plus faibles à proximité des nodules que plus loin, à quelques dizaines de centimètres, sur la même verticale. Cet appauvrissement en carbonates peut s'expliquer par un piégeage au niveau des nodules,

au détriment des argilites. Par ailleurs, les études sédimentologiques faites par A. H. Huc (1976) et G. Husson *et al.* (1978 *in* Hanzo, 1980) montrent que les Schistes carton se répartissent en deux domaines sur la bordure Est du Bassin de Paris, en fonction de l'importance de l'apport : l'influence continentale des Ardennes est plus poussée en Lorraine que dans les régions situées plus au Sud. Cette hypothèse semble être contredite par les résultats obtenus à Bettembourg. Ainsi, on pourrait peut-être envisager une autre source d'apports détritiques d'origine encore inconnue.

Quant aux Marnes à Amalthées de Heillecourt, elles possèdent des caractéristiques (teneur en quartz) se rapprochant de celles de Cattenom.

En conclusion, l'évolution spatiale du quartz ne présente en général pas d'homogénéité dans les faciès du Lias du Nord-Est du Bassin de Paris. Elle est sans doute liée aux étapes de la transgression liasique. La répartition des faciès correspond à un contrôle tectonique, mais aussi sans doute aux modalités de l'apport terrigène, venant manifestement du Nord-Est et s'épuisant progressivement vers le Sud (Mouterde et Tintant (1970), *in* Lefavrais, 1980), du moins dans la plupart des cas.

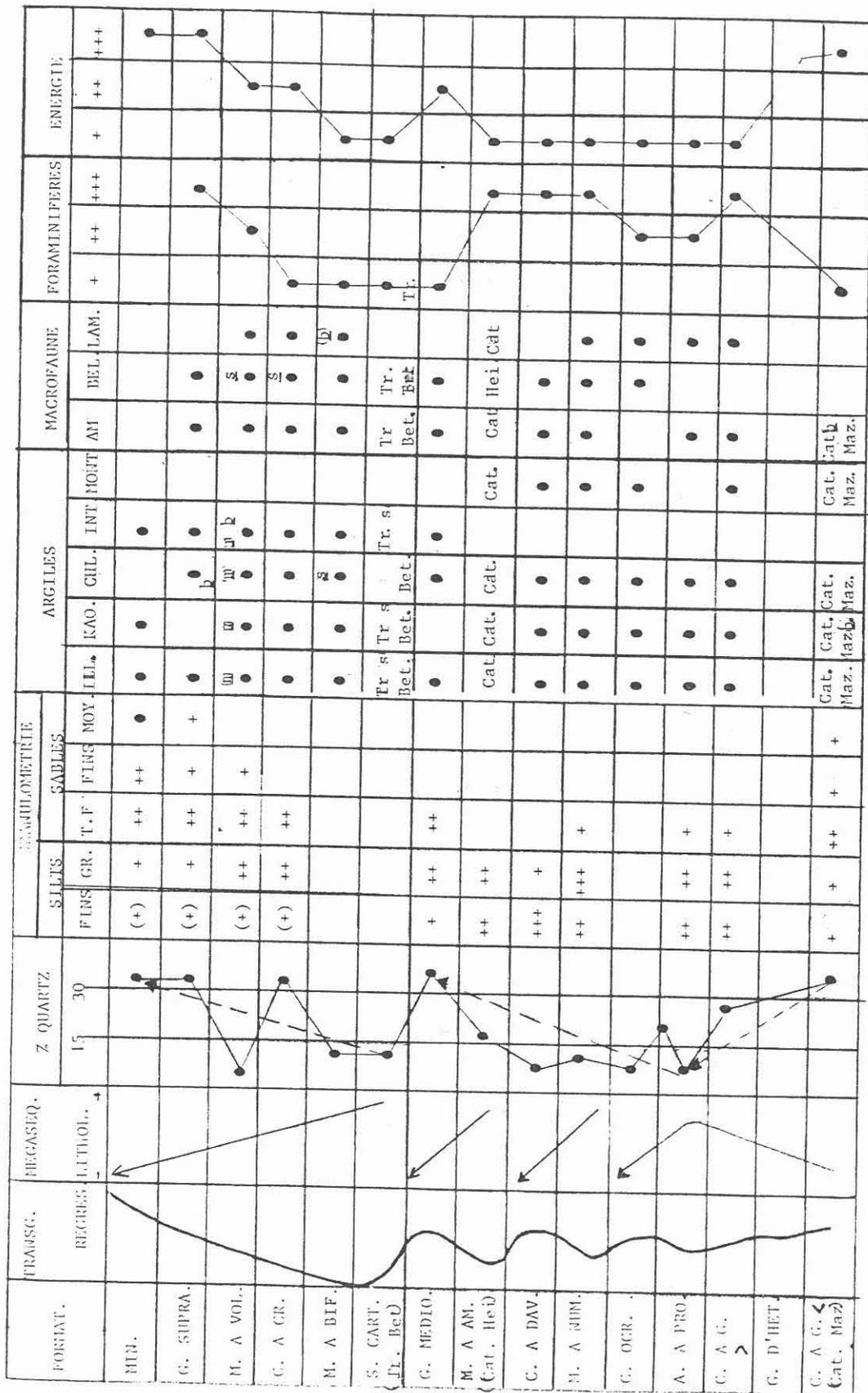
### III - ESSAI DE SYNTHÈSE

Il s'agit de faire un examen simultané des données lithologiques et biostratigraphiques et surtout de voir le lien du quartz avec la phase argileuse, la phase carbonatée, la matière organique et la faune.

#### *Evolution de la phase argileuse.*

Les teneurs des différentes phases minérales analysées (Hanzo, 1978 ; Guérin-Franiatte *et al.*, 1983 ; Hanzo et Guérin-Franiatte, 1985 ; Hanzo et Poirson, 1988 et Hanzo, en cours) montrent les variations présentées sur la figure 14.

Après cette série d'observations, on peut se rendre compte que l'évolution générale des minéraux argileux ne présente pas de relation particulière avec celle du quartz. Cependant, la kaolinite apparaît le plus souvent lors des épisodes moins calcaires et silteux. La montmorillonite, quant à elle, disparaît le plus souvent au profit de la chlorite et/ou de l'illite. Comme l'ont signalé A. Müller, H. Parting et J. Thorez (1973), la présence de la kaolinite indique des périodes humides et un milieu ouvert et bien drainé favorisant l'hydrolyse, tandis que l'illite très abondante indiquerait des processus de dégradation modérée. On pourrait donc penser que les formations de Tranqueville et le Calcaire à Gryphées de Mazerulles, tous situés au sud en Lorraine centrale, se seraient déposés dans un milieu à drainage beaucoup plus modéré que les formations de Cattenom (Nord de la Lorraine), puisque la kaolinite y est souvent absente. Cette évolution est sans doute liée à l'évolution paléogéographique pendant le Lias car les formations de Tranqueville, caractérisées par des petits épisodes transgressifs (Marnes à Voltzi et Couches à Crassum), présentent une abondance de kaolinite. Par ailleurs, cette dernière est beaucoup moins abondante dans le Calcaire à Gryphées de Mazerulles (Lorraine centrale) que celui de Cattenom (Nord de la Lorraine). Les interstratifiés, quant à eux, proviendraient de la transformation de la montmorillonite en illite sous influence



(+) : Très peu ; + Peu ou faible ; ++ : Moyen ; +++ : Beaucoup ou fort  
 TRANSG : Transgression ; REGRES. : Regression ; GR. : Grossier ; TF: Très fin ; MOY : Moyen  
 ILL ; Illite ; KAO : Kaolinite ; CHL : Chlorite ; INT : Interstratifié ; MONT : Montmorillonite  
 AM. : Ammonite ; BEL. : Bélemnite ; LAM : Lamellibranche ; m : milieu ; b : base ; s : sommet ;  
 Tr : Tranqueville ; Bet. : Bettembourg ; Cat : Cattenom ; Hei. : Heillecourt ; Maz. : Mazerulles.

Fig. 14. - Tableau de synthèse sur l'évolution de la sédimentation pendant le Lias en Lorraine.

des eaux marines. Le lien entre l'évolution du quartz et celle de la phase argileuse n'est pas très évident.

#### *Evolution de la phase carbonatée*

Si l'on excepte le Grès médioliasique riche en  $\text{CaCO}_3$  et en quartz, la tendance générale montre que les formations riches en calcaires sont le plus souvent pauvres en quartz et inversement. La présence abondante de la calcite dans certaines formations est liée à celle des bioclastes. Ainsi, les carbonates augmentent progressivement à travers le Calcaire à Gryphées, diminuent dans les Argiles à Promicroceras, puis reprennent de l'importance dans le Calcaire ocreux et le Calcaire à Davoei riches en fossiles. A Tranqueville et Mazerulles, la phase carbonatée évolue dans le même sens.

#### *Evolution du carbone organique*

Le taux de carbone organique, dans toutes les formations étudiées, varie entre 0 et 10%. Les proportions les plus élevées (4-10%) sont signalées dans les Schistes carton et les Marnes à Bifrons. Ces formations sont pratiquement dépourvues de flore et de foraminifères et le phosphore des nodules phosphatés (Couches à Crassum) pourrait résulter d'une mortalité importante de ces organismes (Guérin-Franiatte *et al.*, 1983). P. Donze *et al.* (1967) expliquent que ce taux élevé est dû aux conditions réductrices du milieu qui empêche sa destruction. G. Busson *et al.* (*in* Hanzo, 1980), pensent que cette matière organique serait d'origine continentale et marine, et son rôle serait lié soit aux argiles, soit aux carbonates. Cette hypothèse va dans la sens de nos données, puisqu'aucun lien particulier n'a été observé entre le quartz et la matière organique.

#### *Evolution de la faune*

##### La microfaune

L'étude de la microfaune benthique ( Hanzo, 1978 ; Hanzo et Guérin-Franiatte, 1985 ; Guérin-Franiatte *et al.*, 1983 et Hanzo, en cours ), montre les variations présentées sur la figure 14.

L'évolution générale montre que les faciès calcaires sont très peu riches en foraminifères. Seules les marnes et les argilites possèdent des pourcentages notables. Compte tenu du fait que la présence abondante des foraminifères implique un renouvellement de l'eau et un milieu calme et ouvert (Guérin-Franiatte *et al.*, 1983), les Argiles à Promicroceras se seraient déposées lorsque la communication avec la haute mer était bonne. De même, l'absence des foraminifères, à partir de l'épisode du Grès médioliasique, confirme bien le début de la régression et donc un milieu de moins en moins ouvert. Quant à l'épisode des Marnes à Voltzi, assez riche en foraminifères, il marque bien le petit épisode transgressif ayant existé à cette période. Le lien entre l'évolution de la microfaune et celle du quartz semble difficile à mettre en évidence. A priori, on pourrait penser que, les épisodes peu riches en quartz et riches en calcaires sont ceux qui présentent une abondance de foraminifères. Mais, dans la coupe de Bettembourg et certaines formations de Tranqueville (fig. 14), aucune microfaune n'a été recueillie.

### La macrofaune

Variée et abondante, elle est constituée d'ammonites, de lamellibranches, de bélemnites et d'échinides. Leur variation est présentée sur la figure 14.

L'apparition ou la disparition de la faune semble être liée aux variations du niveau de la mer et aux conditions du milieu. Leur présence abondante indiquerait un milieu stable et ouvert. En outre, à cause de l'abondance des bioclastes pendant la Lias, le niveau d'énergie devait être parfois fort et parfois modéré. C'est pourquoi les formations caractérisées par une forte énergie du milieu de dépôt (Calcaire à Gryphées inférieur, Grès supraliasique et Minette) sont pauvres en fossiles entiers : ce sont des marqueurs d'un niveau d'énergie faible. Dans ce cas également, le lien entre le quartz et la macrofaune semble difficile à mettre en évidence.

### IV - CONCLUSION

L'évolution du quartz permet de suivre l'évolution de la sédimentation détritique pendant le Lias en Lorraine (fig. 14).

Mis à part la première mégaséquence klupfélienne du Lias (M. à N - C. à D.), les variations générales obtenues à partir de l'évolution du quartz se corrélaient assez bien avec l'évolution lithologique des formations. Par comparaison à la lithologie, on a des discontinuités. Mais, à cause de nombreuses fluctuations obtenues dans notre deuxième mégaséquence, il est difficile de définir des diastèmes. Les silts et sables ont permis la différenciation des conditions énergétiques du milieu de dépôt.

L'organisation spatiale du quartz dans les formations du Lias en Lorraine n'est pas homogène. la répartition des faciès est sans doute liée à la tectonique du socle, et probablement à l'origine des apports détritiques.

L'évolution des minéraux de la phase argileuse aide à comprendre le milieu climatique chaud plus ou moins humide ayant existé pendant le Lias. Ce milieu était probablement calme et ouvert pour permettre l'accroissement d'une faune abondante et variée. La relation entre l'évolution du quartz et les paramètres tels que la phase argileuse, la matière organique et la faune n'est pas très évidente. Par contre, à l'exception de l'épisode du Grès médioliasique, on observe, dans toutes les autres formations et les coupes, une abondance de quartz lorsque le taux en calcite diminue.

### CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis une autre façon d'aborder le problème de l'évolution de la sédimentation du Lias à partir des analyses du quartz (fig. 14).

1 - Les méthodes d'analyse quantitative du quartz par diffraction des rayons-X et par spectroscopie infrarouge sont assez faciles à mettre en oeuvre. Dans l'ensemble les résultats obtenus par les deux méthodes montrent une assez bonne corrélation. La méthode de diffraction aux rayons-X est une méthode plus rapide que celle de par spectroscopie infrarouge. En effet le mélange de poudres se fait à la broyeuse pour les analyses aux rayons-X tandis que pour les analyses aux infrarouge, les dilutions ont été faites manuellement.

L'analyse granulométrique du quartz, bien qu'incomplète, apporte sa contribution à l'interprétation des résultats de l'analyse quantitative du quartz. En effet, elle traduit bien le caractère fin de la sédimentation détritique terrigène en Lorraine, en précisant la part des différentes phases *granulo.*

2 - L'évolution temporelle du quartz a permis de faire l'analyse séquentielle des formations étudiées et, par là, de voir l'évolution de la sédimentation détritique et les variations d'énergie du milieu de dépôt (fig. 14). Les résultats de cette analyse séquentielle se corrélient assez bien à l'évolution lithologique sauf pour la première mégaséquence lithologique klupfélienne où le quartz montre une dérive inverse.

Malgré la quantité faible des échantillons des coupes de Bettembourg, Mazerulles et Heillecourt, leur comparaison avec les formations correspondantes à Cattenom et à Tranqueville, montre que l'évolution spatiale du quartz en Lorraine n'est pas très homogène. En effet, les formations situées au Nord sont plus riches en matériel détritique grossier que celles situées au Sud. La répartition des faciès serait liée au jeu d'accidents tectoniques justifiant la subsidence plus ou moins forte et probablement aux modalités d'apports détritiques du point de vue source et sens des apports.

La faune et la minéralogie des argiles indiquent que le Lias est caractérisé par un milieu calme et ouvert et un climat chaud plus ou moins humide. Mais, aucun lien particulier entre le quartz et ces paramètres n'a été observé.

Globalement, certains paramètres de la lithologie signalés ci-dessus ne présentent aucun lien particulier avec le quartz; la relation entre la teneur, la taille du quartz montre que le quartz est un bon indicateur du milieu de sédimentation.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allouc J. (1977). - Contribution à l'étude sédimentologique du Pliensbachien de la région de Nancy (bordure orientale du Bassin de Paris). Thèse Doct. Spéc., Univ. Nancy I, 165 p. ronéo, 5 pl. h. -t., 12 pl. fotogr.
- Allouc J. (1980). - Synthèse géologique du Bassin de Paris. in Megnien et al., *Mém. Bur. Rech. géol. Min.*, N° 101, p. 94-95.
- Allouc J., Hanzo M., Lefavrais A., Mousterde M., Rioult M. et Tintant H. (1980). - Synthèse géologique du Bassin de Paris. in Megnien et al., *Mém. Bur. Rech. géol. Min.*, N° 101, p. 111-121.
- Allouc J. et Hilly J. (1979). - Quelques aspects de la sédimentologie du Domérien de la région de Nancy (Est du Bassin de Paris). *Sci. de la terre*, t. XXIII, N° 1, p. 61-91.
- Chester R. and Ederfield H. (1967). - The application of infrared absorption spectroscopy to carbonate mineralogy. *Sedimentology*, 9, p. 5-21.

Chester R. and Elderfield (1968). - The infrared determination of opal in siliceous deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 32, p. 1128-1140.

Donze P., Laugier R., Mouterde R., Ruget C., Saupe F. et Sigal J. (1967). - Les stratotypes français. Le Lotharingien de Lorraine. Vol. I, C.N.R.S., 144 p., 14 fig., 14 tab., 4 pl.

Farmer V.C. (1974). - The infrared spectra of minerals, Ed. *Min. Soc. Mono.*, No 4, 539 p., Londres.

Fröhlich F. et Leclaire L. (1981). - L'analyse minéralogique des sédiments pélagiques associés aux nodules polymétalliques par la spectrophotométrie d'absorption infrarouge. *Bull. Mus.nat.Hist.nat.*, 4ème série, 3, C, No 2, p. 159-181.

Groupe Français d'étude du Jurassique (1980). Synthèse paléogéographique du Jurassique français. *Doc. Lab. géol. de Lyon*, H.S. 5, 210 p., 1 fig., 3 tab., 42 cartes.

Guérin-franiatte S., Hanzo M. et Ruget C. (1983). - L'Hettangien en Lorraine centrale : nouvelles observations lithologiques et biostratigraphiques dans la région de Nancy. *Bull. Soc. géol. France.*, 7ème sér., t. XXV, No 6, p. 943-952.

Hanzo M. (1979). - Milieu de dépôt et évolution diagénétique des argilites toarciennes d'après l'étude de nodules carbonatés des <<Schistes carton>> de Bettembourg (Grand-Duché de Luxembourg). *Sci. de la terre*, t. XXIII, No 1, p. 45-59, 2fig., 1 tabl., 2pl.

Hanzo M. (1980). - Synthèse géologique du Bassin de Paris. in Megnien et al., *Mém. Bur. Rech. géol. Min.*, No 101, p. 91-95.

Hanzo M. - A propos d'une coupe complète du Toarcien en Lorraine. En cours.

Hanzo M. et Espitalié J. - La matière organique dans le cas du Lias de la bordure orientale du Bassin de Paris. En cours.

Hanzo M. et Guérin-Franiatte S. (1985). - Une coupe continue dans le Lias inférieur et moyen de Lorraine septentrionale. Etude des sondages de Cattenom (Moselle). *Cah. de L'Inst. cath. de Lyon*, No 14, p. 175-188.

Hanzo M., Peniguel G., Doubinger J. et Adloff M. C. - Les paléomilieus lors de la transgression liasique à Cattenom (Moselle, France), vus par la palynologie et la géochimie. Préprint in *Bull. Centr. Rech. Explo. Prod. Elf Aquitaine* (Vol. 14, No 1, 1990).

Hanzo M. et Poirson C. (1988). - Uranium et phosphate dans des nodules de séries argileuses : comportement identique et syngénèse précoce. Cas des nodules du Lias de Lorraine (France). *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, t. 306, Série II, p. 789-792.

Holtzapffel T. (1985). - Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Soc. géol. du Nord*, No 12, 136 p.

- Klupfel W. - Ueber den Lothringer Jura. Berlin. *Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt*. Band XXXVIII, Teil I, Heft 2.
- Lefavrais A. (1980). - Synthèse géologique du bassin de Paris. in Megnien et al., *Mém. Bur. Rech. géol. Min.*, N°101, p.107-110.
- Legrand C. et Nicolas J. (1958). - Contribution à l'étude du dosage du quartz dans les argiles à l'aide des rayons X. *Bull. Soc. Fr. de céramique*, N° 38, p. 29-41.
- Marel H. W., Vander, et Beutelspacher H. (1976). - Atlas of IR spectroscopy of clays minerals and their admixtures. Elsevier ed., 396 p., Amsterdam.
- Martinez B. et Plana F. (1987). - Quantitative X-Ray diffraction of carbonate sediments : mineralogical analysis through fitting of Lorentzian profiles to diffraction peaks. *Sedimentology*, 34, p.169-174.
- Maubeuge P. L. (1945). - La base du Toarcien aux environs de Nancy. *Bull. Soc. Sci. Nancy*, N° 3, p. 4.
- Maubeuge P.L. (1955). - Observations géologiques dans l'Est du Bassin de Paris (Terrains triasiques moyens, supérieurs et jurassiques inférieurs, moyens). t. 1, Nancy, 500 p.
- Maubeuge P. L. (1961). - Le Toarcien et le sommet du Pliensbachien dans la région de Langres (Haute-Marne) et quelques comparaisons avec la Lorraine centrale. In Colloque sur le Lias français, p. 563-546. -Technip, Paris.
- Müller A., Parting H. et Thorez J. (1973). - Caractères sédimentologiques et minéralogiques des couches de passage du Trias au Lias sur la bordure nord-est du Bassin de Paris. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 96/111, p. 671-707.
- Pichard C. et Fröhlich F. (1986). - Analyses IR quantitatives des sédiments. Exemple du dosage du quartz et de la calcite. *Rev. Inst. franç. pétrole*, Vol. 41, N° 6, p.809-919.
- Roger T. et Spears D. A. (1969). - The determination of quartz in sedimentary rocks using X-Ray diffraction method. *Clays and clays miner.*, vol. 17, p. 323-327.